

Mini-Rauschgenerator

Frequenzgang schnell ermittelt



Zur schnellen Überprüfung eines Verstärkers kann man einen einfachen Rauschgenerator für den Tonfrequenzbereich verwenden. Früher wurde ein Rauschgenerator in der Regel mit einer Diode oder einem Basis-Emitter-Übergang eines Transistors als Rauschquelle aufgebaut, im Zeitalter der Digitaltechnik gibt es aber noch andere Lösungen.

Von Wilfried Wätzig

Für einen digitalen Rauschgenerator setzt man ein breites Schieberegister, eine Kette von D-Flipflops ein, deren letzter Ausgang an bestimmte Stellen der Kette über logische Verknüpfungen zurückgeführt wird. **Bild 1** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen linear rückgekoppelten Schieberegisters, wobei hier die Rückführungen über Exklusive-OR-Glieder erfolgen. Im Englischen heißt so etwas Linear Feedback Shift Register (LFSR).

Linear rückgekoppeltes Schieberegister

Am Ausgang des Registers erscheint eine Folge von scheinbar zufälligen, in Wahrheit aber natürlich (es fehlt ja ein physikalisches, zufälliges Element wie der BE-Übergang) streng determinierten Bits. Die Bitfolge kann als Pseudo-Zufallszahl in Zählern oder Scramblern benutzt werden. Gleichzeitig enthält der Bitstrom aber auch verschiedene, diskrete Frequenzen bis zur Hälfte der Taktfrequenz. Wenn das Verhalten der Kette mit $n=8$ Speicherzellen durch ein so genanntes primitives Polynom (hier $1+V^8+V^6+V^5+V^4$) dargestellt werden kann, kann man insgesamt 2^8-1 verschiedene Frequenzen generieren. Ein großes n ist also für einen Rauschgenerator wichtig, um ein möglichst ausgeglichenes Spektrum zu erzielen. Mehr über die Theorie und Mathematik dieser Technik finden Sie unter [1]. In einem alten Elektor-Artikel [2] wurde ein solcher Rauschgenerator beschrieben, wobei

das Rauschen mit einem 16 bit breiten Hardware-Schieberegister mit XNOR-Rückführung ($1+V^2+V^3+V^5+V^{16}$) erzeugt wurde. Ein Test dieses Rauschgenerators zeigte allerdings, dass das Rauschen hörbar nicht gleichförmig war, sondern Rumpeln und Zirpen enthielt.

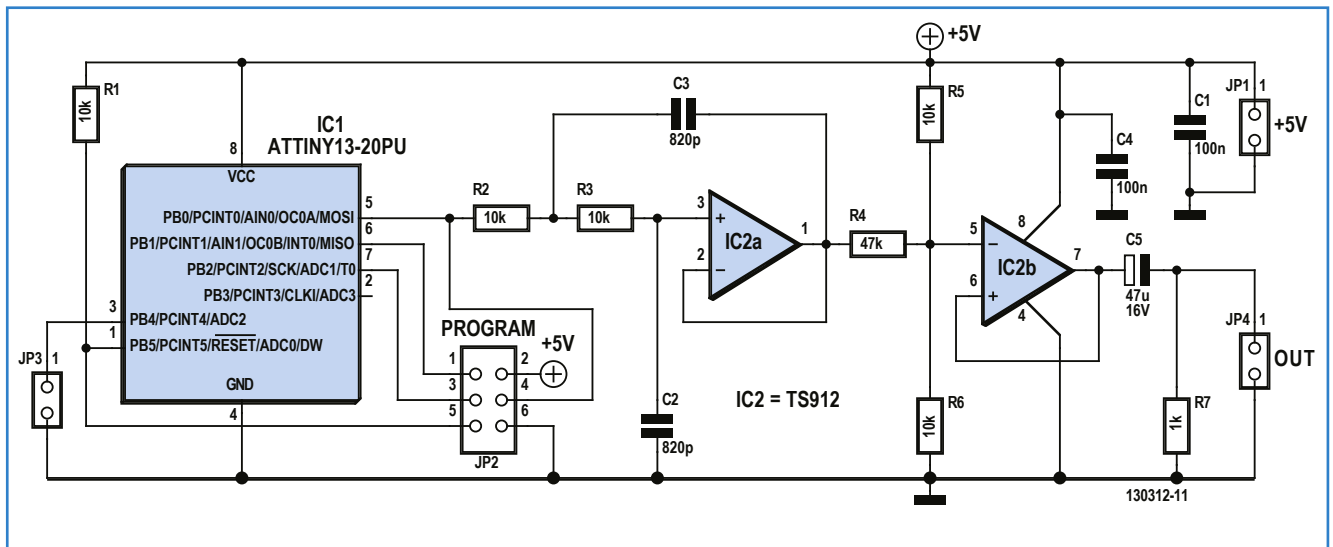
Um ein besseres Rauschen zu erzeugen, wurde hier ein anderes LFSR in zwei Versionen ausprobiert, das nach dem mittelalterlichen italienischen Mathematiker Leonardo Fibonacci benannt wurde.

