

Amplificateurs de puissance Yamaha

Livre blanc

Août 2008

Table des matières

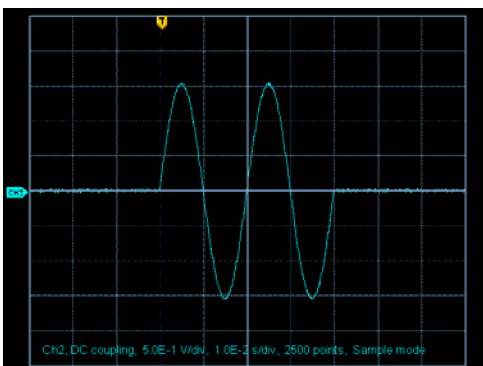
1. A propos de EEEngine	2
1.1. Introduction	2
1.2. Explication des différentes technologies d'amplification	2
2. Technologie Yamaha	5
2.1. Structure à deux amplificateurs mono	5
2.2. Alimentation à commutation	6
3. Comportement de l'amplificateur à pleine charge.....	7
3.1. Importance d'une parfaite stabilité sous 2 ohms.....	7
3.2. Comparaison des amplificateurs sur des charges de faible impédance.....	8
3.3. Explication des résultats du test d'écoute à l'aide d'une source de musique.....	9

1. A propos de EEEngine

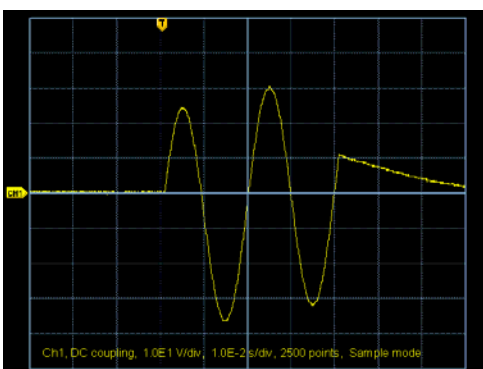
1.1. Introduction

Philosophie de l'amplificateur de puissance Yamaha

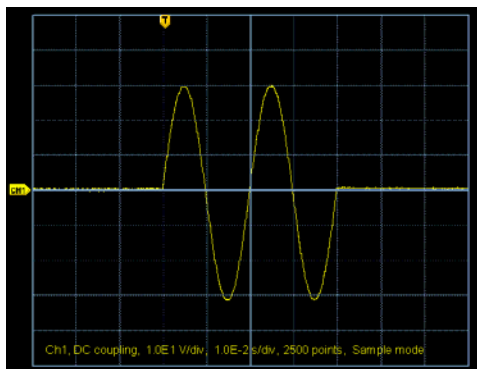
Notre approche de la fabrication des amplificateurs de puissance repose sur une amplification du signal d'entrée simple, pure et naturelle. Le signal audio mixé est envoyé à l'amplificateur depuis la console de mixage, pour y être amplifié avant sa « coloration » par les haut-parleurs. Dans un système de son, le rôle d'un amplificateur ne consiste pas à ajouter de coloration spécifique au signal d'entrée mais au contraire à transmettre ce dernier tel quel, afin de vous fournir le maximum de contrôle sur la performance sonore finale.



[Fig.1] Signal d'entrée, onde sinusoïdale en mode salve de 70 Hz



[Fig.2] Signal de sortie d'un amplificateur concurrent type



[Fig.3] Signal de sortie de l'amplificateur Yamaha T5n : naturel, réplique exacte du signal d'entrée

La fiabilité est une autre caractéristique majeure des amplificateurs Yamaha. Tous les produits Yamaha sont testés dans des conditions très rigoureuses et doivent être conformes aux normes de qualité les plus strictes. Pour en savoir plus sur les tests et les normes d'assurance qualité appliqués par Yamaha, consultez le site Web suivant :

http://www.yamahaproaudio.com/topics/leading_technology/quality_control/index.html

1.2. Explication des différentes technologies d'amplificateurs

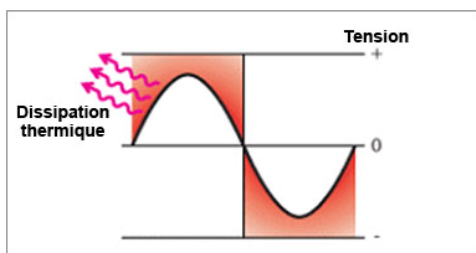
Il existe différentes technologies d'amplification qui sont autant de principes de conception de circuit retenus pour l'élaboration des amplificateurs de puissance professionnels. La majorité des amplificateurs haute puissance de l'industrie de l'audio professionnel aujourd'hui sont classés comme des produits dérivés de trois technologies principales : classe H, classe D ou classe hybride AB et classe D (comme dans le cas de d'EEEngine (Energy Efficient Engine)).

