

Tableau 1. Amplitudes absolues et relatives des six premiers harmoniques (arrondies).

Numéro d'ordre de l'harmonique	Niveau de puissance (dBm)	Niveau de puissance relative (dBc)
1. (1 kHz) = fondamentale	22,1	0
2. (2 kHz) = 1 ^{er} harmonique	-31,7	-53,8
3. (3 kHz) = 2 ^{ème} harmonique	-38,7	-60,8
4. (4 kHz) = 3 ^{ème} harmonique	-43,8	-65,9
5. (5 kHz) = 4 ^{ème} harmonique	-63,5	-85,6
6. (6 kHz) = 5 ^{ème} harmonique	-47,0	-69,1
7. (7 kHz) = 6 ^{ème} harmonique	-58,0	-80,1

de niveau de puissance calculées par rapport à la fondamentale. Les niveaux de puissance relatifs du **tableau 1** peuvent être directement insérés dans la formule 1.

$$100 \cdot \sqrt{10^{\frac{-53,8}{10}} + 10^{\frac{-60,8}{10}} + 10^{\frac{-65,9}{10}} + 10^{\frac{-85,6}{10}} + 10^{\frac{-69,1}{10}} + 10^{\frac{-80,1}{10}}} \approx 0,232\%$$

La valeur THD_F de l'amplificateur (considérée jusqu'à 7 kHz) est donc d'environ 0,232 %. Avec la deuxième formule, la THD_R (le facteur de distorsion) peut alors également être calculée.

$$THD_R = \frac{0,232}{\sqrt{1 - 0,232^2}} \approx 0,239\%$$

Le facteur de distorsion est donc d'environ 0,239 %. La fiche technique du LM386 spécifie une THD de 0,2 %. Ceci est assez proche des valeurs calculées ici. Malheureusement, Texas Instruments ne révèle pas le type de THD indiqué dans la fiche technique, ni le nombre d'harmoniques inclus dans la mesure.

Limites et notes

La méthode présentée ici trouve ses limites dans la plage dynamique du convertisseur analogique-numérique (CA/N) de l'oscilloscope utilisé. En général, il s'agit d'un 8 bits avec une gamme dynamique théorique d'environ 48 dB. Ils peuvent être utilisés jusqu'à une THD minimum d'environ 3 %.

Les lecteurs attentifs auront peut-être remarqué que la THD calculée ci-dessus à titre d'exemple est nettement inférieure à cette limite. Cela est possible car j'ai utilisé un oscilloscope à 12 bits, qui a une gamme dynamique théorique d'environ 72 dB. Cela signifie que des valeurs de THD d'environ 0,2 % sont dans le domaine du possible.

Toutefois, pour tirer le meilleur parti de ces limites, la prudence est de mise : la plage dynamique réellement disponible dépend également de manière significative de la déviation verticale. Si le CA/N est sur-dirigé, des distorsions se produisent ; s'il est sous-dirigé, une gamme dynamique précieuse est perdue.

Si vous voulez essayer cette méthode directement, vous pouvez vous demander où obtenir des signaux de référence avec des valeurs de THD connues. Un simple générateur de signaux peut vous aider : un signal carré raisonnablement symétrique avec un rapport cyclique de 50 % a un THD_F d'environ 48,3 %. Avec un signal triangulaire également symétrique avec le même rapport cyclique, le THD_F est encore d'environ 12,1 %.

Si vous souhaitez approfondir la question et comprendre la dérivation des formules, vous trouverez de plus amples informations sous [2] et [3]. 

220398-04 — VF : Maxime Valens

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (sebastian@baltic-lab.com) ou contactez Elektor à (redaction@elektor.fr).



Produits

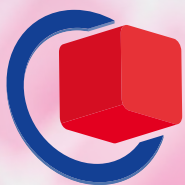
➤ **Siglent SDS1204X-E oscilloscope 4 voies (200 MHz)**
(SKU 18524)
www.elektor.fr/18524

➤ **Siglent SDG1032X générateur de fonctions arbitraires double canal (30 MHz)**
(SKU 20276)
www.elektor.fr/20276

➤ **Adafruit 2.5 W ampli mono classe D (PAM8302)**
(SKU 18745)
www.elektor.fr/18745

LIENS

- [1] Doron Shmilovitz, "On the definition of total harmonic distortion and its effect on measurement interpretation," Power Delivery, IEEE Transactions, S. 526 – 528, 2005: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.839744>
- [2] Sebastian Westerhold, "Total Harmonic Distortion (THD) from dBc," 2022: <https://baltic-lab.com/thd/>
- [3] Sebastian Westerhold, "Total Harmonic Distortion (THD) analysis utilizing the FFT capabilities of modern digital storage oscilloscopes," 2022: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.6969825>



embeddedworld2023

Exhibition & Conference

... it's a smarter world



JOIN THE EMBEDDED
COMMUNITY

14–16.3.2023



Get your
free ticket now!

