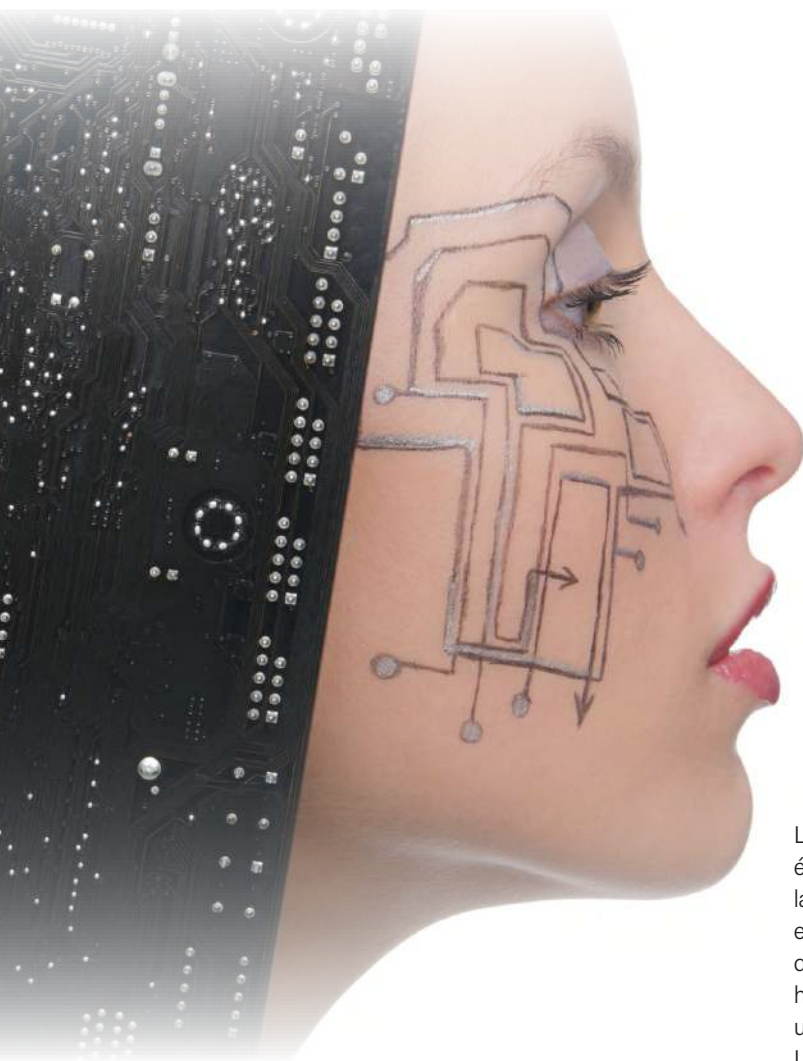


simulation d'amplificateur de puissance audio avec **TINA**

« simuler avant de construire »



Dogan Ibrahim (Royaume Uni)

Les numéros doubles d'été d'Elektor contiennent habituellement de petits projets, qui incitent toujours à l'expérimentation et à la création. Bien que vous puissiez tester la plupart d'entre eux, en plaçant quelques composants sur une platine d'essai ou en les soudant, envisagez d'abord de réaliser une simulation de ces circuits. Nous présentons ici TINA (ou TINACloud) et son utilisation pour comprendre, tester et analyser un simple amplificateur de puissance audio sans risque de fumées de soudure, ou de fusibles grillés.

Les amplificateurs de puissance audio sont essentiellement les étages finaux des amplificateurs audio. Ils sont conçus pour amplifier la puissance (P) avec précision. En revanche, un amplificateur de tension est conçu pour une amplification optimale de la tension (V). Les sorties des amplificateurs de puissance audio sont généralement reliées à des haut-parleurs. Le **tableau 1** présente les principales différences entre un amplificateur de tension et celui de puissance.

Les amplificateurs de puissance audio sont disponibles et conçus spécialement pour différentes configurations, généralement appelées classe A, classe B, classe AB, classe C, etc., avec les principales caractéristiques suivantes :

- **Classe A** : ici, le point de fonctionnement du transistor est proche du centre de la tension d'alimentation. Le transistor conduit en continu. Le principal avantage de l'amplification de classe A est que le signal de sortie est pratiquement exempt de distorsion. Cependant, le circuit souffre d'un mauvais rendement.
- **Classe B** : dans le fonctionnement en classe B, deux transistors sont utilisés avec leurs points de fonctionnement situés au point de coupure. Par conséquent, un transistor amplifie le signal sur une moitié de la forme d'onde de l'entrée audio, tandis que l'autre



Tableau 1. Différences entre les amplificateurs de tension et de puissance.