Classe AB

La technologie AB constitue le fondement de l'amplification professionnelle. A ce jour, on trouve des amplificateurs de la classe AB dans bon nombre d'applications audio professionnelles. Norme de l'industrie pendant des décennies, cette technologie se caractérise par une configuration de circuits simple et une qualité de son excellente. Les anciens amplificateurs de Yamaha, tels que les modèles P2200 et PC2002M, commercialisés respectivement en 1976 et 1982, étaient

des amplificateurs de classe AB. Cependant, la technologie de classe AB présente l'inconvénient de requérir une sortie de tension maximale, ce qui entraîne une importante dissipation thermique. Cette perte d'énergie est la raison pour laquelle les amplificateurs de classe AB sont comparativement limités en puissance de sortie, au vu de leur taille et de leur poids. Alimentée par une source de type programme musical avec écrêtage occasionnel (1/8 de puissance), la technologie AB réalise généralement près de 20 % d'efficacité, ce qui signifie que 80 % de la puissance disponible est perdue en chaleur. Différentes méthodes ont été développées pour pallier à cet inconvénient, conduisant à l'élaboration des technologies de classes H et D.

* Le taux d'efficacité auquel il est fait allusion dans le présent document se rapporte à l'efficacité globale de l'amplificateur de puissance, y compris son alimentation secteur. L'efficacité est calculée sur 1/8 de la puissance de sortie nominale, qui est une référence pour une source type avec écrêtage occasionnel.

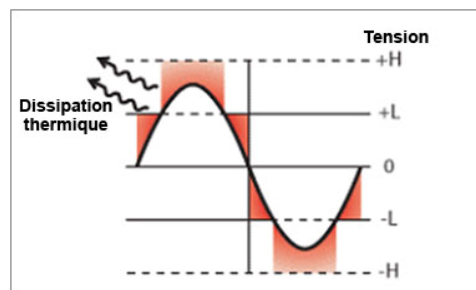


[Fig.4] Forme d'onde opérationnelle de la classe AB

Classe H

La classe H utilise une méthode qui opère la commutation du niveau de tension nominale en fonction du signal d'entrée. Ceci peut améliorer considérablement la dissipation thermique à la sortie en fournissant une tension basse lorsque le niveau de signal est peu élevé. Cependant, au fur et à mesure que le niveau de signal augmente, le système fonctionne de la même manière que celui de la classe AB et perd en efficacité, notamment lorsque les signaux musicaux possèdent une large plage de dynamique. Un système qui utilise une méthode de commutation de tension par échelons multiples permet théoriquement de surmonter ce problème, mais il risque d'entraîner nombre d'autres complications, telles que de fréquentes pertes de commutation, ce qui rend cette solution impraticable.

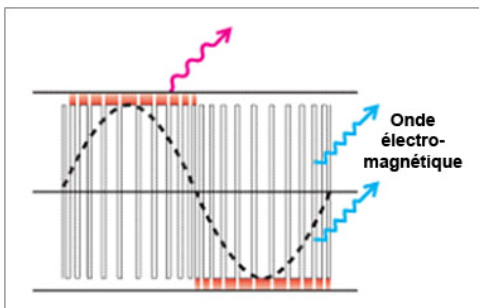
Les amplificateurs de la classe H ont généralement une efficacité de 30 % environ. L'amplificateur P5002 de Yamaha commercialisé en 1982 a été l'un des premiers systèmes élaborés à partir de la technologie de classe H.



[Fig.5] Forme d'onde opérationnelle de la classe H

Classe D

Souvent confondue avec l'abréviation de « digital » (numérique), la classe D fait appel à la technologie de modulation d'impulsions en durée (PWM ou Pulse Wave Modulation). Tout d'abord, un signal PWM est créé à partir du signal d'entrée audio. La tension d'alimentation est commutée selon la largeur d'impulsion, créant ainsi un signal de modulation d'impulsions qui commande le haut-parleur. Les éléments utilisés pour l'opération de commutation requièrent une tension minimale, ce qui autorise des améliorations considérables en efficacité, en comparaison aux précédentes technologies d'amplificateurs. Les amplificateurs de la classe D ont généralement une efficacité de près de 60 %. Cependant, pour convertir le signal audio en un signal PWM, il est nécessaire d'utiliser un filtre pour éliminer les impulsions, sinon le signal audio d'origine ne peut pas être restauré. La réponse en fréquence, la distorsion et le facteur d'amortissement du signal audio sont affectés par le filtre passe-bas. Les signaux de modulation d'impulsions haute puissance ont un effet secondaire qui consiste à émettre des ondes électromagnétiques harmoniques (ondes de compatibilité électromagnétique) de l'ordre de quelques mégahertz au sein de la plage de fréquences radio. Les amplificateurs de classe D sont certes tout à fait acceptables au niveau du gain en efficacité mais ils rencontrent souvent des difficultés à produire une qualité sonore optimale et bon nombre de fabricants s'emploient à trouver une solution pour contourner ce problème.



