

Reconstruction harmonique d'une forme d'onde RTX-28-44

1 - Sons périodiques - harmoniques

La forme d'onde d'un son périodique se répète de façon identique à elle-même dans le temps. On peut voir une image stable de ce son sur un oscilloscope. Le motif qui se répète, ainsi que sa durée T_0 , s'appellent la période du son.

On peut démontrer qu'un son périodique peut être approché aussi précisément qu'on le souhaite par une somme de sons sinusoïdaux, dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale $f_0 = \frac{1}{T_0}$. Chaque terme de la somme est appelé "harmonique", et il est caractérisé par sa fréquence $f_1 = 1 \cdot f_0$, $f_2 = 2 \cdot f_0$, $f_3 = 3 \cdot f_0$, ... , $f_n = n \cdot f_0$, ..., par son amplitude $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, \dots$, et par son déphasage $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$. Le déphasage est compris entre 0° et 360° et il précise comment les différents harmoniques sont "synchronisés" par rapport au son fondamental, c'est-à-dire, l'harmonique de la fréquence la plus basse.

Application 1 : l'intérêt de cette théorie et de la réalité qu'elle décrit est qu'il est possible de traiter ou de modifier individuellement l'amplitude et le déphasage de chacun des harmoniques d'un son initialement "riche" (en harmoniques). Les synthétiseurs disposent de filtres qui atténuent ou renforcent les harmoniques choisis, et modifient considérablement le son initial. La gestion des harmoniques est également une préoccupation centrale dans la construction d'instruments traditionnels (guitare, flûte, violon ...). La différence entre le son d'une flûte et celui d'un violon provient exclusivement de la présence différente des harmoniques, et la différence de sonorité entre des violons, comme un Mirecourt, un Stainer et un Stradivarius, vient également des harmoniques.

Application 2 : on peut également et inversement procéder à la synthèse d'un son en additionnant des sons sinusoïdaux de fréquences multiples. C'est ce qui est fait dans la suite pour quelques formes d'onde simples.

Remarque : on peut généraliser la démarche, et additionner des sons dont les fréquences ne sont pas des multiples. Le son obtenu n'est plus périodique, et c'est le cas de nombreux instruments, en particulier les percussions.

NOTE : le module RTX-28-44 en Visual Basic peut être remplacé par l'exemple « usercreatedsound.cpp » de la bibliothèque FMODEX. L'efficacité du langage compilé C++ permet de alors de traiter plus de 30 harmoniques. La description ci-dessous se réfère au RTX-28-44, mais se transpose de façon immédiate à la procédure de FMODEX.

2 - Reconstruction d'une dent de scie à partir de sinusoides

On règle dans le RTX-28-44 les 13 générateurs de son pour recréer la forme d'onde voulue. Les amplitudes et les déphasages pour chaque harmonique ont été calculés par la théorie des "séries de Fourier" qui s'applique aux phénomènes périodiques. On utilise ici les résultats de cette théorie.

On commence par additionner des harmoniques en phase, (déphasage ϕ nul pour tous), dont les amplitudes décroissent comme $\frac{1}{n}$, où n est le rang de l'harmonique.