Paramètre	Amplificateur de tension	Amplificateur de puissance
Couplage	En général, R-C	En général, transformateur
Tension d'entrée	Quelques mV	En général, 2 à 4 V
Courant du collecteur	Quelques mA	Plus de 100 mA
Résistance de la charge	Quelques kilo-ohms	4 à 20 Ω
β	Plus de 100	4 à 30
Gain en tension	Faible	Élevé
Puissance de sortie	Faible	Élevée

transistor l'amplifie pendant l'autre moitié. Le courant de repos est nul lorsqu'il n'y a pas d'entrée et, par conséquent, aucune puissance n'est dissipée dans cette situation. La configuration de classe B souffre de distorsion, en particulier au point de croisement du signal d'entrée.

- **Classe AB** : cette configuration est semblable à la classe B, mais la distorsion est diminuée en appliquant une faible polarisation au-dessus des seuils de conduction des transistors. La classe AB est la configuration d'amplificateur de puissance audio la plus utilisée.

Simulation d'un amplificateur de puissance audio de classe AB

La **figure 1** montre le schéma d'un amplificateur de classe AB standard, composé d'une paire de transistors NPN et PNP appariés (c'est-à-dire complémentaires). Le schéma de circuit est généré avec TINA ou TINACloud pour la simulation. En supposant que vous ayez installé TINA ou TINACloud, vous pouvez dessiner le schéma vous-même ou importer le fichier *sim14* à partir des programmes disponibles en téléchargement à l'adresse [1]. Une fois sur cette page, commencez par admirer l'e-book de l'auteur, puis faites défiler jusqu'aux téléchargements. Ensuite, cliquez sur *Software_Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (767.94 kB). Enregistrez le fichier, décompressez-le, enregistrez le résultat dans un dossier convenablement nommé, ensuite trouvez le fichier de simulation appelé *sim14*.

Un haut-parleur virtuel de 4 Ω est connecté à la sortie du circuit. Deux ampèremètres virtuels sont connectés pour mesurer le courant (la valeur efficace) respectivement à l'entrée et à la sortie du circuit. Les composants (virtuels) utilisés sont listés dans le **tableau 2**.

Le circuit fonctionne de la manière suivante : on utilise deux diodes pour fournir une polarisation en courant continu aux transistors. T3 fournit le courant à travers ces diodes. La tension de sortie de repos est fixée à environ $V_{CC}/2$. T3 joue le rôle d'un amplificateur à émetteur commun et d'un tampon pour petits signaux, pilotant les bases de T1 et T2. Pour la moitié positive du signal d'entrée, T1 est activé, tandis que T2 est bloqué. De même, pour la moitié négative du signal d'entrée, T2 est activé, tandis que T1 est maintenu désactivé.

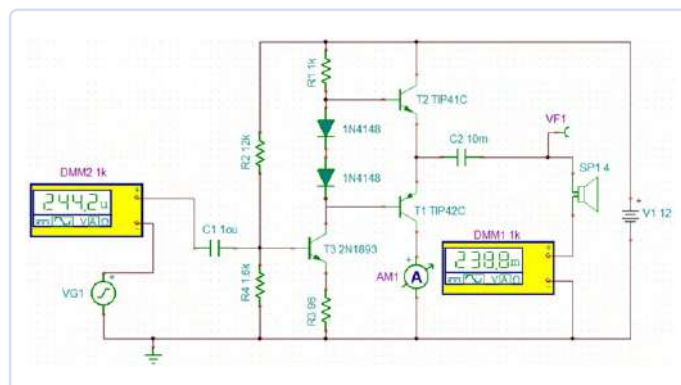


Figure 1. Circuit de l'amplificateur de puissance audio de classe AB généré par TINA.

Tableau 2. Composants utilisés pour : sim14 — Simulation d'un amplificateur de classe AB.

Composant	Valeur (unités selon TINA)
VG1	onde sinusoïdale 400 m, $f = 1$ k
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	haut-parleur 4 Ω
V1	batterie 12 V