[Fig.6] Forme d'onde opérationnelle de la classe D

EEEngine

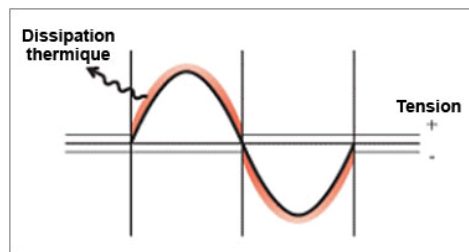
EEEngine combine la qualité sonore des circuits de la classe AB tout en préservant l'efficacité des circuits de la classe D. La combinaison des aspects positifs des deux classes AB et D peut apparaître simple en théorie mais il aura fallu des années d'efforts intenses en ingénierie pour mettre au point cette technologie sur une base de production en série.

EEEngine surmonte les problèmes liés aux technologies d'amplificateurs conventionnelles en offrant des avantages dans tous les domaines et en fournissant une avancée spectaculaire au niveau de la conception des amplificateurs de puissance. EEEngine réalise l'efficacité de la classe D sans compromettre la qualité de son d'un amplificateur de classe AB. La technologie EEEngine brevetée est évolutive et s'applique à une large gamme d'amplificateurs de puissance Yamaha, depuis les modèles de série P de la classe de valeur aux systèmes phares de série TXn.

EEEngine assure le suivi du signal audio afin de fournir en continu la puissance minimale requise pour l'étape de sortie finale, ce qui permet une amélioration surprenante en efficacité. Cette technologie fait appel au mode opérationnel de la classe D pour assurer l'alimentation en sortie finale selon le mode de fonctionnement de la classe AB. L'énergie réellement disponible est presque entièrement émise en signal audio, et seule une petite fraction de l'énergie restante est produite sous forme de dissipation de chaleur via le dissipateur thermique.

Le processus de sortie finale étant de type de classe AB, le signal de sortie finale est d'une haute qualité sonore

remarquable. En l'absence de conversion du signal audio en signal de modulation d'impulsions en durée, il n'y a aucune détérioration de la réponse en fréquence et du facteur d'amortissement ni aucun signal d'ondes de compatibilité électromagnétique indésirable. En outre, la technologie EEEngine est conçue pour fonctionner parfaitement bien tout en minimisant la génération de chaleur de l'amplificateur de puissance, quelles que soient les exigences de charge. EEEngine associe la qualité sonore de la classe AB à l'efficacité caractéristique de la classe D. La puissance des circuits EEEngine a été augmentée pour les amplificateurs des séries TXn et Tn grâce à un nouveau circuit buffer de courant à transistor à effet de champ, doté d'une puissance électrique haute efficacité capable de résister à des charges de 2 ohms.



[Fig.7] Forme d'onde opérationnelle d'EEEngine

Comparatif entre EEEngine et les technologies concurrentes

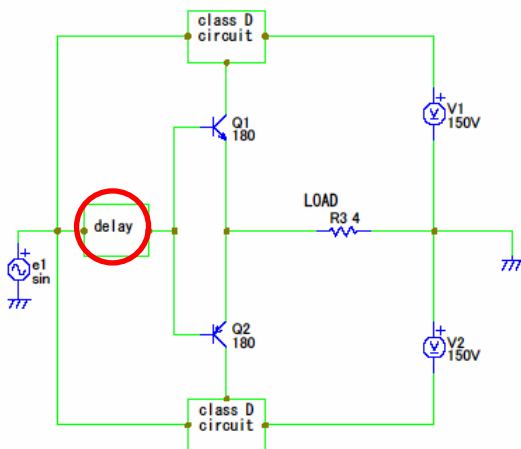
Il existe un fabricant d'amplificateur respecté, disposant d'une technologie d'amplificateur propriétaire qui allie également l'amplification de la classe AB au mode d'alimentation de la classe D. Les deux technologies assurent le suivi du signal audio de sorte que celui-ci puisse fournir en continu la puissance minimale requise pour l'étape de sortie finale. Cependant, les méthodes employées dans les deux cas sont différentes.