- Fibonacci-LFSR mit 16 bit: Rückführung $1 + V^{11} + V^{13} + V^{14} + V^{16}$ mit XOR und
- Fibonacci-LFSR mit 24 bit: Rückführung $1 + V^{20} + V^{21} + V^{23} + V^{24}$ mit XOR.

Es zeigte sich, dass beide Varianten ein ausgeglichenes Rauschen erzeugen.

Ein gefilterter Controller

Das LFSR lässt sich natürlich mit speziellen Schieberegister-ICs 74HCT174 plus Logikgattern wie in [2] realisieren. Das scheint jedoch etwas altbacken, eleganter ist es, das rückgekoppelte Register durch ein kurzes (Assembler-)Programm zu ersetzen und in einem Atmel-Mikrocontroller ATtiny13 zu emulieren (**Bild 2**). Zudem ist es dann mit einem einfachen Schalter (Jumper JP3 am Controller-Pin PB4) möglich, zwischen einem Register mit



$n=16$ (geschlossen) und $n=24$ Speicherstellen (offen) zu wechseln.

Der Controller wird vom eingebauten Taktgenerator mit 9,6 MHz betrieben und erzeugt alle $10 \mu s$ (100 kHz) einen neuen Wert im LFSR. Der Abstand der erzeugten Frequenzen liegt deshalb bei $100 \text{ kHz}/2^{16}-1 \approx 15,5 \text{ Hz}$ beziehungsweise $100 \text{ kHz}/2^{24}-1 \approx 0,006 \text{ Hz}$, das obere Ende des Spektrums bei $f_{\text{Takt}}/2 = 50 \text{ kHz}$. Der Wert von V_1 (der Ausgang des Schieberegisters) wird über Pin PD0 des ATtiny ausgegeben. Der Durchlauf bei 24 bit dauert übrigens beinahe 3 Minuten! Das dazu erforderliche Assembler-Programm kann unter [3] heruntergeladen werden. Bei der Entwicklung kam das AVR-Studio 6 zum Einsatz. Es müssen die Fuses HIGH 0xFF und LOW 0x7A gesetzt werden. In der Schaltung ist eine Programmierschnittstelle (JP2) mit ISP-Standard-Belegung eingebaut, Sie können den Controller aber auch fertig programmiert erstellen [3] und auf JP2 verzichten.

IC2A ist ein einfacher Sallen-Key-Tiefpass mit 19,4 kHz Transitfrequenz [4], der mit 12 dB/

Oktave alle Frequenzen oberhalb des Audiobereichs (und vor allem die 100-kHz-Taktfrequenz) wirkungsvoll unterdrückt. Der Tiefpass wird von dem zweiten Opamp IC2B gepuffert und von C5 - da eine einfache Versorgungsspannung von +5 V an JP1 verwendet wird - gleichspannungsentkoppelt auf den Ausgang JP4 geführt. Für IC2 kommt hier ein Doppel-Opamp TS912 mit Rail-to-rail-Eigenschaften zum Einsatz. Die Schaltung ist so klein und einfach, dass sie wie im Titelbild auf einem Stückchen Lochraster aufgebaut werden kann.

(130312)

Weblinks

- [1] http://de.Wikipedia.org/wiki/Linear_rückgekoppeltes_Schieberegister
- [2] Rauschgenerator, Elektor 7-8/2002, S.118f
- [3] www.elektor-magazine.de/130312
- [4] <http://de.Wikipedia.org/wiki/Sallen-Key-Filter>

Bild 1. Der Rauschgenerator mit dem ATtiny, der ein LF-Schieberegister in Software realisiert.

Bild 2. Prinzip eines linear rückgekoppelten Fibonacci-Schieberegisters, das acht Speicherelemente breit ist.