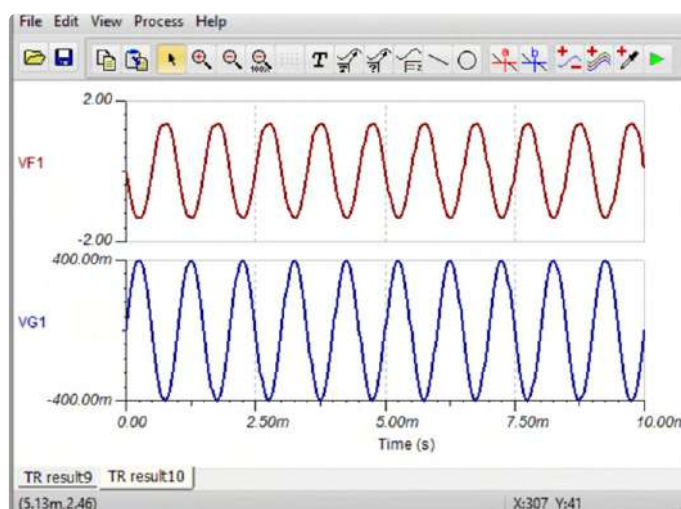


Figure 2. Tensions d'entrée et de sortie sur l'oscilloscope virtuel de TINA.

Simulation TINA

Tout d'abord, regardons les formes d'onde d'entrée et de sortie. Cliquez sur **Analysis** → **Transient**. Réglez l'affichage de **Start** et **End** sur 0 et 10m. La **figure 2** montre les formes d'onde sur l'oscilloscope virtuel où les « lectures » de l'ampèremètre ont été supprimées. La tension d'entrée (courbe inférieure) est de 800 mV crête à crête, et la tension de sortie (courbe supérieure) est d'environ 3 V crête à crête, ce qui donne un gain de tension inférieur à 4.

Maintenant, examinons les courants continus dans le circuit. Cliquez sur **Analysis** → **DC Analysis** → **Table of DC results**. La **figure 3** montre les tensions et les courants continus dans le circuit, mesurés par le logiciel TINA.

Il est peut-être plus intéressant de connaître les tensions et les courants alternatifs dans le circuit. Cliquez sur **AC** en mode interactif. Le courant d'entrée (244,2 μA_{rms}) et le courant de sortie (238,8 mA_{rms}) seront affichés par les deux ampèremètres représentés sur la figure 1.

Vous pouvez obtenir un format tabulaire des courants et des tensions alternatifs en cliquant sur **Analysis** → **AC Analysis** → **Table of AC results**. La **figure 4** montre les résultats du courant alternatif.

Testez avant de construire

TINA et TINACloud sont tous les deux parfaits pour une analyse rapide de nombreux circuits électroniques avant de les construire. Les deux

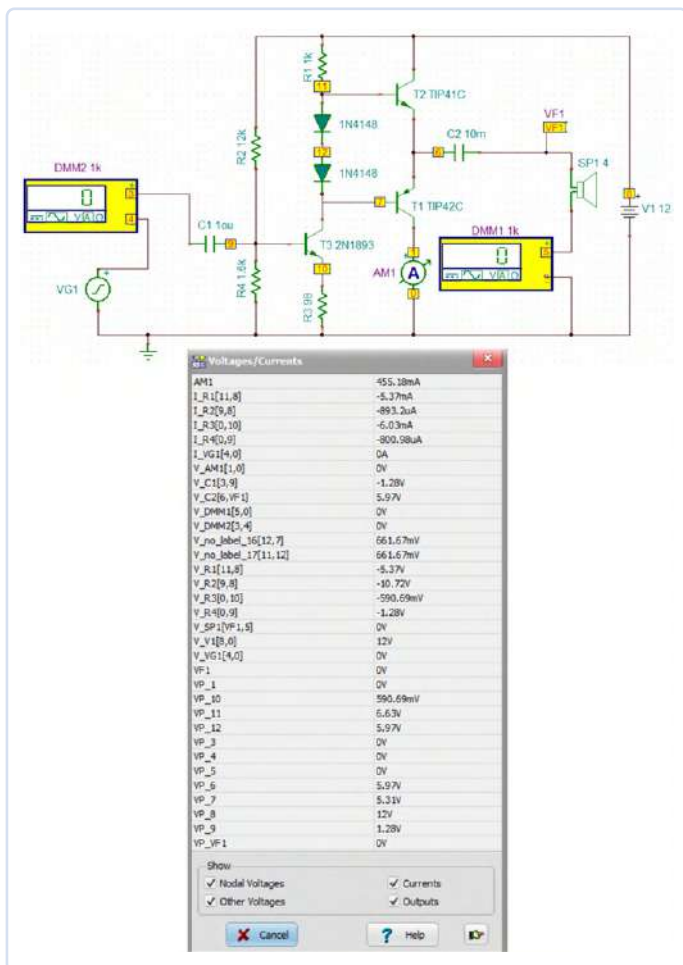
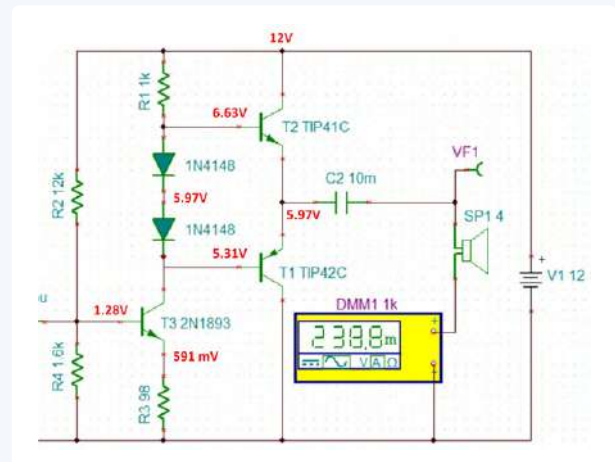