Les signaux hautes fréquences requièrent un taux d'excursion* supérieur et sont plus difficiles à suivre. Le taux d'excursion mesure la capacité d'un amplificateur à répondre aux variations très fluctuantes de la tension de signal. Pour compenser l'incapacité à suivre les variations de la tension de signal, cette technologie concurrente ajoute un retard au signal d'entrée. Le retard procure à l'alimentation de la classe D plus de temps pour

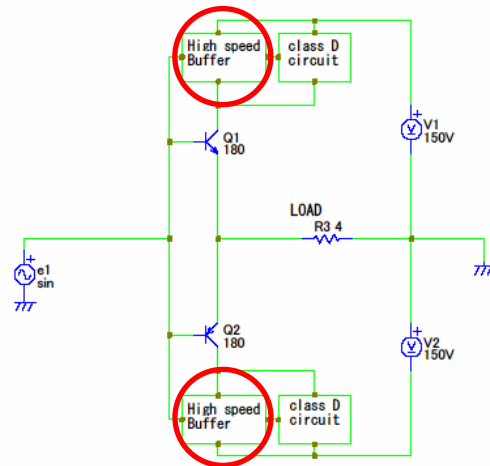
répondre aux brusques variations de tension, mais il faut garder à l'esprit que la manipulation du signal audio a inévitablement un effet sur la qualité sonore finale.

La technologie EEEngine de Yamaha adopte une approche différente pour compenser la limitation de l'alimentation de la classe D. En effet, elle gère les brusques variations de tension en adjoignant une alimentation de « tampon haut débit » auxiliaire. Ce circuit d'alimentation à haut débit est activé uniquement lorsque l'alimentation de la classe D est incapable, à elle seule, de pourvoir au débit. Ce mécanisme de « tampon haut débit » permet à EEEngine de répondre aux fluctuations soudaines de tension sans manipuler le signal audio et dégrader la qualité sonore. L'élimination des composants indésirables en excès sur la ligne audio est une application de la philosophie de Yamaha, qui consiste à fournir un signal de sortie fidèle au signal d'entrée.

* Le taux d'excursion (slew rate) affecte la capacité d'un amplificateur à restituer de manière précise les formes d'onde complexes à des niveaux de puissance élevée. Cependant, un taux d'excursion supérieur est souhaitable jusqu'à un certain point. En effet, un taux d'excursion élevé procure à l'amplificateur une largeur de bande supérieure mais lorsque cette valeur devient trop importante, elle entraîne l'amplification des signaux même dans la plage de fréquences radio. Ceci provoque une perte d'énergie, crée une distorsion et soumet l'unité de haut-parleur à des contraintes inutiles.



[Fig.8] Circuit d'un amplificateur concurrent - Afin de donner plus de temps à l'alimentation de la classe D pour répondre aux brusques changements en exigences de tension, toutes les données audio subissent un retard. L'impact négatif sur la qualité sonore ne peut être évité avec cette manipulation du signal audio.



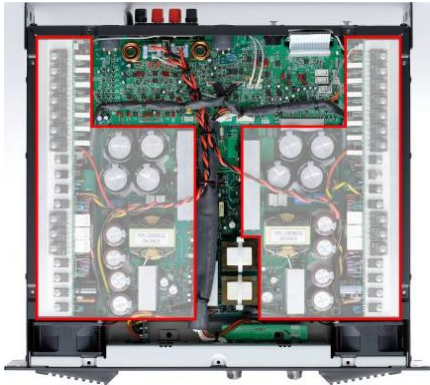
[Fig.9] Le circuit de « tampon haut débit » dEEEngine est activé uniquement lorsque l'alimentation de la classe D est incapable de faire face à l'augmentation importante du signal audio. Ce circuit autorise EEEngine à conserver un taux d'excursion optimal sans manipulation ni dégradation du signal audio.

2. Technologie Yamaha

2.1. Structure à deux amplificateurs mono

Conception mécanique de la technologie d'amplification de puissance

Les modèles de série TXn, Tn et PC9501N sont des amplificateurs à deux canaux intégrant une conception à deux mono amplificateurs symétriques, ~~avec~~ chaque amplificateur mono disposant de sa propre alimentation. La structure à deux amplificateurs mono joue un rôle important dans la séparation des deux canaux. Le fait de disposer d'une alimentation dédiée sur chaque amplificateur mono minimise l'interférence entre canaux, et empêche, par exemple, les notes basses sur l'un des canaux de s'accaparer de la puissance de l'autre canal. Les deux alimentations fonctionnent en phase opposée, en synchronisation afin d'annuler le bruit et de faire baisser l'interférence électromagnétique.