embedded-world.com/voucher

Use the voucher code **GG4ew23**

Media partners

Markt & Technik
Das unabhängige Wochenmagazin für Elektronik

Elektronik

SmarterWorld
Solutions for a Smarter World

DESIGN &
ELEKTRONIK
KNOW-HOW FÜR ENTWICKLER

Elektronik
automotive

•medical-design

computer &
automation

elektroniknet.de

NÜRNBERG MESSE

faire oublier le défaut de qualité audio. Or, les consommateurs se sont aussi montrés plus exigeants sur le plan de l'expérience audio à mesure que ce type d'appareils intelligents se démocratisait. Les amplificateurs audio traditionnels de classe AB sont trop peu efficaces pour être utilisés dans des appareils connectés de faible puissance. Cependant, plusieurs fabricants de puces ont récemment mis sur le marché une gamme d'amplificateurs audio de classe D de haute technologie qui constituent une amélioration considérable par rapport aux générations d'amplificateurs précédentes. Nombre de ces nouveaux amplificateurs ont été spécialement conçus pour permettre à des appareils intelligents ou connectés de délivrer un son de qualité supérieure.

Le TAS2770 [1] de Texas Instruments [2] est un amplificateur audio à puissance d'entrée de 15 W qui améliore la qualité audio. Il est en outre doté d'une excellente capacité à capturer la voix, ce qui permet de commander plus facilement et plus naturellement les appareils à commande vocale qui en sont équipés. C'est le premier système audio frontal à combiner une entrée de microphone numérique avec un puissant amplificateur de détection I/V, ce qui lui permet de capturer la voix et les bruits ambiants pour l'annulation d'écho ou la réduction du bruit dans les applications vocales. Maxim Integrated [3] (qui fait désormais partie du groupe Analog Devices [4]) propose pour sa part les MAX98357 [5] et MAX98358 [6], des amplificateurs de classe D avec un rendement de 92 % et qui délivrent une puissance de 3,2 W de classe AB. On trouvera un schéma fonctionnel simplifié de ces amplificateurs en **figure 2**. Économe en énergie, le PAM8106 [7] de Diodes Incorporated [8] est parti-

Figure 2. Schéma fonctionnel simplifié des amplificateurs audio de classe D de Maxim Integrated. (Source : Maxim Integrated)

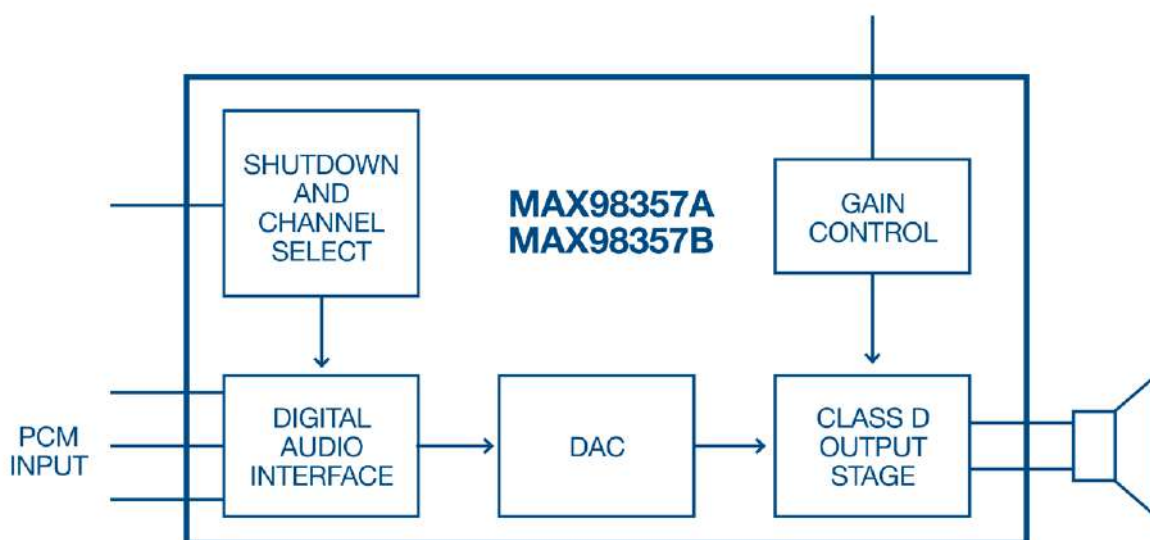


Figure 3. Solution de commande vocale hors ligne SLN-LOCAL2-IOT par NXP. (Source : NXP [10])

culièrement adapté aux appareils alimentés par des batteries plomb-acide de 1,5 V ou lithium-ion de 3,5 V. Il affiche un rendement de 92 % et peut être intégré dans une architecture compacte en se passant d'un encombrant dissipateur thermique.