Figure 3. Tensions et courants continus dans le circuit de l'amplificateur.

Un peu de théorie



Tensions continues du circuit telles que calculées par TINA.

1. DC analysis

Les tensions continues en différents points du circuit sont calculées par TINA comme le montre la figure.

La tension de la base de T3 est donnée par :

$$\frac{R4}{R4 + R2}(V_{cc} - 1,4) = \frac{1,6}{1,6 + 12}(12 - 1,4) = 1,24 [V]$$

Aperçu des tensions dans les circuits :

Tension de l'émetteur de T2, $V_{E2} = 1,24 - 0,7 = 540 \text{ mV}$

Courant de l'émetteur de T2, $I_{E2} = 0,540 / 98 = 5,5 \text{ mA}$

Tension de la base de T1, $V_{B2} = V_{CC} - (I_{E2} \times R1 + 1,4 + V_{E2}) = 4,56 \text{ V}$

Tension de la base de T2, $V_{B2} = V_{CC} - I_{E2} \times R1 = 6,5 \text{ V}$

Tensions des émetteurs de T1 et T2, $V_{E1} = V_{B2} - 0,7 = 5,93 \text{ V}$

Notez que la tension des émetteurs de T1 et T2 est presque égale à $V_{CC} / 2$. Les résultats théoriques sont très proches de ceux calculés par TINA.

2. AC analysis

La puissance de sortie CA de l'amplificateur P_o est donnée par :

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

où V_L est la valeur efficace des tensions de charge.

D'après l'analyse CA, $V_L = 0,955 \text{ V}$, et $R_L = 4 \Omega$.

Par conséquent, $P_o = 228 \text{ mW}$.

La puissance d'entrée CA, P_i , est calculée comme suit :

$$P_i = 0,4 \times 0,244 = 0,0976 [mW]$$

Le gain en puissance correspond à $228 / 0,0976 = 2333$ ou 33,6 dB.

programmes sont éducatifs et conviviaux et permettent d'économiser beaucoup de temps et d'argent en jonglant avec des composants, même si ceux-ci restent les éléments déterminants du fonctionnement « réel » d'un circuit lorsqu'il est correctement assemblé. De même, si la simulation avec TINA est réalisée comme il faut, elle aura une valeur prédictive élevée des effets constatés après avoir appuyé sur le bouton de mise sous tension. Si cela vous a intéressé, un autre exemple plus étendu de l'utilisation de TINA ou TINACloud a été présenté par l'auteur dans un article précédent [2]. ◀

220215-04

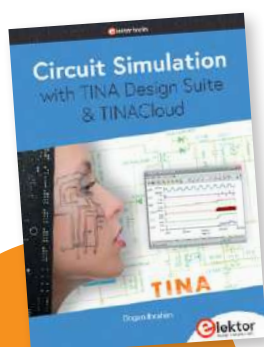


À propos de l'auteur

Dogan Ibrahim est titulaire d'une licence en électronique, d'une maîtrise en génie de la commande automatique et d'un doctorat en traitement des signaux numériques. Dogan a travaillé dans de nombreuses entreprises industrielles avant de revenir à la vie académique. Il est l'auteur de plus de 70 livres techniques et a publié plus de 200 articles techniques sur l'électronique, les microprocesseurs, les microcontrôleurs et les domaines connexes.

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (d.ibrahim@btinternet.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



Les deux éditions
viennent avec une licence
TINACloud Basic Edition
GRATUIT d'un an
(offre limitée)

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

Figure 4. Tensions et courants alternatifs dans le circuit.



PRODUITS

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

LIENS

- [1] Fichiers de simulation TINA / TINACloud : www.elektor.fr/circuit-simulation-with-tina-design-suite-tinacloud
[2] D. Ibrahim, «Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud,» Elektor 5-6/2022: www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-259/60538