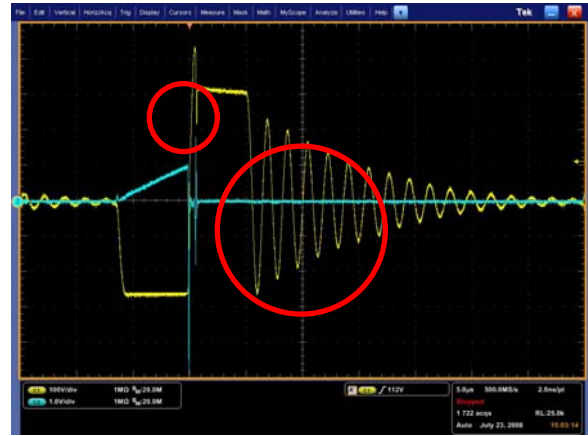


[Fig.10] Structure à deux amplificateurs mono. Chaque canal dispose d'une alimentation dédiée.

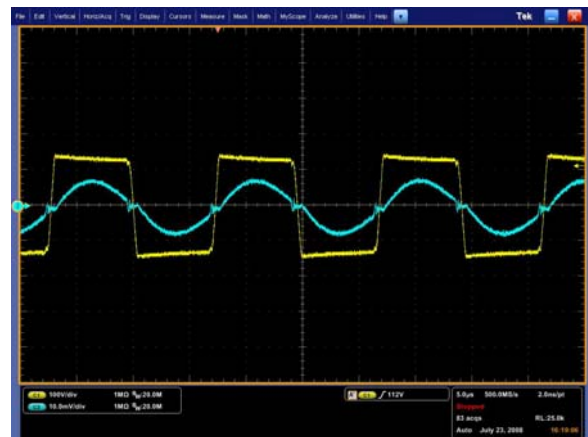
Les amplificateurs sont soigneusement conçus pour supprimer les vibrations internes à l'amplificateur et susceptibles d'avoir un impact négatif sur la qualité sonore. La surface supérieure du dissipateur thermique est renforcée pour réduire la vibration des transistors de puissance situés au-dessus de l'élément. Le dissipateur thermique est fixé aux panneaux latéraux du châssis en de nombreux points stratégiques avec des isolateurs spécialement conçus pour absorber la résonance des vibrations et du châssis qui pourrait interférer avec une reproduction optimale.

2.2. Alimentation à commutation

L'alimentation électrique joue un rôle crucial dans la qualité de tout amplificateur. L'alimentation à commutation à résonance totale disponible sur les processus d'amplification des séries TXn, Tn et PC1N prend en charge deux types de commutation : commutation tension nulle et commutation courant nul. L'alimentation à résonance totale fournit des formes d'onde de tension et de courant aux courbes naturelles, en réduisant de manière significative les composantes harmoniques du bruit de commutation. L'alimentation en mode de commutation type emploie ce que l'on a coutume d'appeler « commutation dure », qui induit plus de bruit vers la sortie CC et fournit des formes d'onde carrée riches en harmoniques hautes fréquence, dont l'élimination requiert un filtre supplémentaire. Par contre, la « commutation douce » envisagée en mode de commutation à résonance complète, produit des formes d'onde naturelles, souhaitables pour la reproduction musicale.



[Fig.11] Courant et tension de l'alimentation d'un concurrent type. Il est visiblement possible d'observer un contenu de bruit plus important (encerclé en rouge). La forme d'onde de tension est affichée en jaune et la forme d'onde de courant en bleu.



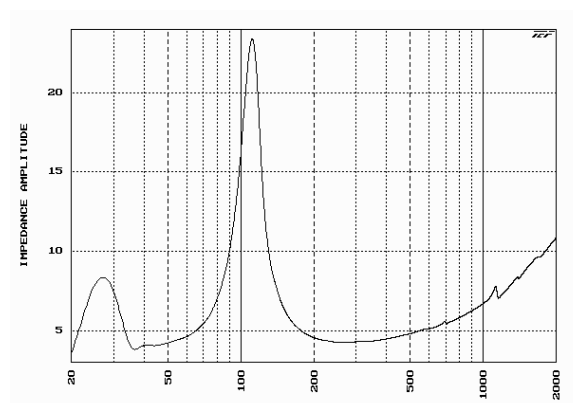
[Fig.12] Alimentation de commutation à résonance totale, de Yamaha. Formes d'onde lissées et naturelles avec un minimum de bruit de commutation. La forme d'onde de tension est affichée en jaune et la forme d'onde de courant en bleu.