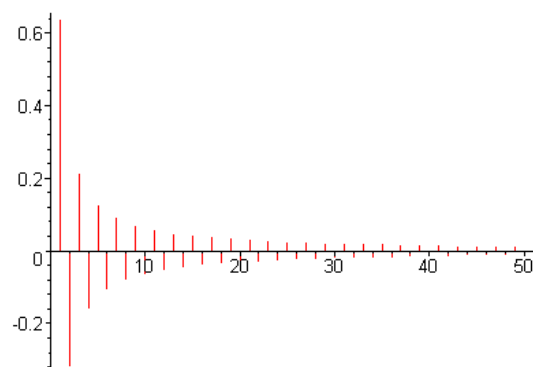
| Harmonique | Fréquence en Hertz | Amplitude | Phase |
|------------|--------------------|-----------------|-------|
| 1 | 100 | 100 | 0 |
| 2 | 200 | 100/2 = 50 | 0 |
| 3 | 300 | 100/3 = 33,333 | 0 |
| 4 | 400 | 100/4 = 25 | 0 |
| 5 | 500 | 100/5 = 20 | 0 |
| 6 | 600 | 100/6 = 16,666 | 0 |
| 7 | 700 | 100/7 = 14,286 | 0 |
| 8 | 800 | 100/8 = 12,5 | 0 |
| 9 | 900 | 100/9 = 11,111 | 0 |
| 10 | 1000 | 100/10 = 10 | 0 |
| 11 | 1100 | 100/11 = 9,0909 | 0 |
| 12 | 1200 | 100/12 = 8,333 | 0 |
| 13 | 1300 | 100/13 = 7,692 | 0 |

Régler le volume général pour qu'il n'y ait pas de saturation, c'est-à-dire pour que le son ne soit pas écrêté.

Dessiner schématiquement la forme d'onde. Ecouter l'évolution du son lorsqu'on ajoute les harmoniques. Enregistrer la configuration sous le nom "config_4_dent_000"

Que se passe-t-il si on déphase tous les harmoniques pairs de 180° ? Dessiner la nouvelle forme d'onde. Enregistrer la nouvelle configuration sous le nom "config_4_dent_180".

Le spectre d'un son est une représentation de l'amplitude de ses différents harmoniques. Celui de la dent de scie est représenté ci-dessous, pour les 50 premiers harmoniques :



3 - Forme d'onde "carrée"

A partir des harmoniques de la dent de scie précédente, supprimer (bouton Off) un harmonique sur 2 en gardant le fondamental à 100 Hertz.

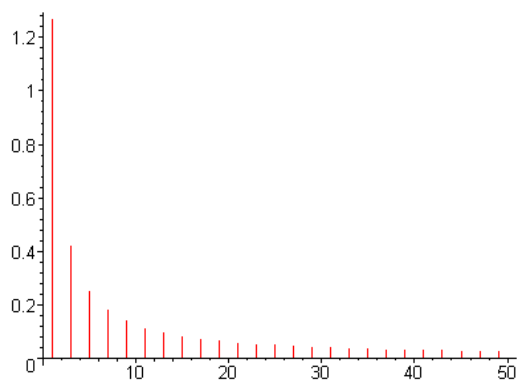
Dessiner la forme de l'onde. Comparer avec le son de l'onde en dent de scie.

Comment peut-on, avec le RTX-28-44, se rapprocher davantage de la forme d'onde visée ? Compléter le tableau ci-dessous et modifier les réglages du RTX-28-44.

| Harmonique | Fréquence en Hertz | Amplitude | Phase |
|------------|--------------------|-------------------|-------|
| 1 | 100 | 100 | 0 |
| 3 | 300 | $100/3 = 33,333$ | 0 |
| 5 | 500 | $100/5 = 20$ | 0 |
| 7 | 700 | $100/7 = 14,286$ | 0 |
| 9 | 900 | $100/9 = 11,111$ | 0 |
| 11 | 1100 | $100/11 = 9,0909$ | 0 |
| 13 | 1300 | $100/13 = 7,692$ | 0 |
| 15 | | | 0 |
| 17 | | | 0 |
| 19 | | | 0 |
| 21 | | | 0 |
| 23 | | | 0 |
| 25 | | | 0 |

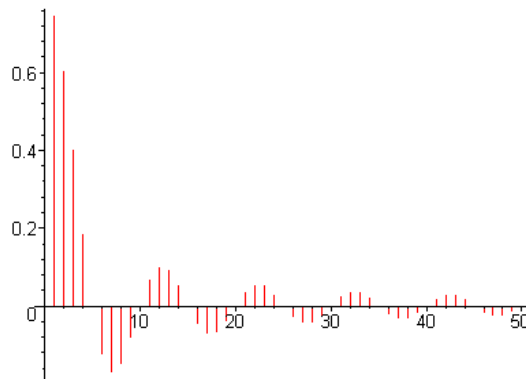
Enregistrer la configuration sous le nom "config_4_carre".

