

mini-générateur de bruit pour déterminer une réponse en fréquence



Un simple générateur de bruit opérant dans la plage des fréquences audio permet de vérifier rapidement un amplificateur ou une enceinte. Autrefois, la source de bruit était le plus souvent la jonction base-émetteur d'un transistor. Nous sommes à l'ère du numérique, il existe désormais d'autres solutions.

Wilfried Wätzig
(Allemagne)

Pour construire un générateur de bruit numérique, on utilise un registre à décalage composé d'une longue chaîne de bascules D dont la dernière sortie est réinjectée dans le registre après avoir été combinée logiquement avec d'autres sorties (**fig. 2**). Un tel registre est appelé *registre à décalage à rétroaction linéaire*, abrégé ci-après en LFSR, de l'anglais *Linear Feedback Shift Register*. Les opérateurs logiques sont ici des OU exclusifs.

Registre à décalage à rétroaction linéaire

Les bits de sortie du registre forment une suite aléatoire, mais aléatoire en apparence seulement puisque la valeur de ces bits a bien sûr une cause déterministe (il manque ici un élément physique vraiment aléatoire, p. ex. une jonction B-E). Pour un compteur ou un brouilleur (*scrambler*), cette suite de bits convient pour représenter un nombre (pseudo-) aléatoire. Ce flux binaire contient toutefois également différentes fréquences discrètes allant jusqu'à la moitié de la fréquence d'horloge. Lorsque la chaîne comporte 8 étages et que son comportement peut être représenté par un polynôme primitif (ici de la forme $1+V8+V6+V5+V4$), il est possible de produire 2^8-1 fréquences différentes. Le degré n du polynôme associé à un générateur de bruit doit donc être élevé si l'on veut obtenir un spectre équilibré. La théorie et les mathématiques de cette technique sont expliquées sur Wikipédia [1].

Un tel générateur de bruit a déjà été décrit dans un ancien article d'Elektor [2]. Le bruit était produit à l'aide d'un registre à décalage matériel de 16 bits utilisant des portes XNOR pour la rétroaction et le polynôme caractéristique $1+V2+V3+V5+V16$. Le bruit de ce générateur n'était cependant pas uniforme, il était entrecoupé de bruits sourds désordonnés et de stridulations.

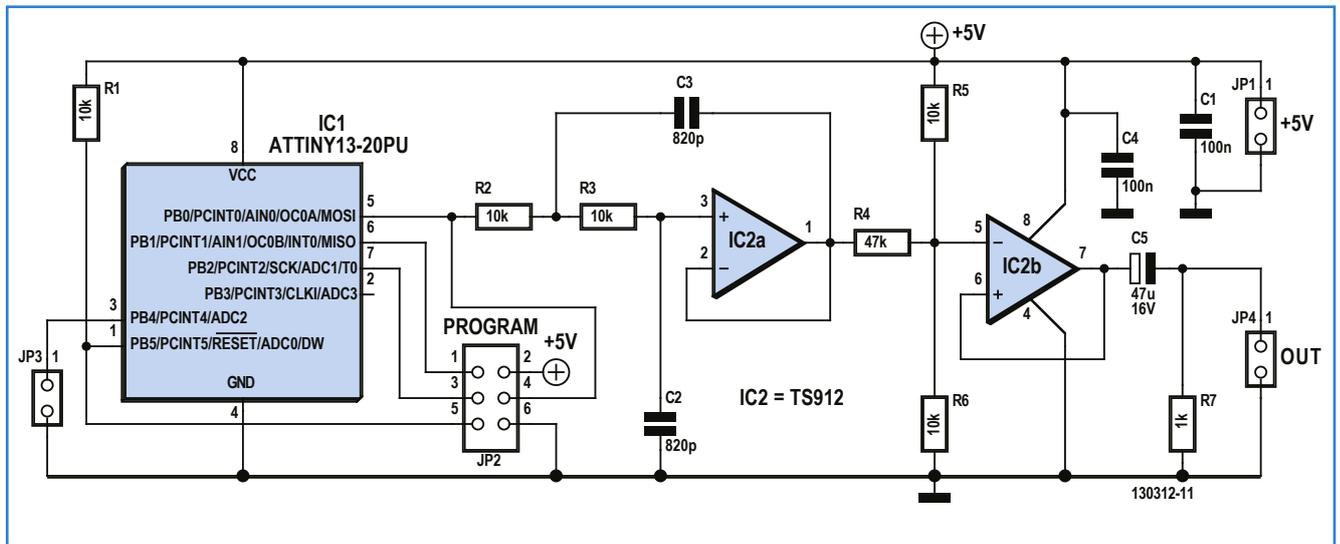
Nous avons tenté de l'améliorer avec un autre LFSR, dit de Fibonacci, du nom du mathématicien italien du Moyen-Âge Léonard de Pise, dit Fibonacci. Nous avons testé deux variantes du LFSR de Fibonacci :

- à 16 bits et opérateurs XOR, représenté par le polynôme caractéristique $1 + V11 + V13 + V14 + V16$;
- à 24 bits et opérateurs XOR, représenté par $1 + V20 + V21 + V23 + V24$.