3. Comportement de l'amplificateur à pleine charge

3.1. Importance d'une parfaite stabilité sous 2 ohms

Les séries Tn et TXn ont été élaborées selon le concept de fonctionnement stable sous une charge de 2 ohms. Nous ne voulons pas nécessairement suggérer de configurer les amplificateurs de puissance sur une charge de 2 ohms. Cependant, nous reconnaissons que la stabilité dans des conditions d'impédance extrêmement faible est très importante pour l'exploitation professionnelle des amplificateurs de puissance. Par exemple, dans le cas de l'utilisation de deux caissons de basses, les unités disposant d'une impédance nominale de 6 à 8 ohms sont typiquement connectées en parallèle, ce qui donne à l'amplificateur une charge comprise entre 3 et 4 ohms. Les haut-parleurs de line array sont également reliés en parallèle et réalisent de ce fait une charge à une impédance plus faible. La courbe d'impédance réelle d'une unité de haut-parleur est complexe et sa charge varie fortement selon la fréquence. Le niveau de faible impédance du haut-parleur est généralement inférieur à son impédance nominale. En raison de cette courbe d'impédance, l'opérateur peut, par inadvertance, soumettre une contrainte à l'amplificateur avec une source qui touche de manière répétée les fréquences les plus exigeantes (à faible impédance) pour les haut-parleurs. Lorsqu'un amplificateur est soumis à des conditions extrêmement rigoureuses à certains moments, il est important qu'il y ait une marge de sécurité suffisante pour éviter tout écrêtement sur l'amplificateur.

Lorsqu'un amplificateur écrête, son signal de sortie est déformé et une forme d'onde rectangulaire est constatée. Une onde rectangulaire contient de très hautes fréquences et ceci provoque la destruction des bobines acoustiques des haut-parleurs. L'écrêtage du signal de sortie, qui risque potentiellement de détruire les haut-parleurs du système, doit être évité dans un système audio professionnel. La capacité d'un amplificateur à conserver un fonctionnement stable à faible impédance est essentielle étant donné qu'un amplificateur est plus exposé à l'écrêtage dans des conditions de faible impédance.



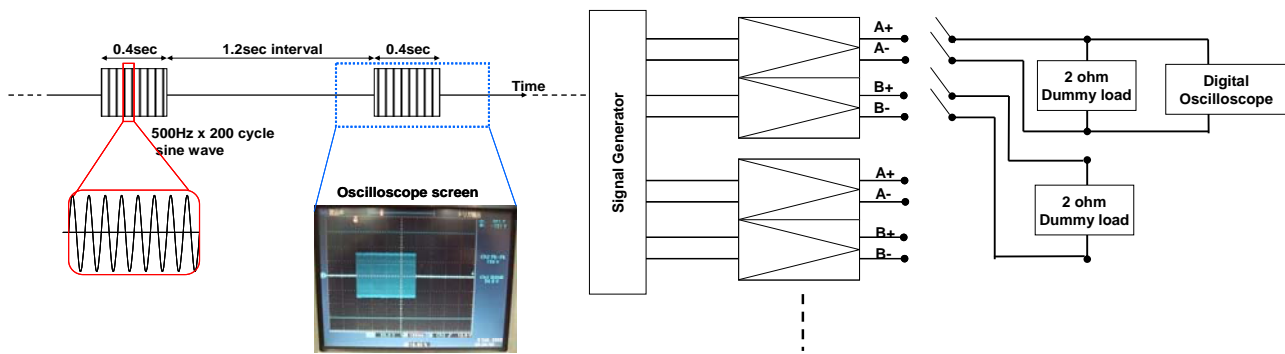
[Fig.13] Courbe d'impédance type d'un caisson bass-reflex. L'impédance nominale est de 4 ohms mais l'impédance la plus faible est inférieure à 4 ohms.

3.2. Comparaison des amplificateurs sur des charges de faible impédance

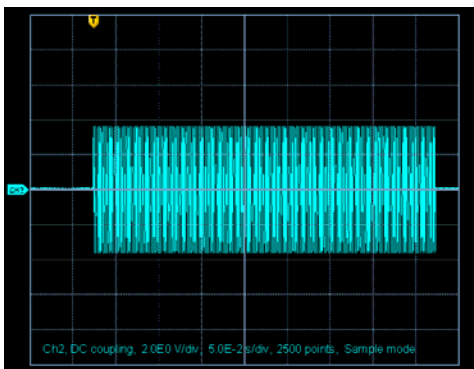
Les mesures d'oscilloscope sont répertoriées ci-dessous afin de permettre la visualisation des comportements de certains des amplificateurs les plus connus disponibles à ce jour. Le signal de test est une onde sinusoïdale (200 cycles de 500 Hz = 0,4 s) suivie par un intervalle de 1,2 seconde (sans signal). Cette fréquence peut être trouvée dans bon nombre de matériels types et un intervalle a été défini en raison de l'impossibilité de

maintenir la reproduction d'ondes sinusoïdales en continu dans les applications réelles de sonorisation.