Le spectre d'une forme d'onde carrée est donné ci-dessous :



4 - Forme d'onde "rectangulaire"

Le spectre ci-dessous est celui d'une forme d'onde rectangulaire de rapport cyclique $a = 1 / 5$. L'amplitude théorique de l'harmonique de rang n est $A_n = \frac{\cos(\pi n a)}{n}$ ("ondulation qui diminue").



Le tableau ci-dessous contient les valeurs numériques qui correspondent à cette formule.

| Harmonique | Fréquence en Hertz | Amplitude | Phase |
|------------|--------------------|-----------|-------|
| 1 | 100 | 58,778 | 90 |
| 2 | 200 | 47,553 | 90 |
| 3 | 300 | 31,702 | 90 |
| 4 | 400 | 14,694 | 90 |
| 5 | 500 | 0 | 0 |
| 6 | 600 | 9,796 | 270 |
| 7 | 700 | 13,586 | 270 |
| 8 | 800 | 11,888 | 270 |
| 9 | 900 | 6,531 | 270 |
| 10 | 1000 | 0 | 0 |
| 11 | 1100 | 5,343 | 90 |
| 12 | 1200 | 7,925 | 90 |
| 13 | 1300 | 7,316 | 90 |
| 14 | 1400 | 4,198 | 90 |
| 15 | 1500 | 0 | 0 |
| 16 | 1600 | 3,674 | 270 |

Effectuer les réglages du RTX-28-44.

Ecouter le son et dessiner la forme d'onde visualisée sur l'oscilloscope. Vérifier la valeur du rapport cyclique $a = 1 / 5$. Enregistrer la configuration sous le nom "config_4_rect_cycl_5".

Tester des modifications de valeurs du déphasage pour les premiers harmoniques en regardant l'oscilloscope et en écoutant.

5 - Sons non périodiques

Les possibilités sont infinies.

On peut par exemple obtenir un battement lent avec :

| Générateur | Fréquence en Hertz | Amplitude | Phase |
|------------|--------------------|-----------|-------|
| 1 | 440 | 20 | 0 |
| 2 | 440,1 | 20 | 0 |

On peut mélanger 2 sons (un grave, et un plus aigu) qui ont un battement lent :

| Générateur | Fréquence | Amplitude | Phase |
|------------|-----------|-----------|-------|
| 1 | 440 | 20 | 0 |
| 2 | 440,1 | 20 | 0 |
| 3 | 1000 | 20 | 0 |
| 4 | 1000,1 | 20 | 0 |

On peut faire alterner ces deux sons en changeant la phase :

| Générateur | Fréquence | Amplitude | Phase |
|------------|-----------|-----------|-------|
| 1 | 440 | 20 | 180 |
| 2 | 440,1 | 20 | 0 |
| 3 | 1000 | 20 | 0 |
| 4 | 1000,1 | 20 | 0 |

6 - Pour voir l'ordinateur compter

Utiliser le générateur 1 à la fréquence 440 Hertz (On). Choisir Saw (dent de scie) comme forme d'onde (Sound Wave). Régler le volume à 20 pour le générateur 1 et le volume général à 40. Régler l'accord général à 0,00004 (Tuning de General Control), soit une fréquence extrêmement basse.

On voit alors l'ordinateur compter en binaire très lentement sur les diodes reliées à son "port parallèle".

C'est exactement ce qu'il fait lorsqu'on entend un son, mais 100 000 fois plus vite dans le cas du RTX-28-44, 44 100 fois plus vite dans le cas de la lecture d'un CD et 48 000 fois dans le cas de la lecture de la piste son d'un DVD.