Commande vocale hors ligne

Des solutions basées sur le cloud comme Alexa d'Amazon et Google Assistant sont simples à mettre en œuvre sur des appareils qui disposent d'une connexion Internet stable, mais lorsque la connexion est faible ou inexistante, on leur préférera une solution de commande vocale hors ligne. Prenons par exemple un produit qui ne doit répondre qu'à des commandes simples d'un seul mot comme « marche », « arrêt », « réinitialisation », etc. – ce qu'on appelle couramment le repérage de mots-clés – il paraît plus logique

que le traitement s'effectue localement, c'est-à-dire sur l'appareil même. Il est en effet possible de doter l'appareil d'un système de commande par mot-clé de base en y intégrant un microcontrôleur à faible coût. Avec EdgeReady, NXP propose une solution de commande vocale traitée localement et hors ligne reposant sur le microcontrôleur Crossover i.MX RT qui permet aux développeurs d'intégrer rapidement le contrôle vocal à leurs produits. La solution basée sur le microcontrôleur i.MX RT106S inclut le kit de développement SLN-LOCAL2-IOT [9] (voir **figure 3**).

Cette solution s'accompagne d'un logiciel entièrement intégré sous FreeRTOS livré avec un kit de développement logiciel (SDK) afin de réaliser rapidement la preuve de concept. Elle permet aux fabricants d'intégrer facilement de la fonctionnalité de commande vocale à tous leurs produits intelligents (appareils, maisons, bâtiments et produits industriels intelligents) sans qu'il soit besoin de disposer d'une connexion wifi ou au cloud. La commande vocale hors ligne répond ainsi en grande partie aux craintes de nombreux consommateurs concernant le piratage de leurs données accessibles en ligne. Le kit comprend enfin un outil compatible Windows™ servant à créer, à partir de la saisie de texte dans plus de quarante langues, des modèles vocaux pour plus d'une centaine de commandes personnalisées et plusieurs mots de réveil.

Conclusion

La voix et l'audio sont rapidement devenus les interfaces privilégiées dans de nombreux appareils intelligents. Elles remplacent avantageusement les affichages numériques – coûteux et énergivores – pour les appareils connectés portatifs et à faible consommation d'énergie. Les premiers systèmes de ce type souffraient pour la plupart d'une qualité audio médiocre et nécessitaient une connexion au cloud.

Mais une nouvelle génération d'amplificateurs audio de classe D à haut rendement permet désormais aux

fabricants de proposer des équipements qui offrent aux consommateurs une expérience audio de haute qualité. Par ailleurs, il existe aujourd'hui des solutions qui permettent de commander des appareils sans connexion Internet ou avec une connexion restreinte. Ces innovations démontrent que cette technologie est capable de s'adapter aux nouvelles attentes des consommateurs qui apparaissent à mesure qu'ils s'habituent à l'utilisation de cette interface de commande. C'est là une tendance qui devrait se poursuivre. ◀

220620-04



À propos de l'auteur

En tant que directeur marketing technique de Mouser Electronics pour la région EMEA, Mark Patrick est responsable de la création et de la diffusion du contenu technique - un contenu essentiel à la stratégie de Mouser visant à soutenir, informer et inspirer son public d'ingénieurs.

Avant de diriger l'équipe de marketing technique, Patrick faisait partie de l'équipe de marketing achat de la région EMEA et jouait un rôle essentiel dans l'établissement et le développement des relations avec les principaux partenaires et fournisseurs. En plus d'avoir occupé divers postes dans les départements techniques et marketing, Patrick a travaillé pendant huit ans chez Texas Instruments, dans les services support et ventes techniques.

Ingénieur expérimenté, passionné de synthétiseurs vintage et de motos, il n'hésite pas à les réparer. Patrick est titulaire d'un diplôme d'ingénieur en électronique avec mention très bien de l'université de Coventry.

LIENS

- [1] TAS2770 Audio Amplifier Evaluation Module : <http://elektor.link/MouserTAS2770>
- [2] Texas Instruments @ Mouser : <http://elektor.link/MouserTexasInstruments>
- [3] Produits présentés par Maxim Integrated : <http://elektor.link/MouserMaxim>
- [4] Analog Devices @ Mouser : <http://elektor.link/MouserAnalogDevices>
- [5] MAX98357 : <http://elektor.link/MouserMAX98357>
- [6] MAX98358 : <http://elektor.link/MouserMAX98358>
- [7] PAM8106 amplificateur audio 10 W : <http://elektor.link/MouserPAM8106>
- [8] Diodes Incorporated @ Mouser : <http://elektor.link/MouserDiodesIncorporated>
- [9] SLN-LOCAL2-IOT Solution for Local Voice Control : <http://elektor.link/MouserSLNLOCAL2IOTDevkit>
- [10] SLN-LOCAL2-IOT Product : <http://elektor.link/MouserSLNLOCAL2IOT>