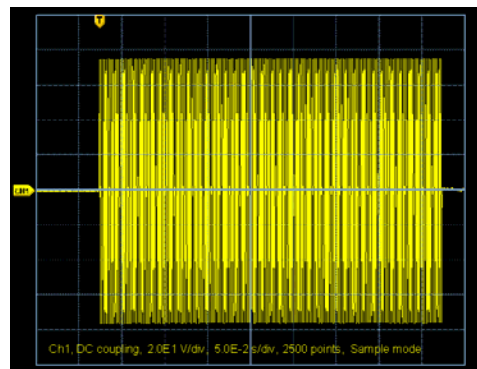
Il s'agit d'une comparaison de différents amplificateurs de puissance disponibles sur le marché, qui sont tous de puissance nominale de 2 500 W à 3 000 W sous 2 ohms. Le gain de tension et les niveaux d'entrée ont été soigneusement mesurés et adaptés pour établir une comparaison équitable.



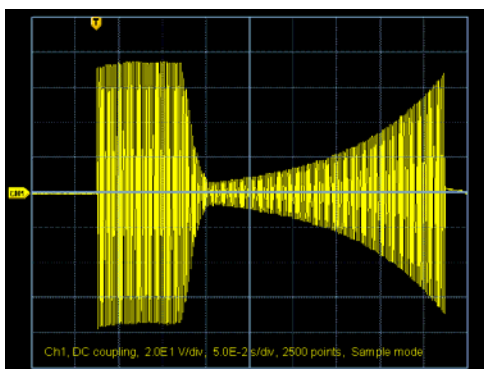
[Fig.14] Présentation de la configuration



[Fig.15] Signal d'entrée. La même forme d'onde avec une amplitude plus élevée est souhaitable pour le signal de sortie de l'amplificateur.

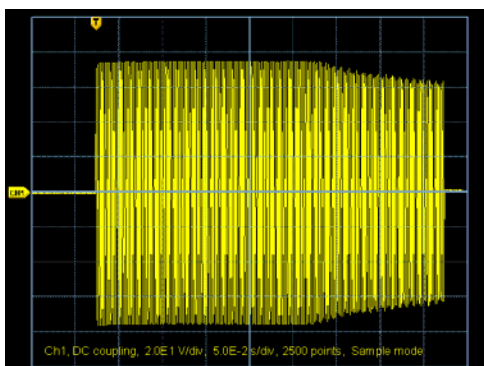


[Fig.16] Sortie de l'amplificateur TSn de Yamaha (2 500 W @ 2 ohms). Le signal de sortie est une réplique du signal d'entrée.



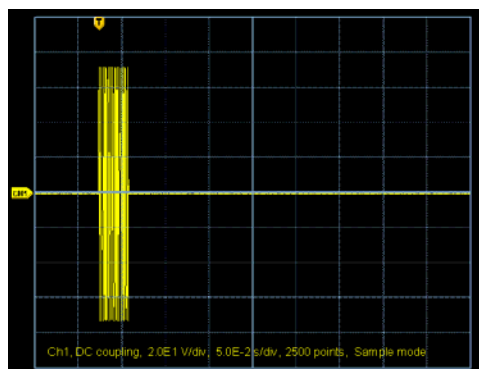
[Fig.17] Signal de sortie d'un amplificateur « concurrent A » (2 500 W @ 2 ohms)

La mesure de l'oscilloscope de la figure 17 montre le comportement de forte compression qui s'exerce sur le signal de sortie. Celui-ci dénote une absence de ressemblance de l'onde sinusoïdale appliquée en entrée. Ce comportement n'est pas constaté lorsque l'amplificateur est alimenté sur un seul canal, mais il devient rapidement instable dès que l'ampli est alimenté sur les deux canaux. Ceci semble être le résultat d'une surcharge de l'alimentation en courant des deux canaux.



[Fig.18] Mesure de l'oscilloscope d'un modèle d'amplificateur de « concurrent B » (2 900 w @ 2 ohms)

La figure 18 montre que le concurrent B, d'une puissance nominale supérieure de 400 watts à celle du modèle T5n, établie à deux ohms, semble bien démarrer mais perd rapidement en puissance et voit sa tension de sortie chuter. Ce comportement est observé lorsque l'amplificateur est alimenté sur les deux canaux.