Les deux variantes ont produit le même résultat : un bruit uniforme.

Microcontrôleur filtré

Nous pourrions bien sûr suivre l'ancien montage Elektor [2] et construire ce LFSR à l'aide de portes logiques et de registres à décalage sous forme de CI (74HCT174). Ça aussi, c'est quelque peu dépassé, il est plus élégant de reproduire le comportement du registre avec un court programme écrit en assembleur et exécuté par un ATtiny13 (**fig. 1**). Un simple cavalier sur le connecteur JP3 relié à la broche PB4 permet en outre d'utiliser le registre



soit avec $n = 16$ (cavalier), soit avec $n = 24$ (pas de cavalier).

L'ATtiny est cadencé à 9,6 MHz par le générateur d'horloge intégré. Il produit dans le registre une nouvelle valeur toutes les 10 μ s (100 kHz). L'écart entre les fréquences produites est donc de $100 \text{ kHz} / 2^{16} - 1 \approx 15,5 \text{ Hz}$ ou de $100 \text{ kHz} / 2^{24} - 1 \approx 0,006 \text{ Hz}$, et la partie haute du spectre vaut $f_{\text{horloge}} / 2 = 50 \text{ kHz}$. La valeur de V1 (la sortie du registre à décalage) est fournie par la broche PD0 de l'ATtiny. Incidemment, une passe prend près de 3 minutes dans le cas du 24 bits !

Vous pouvez télécharger le code en assembleur depuis le lien [3]. Il a été écrit avec la version 6 d'Atmel Studio. Vous devez positionner le fusible de configuration HIGH sur 0xFF, et le LOW sur 0x7A. Le circuit est équipé d'une interface de programmation (JP2) à brochage ISP standard, mais vous pouvez aussi vous procurer un contrôleur déjà programmé [3]. IC2A est un simple filtre passe-bas Sallen-Key dont la fréquence de coupure vaut 19,4 kHz [4] et la pente 12 dB/oct. Ce filtre permet de supprimer efficacement toutes les fréquences

situées hors de la plage audible, et surtout la fréquence d'horloge de 100 kHz. Le signal du filtre passe-bas est tamponné par le second ampli-op IC2B, et, puisque la tension d'alimentation (appliquée sur JP1) est asymétrique (+5 V), le signal est dépouillé de sa composante continue par le condensateur de découplage C5 qui l'achemine vers la sortie JP4. La tension de sortie d'IC2 balaie toute la plage de la tension d'alimentation (*rail to rail*) de ce double amplificateur opérationnel TS912. Le circuit est aussi simple que petit, vous pouvez l'assembler sur un morceau de plaque d'expérimentation, comme sur la photo.

(130312 - version française : Hervé Moreau)

Liens

- [1] http://fr.wikipedia.org/wiki/Registre_à_décalage_à_rétroaction_linéaire
- [2] Générateur de bruit, Elektor juillet-août 2002, page 118
- [3] www.elektor-magazine.fr/130312
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Sallen-Key_topology

Figure 1. L'ATtiny du générateur de bruit implante un registre à décalage LFSR logiciel.

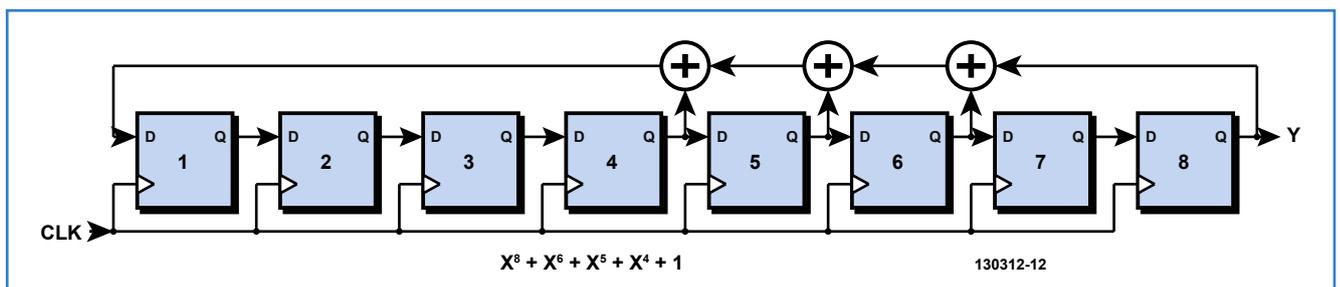


Figure 2. Principe du registre à décalage à rétroaction linéaire de Fibonacci, ici à huit étages.