[Fig.19] Amplificateur « concurrent C » - Avec une tension nominale de 3 300 W sous deux ohms, cet amplificateur s'assourdit rapidement dès le déclenchement de son limiteur (3 300 W@ 2 ohms)

La figure 19 montre le signal de sortie de l'amplificateur « concurrent C ». Bien que cet amplificateur soit d'une puissance nominale de 3 300 W sous deux ohms, et qu'il soit spécifié pour avoir la puissance la plus élevée de tous les amplificateurs figurant dans la comparaison, la trace de l'oscilloscope indique des résultats contradictoires. Lorsque son limiteur est déclenché, la tension de sortie chute considérablement. Bien que ceci n'apparaisse pas sur l'image figée de la mesure, il faut quelques secondes à la tension de sortie pour se rétablir avant d'assister une nouvelle fois, peu après, à l'activation du limiteur. Ce comportement s'est répété sur la durée totale du test.

Ces résultats montrent que différents amplificateurs se comportent différemment à faible impédance. Les résultats de la comparaison prouvent également que les performances actuelles d'un amplificateur ne peuvent pas toujours être prévisibles à partir de ses spécifications telles qu'indiquées dans la documentation. En l'absence de normes industrielles pour les spécifications d'amplificateurs, la comparaison des valeurs de puissance de sortie sur papier n'est pas très pratique.

3.3. Explication des résultats du test d'écoute à l'aide d'une source de musique

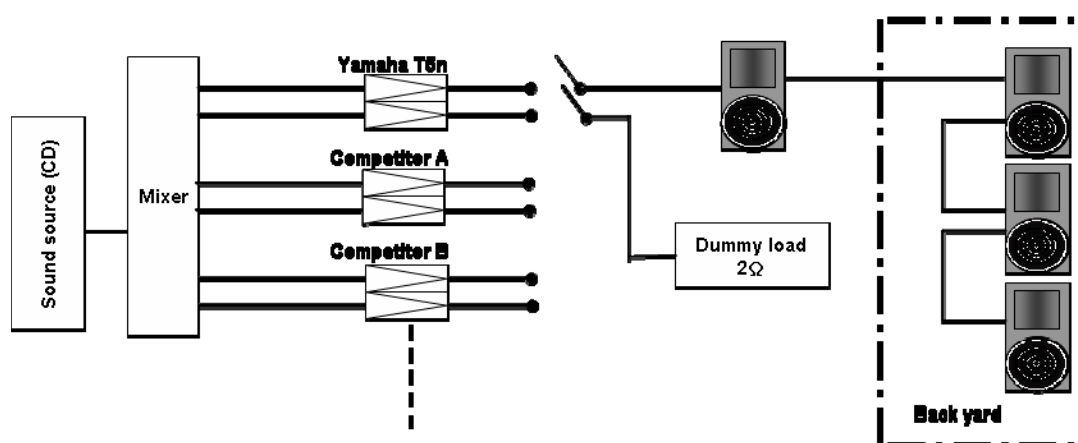
Nous avons mené les expériences ci-dessus à l'aide d'une source musicale. Pour répliquer une configuration plus réaliste, nous avons remplacé la charge fictive sur l'un des canaux par quatre haut-parleurs reliés en parallèle. Pour réduire les interférences entre les quatre haut-parleurs ainsi que la contrainte imposée à nos

oreilles, nous avons vérifié nos résultats à partir d'un haut-parleur de référence. Les trois haut-parleurs restants ont été disposés dans un emplacement distant.

Les résultats de ce test d'écoute ont été pratiquement les reproductions des mesures de l'oscilloscope. Les grosses caisses du « concurrent A » ont été fortement déformées, dures pour l'oreille et dommageables aux haut-parleurs également. Son niveau de reproduction fluctue après la grosse caisse, tel qu'observé dans la mesure de l'oscilloscope.

La sortie du « concurrent B » a été considérablement déformée à la répétition des notes les plus marquées. Le

limiteur de l'amplificateur a été lancé sur le « concurrent C » après la frappe de la grosse caisse. L'amplificateur s'est assourdi pendant quelques secondes avant de retrouver son niveau sonore. Ce limiteur peut certes protéger l'amplificateur de tout dommage éventuel, mais ce comportement est inacceptable dans une situation en direct. Les résultats de cet essai sont très positifs pour le modèle T5n de Yamaha. Celui-ci a fait preuve d'une limitation minimale avec la marge de sécurité la plus importante parmi l'ensemble des produits concurrents. La sortie de l'amplificateur a effectivement révélé une légère déformation en cas de niveaux élevés, mais la reproduction musicale n'en a pas été affectée, et a enregistré les meilleures performances à cet égard.



[Fig.20] Configuration du test d'écoute

YAMAHA CORPORATION

P.O.BOX 1, Hamamatsu, Japon

<http://www.yamahaproaudio.com>