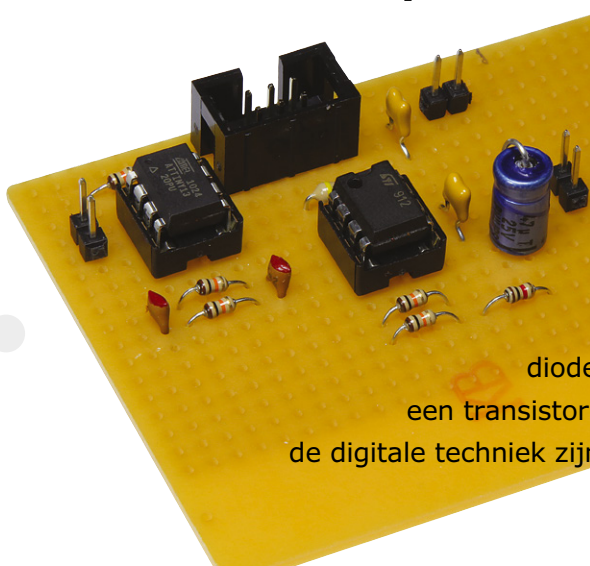


Mini-ruisgenerator

Snel een frequentie karakteristiek bepalen



Voor een snelle controle van een versterker kunnen we een eenvoudige ruisgenerator voor het audiodrequentiebereik gebruiken. Vroeger werd een ruisgenerator in de regel opgebouwd met een diode of een basis-emitter-overgang van een transistor als ruisbron, maar in het tijdperk van de digitale techniek zijn er ook andere oplossingen.

Wilfried Wätzig
(Duitsland)

Voor een digitale ruisgenerator wordt een breed schuifregister, dat bestaat uit een reeks van D-flipflops, ingezet. De laatste uitgang van dit schuifregister koppelen we terug naar bepaalde plaatsen van de reeks. In **figuur 1** zien we de principiële opbouw van zo'n lineair teruggekoppeld schuifregister, waarbij de terugkoppelingen zijn gerealiseerd met Exclusive-OR-poorten. In het Engels heet zo iets een Linear Feedback Shift Register (LFSR).

Lineair teruggekoppelde schuifregisters

Aan de uitgang van het register verschijnt een reeks van schijnbaar toevallige, maar in werkelijkheid natuurlijk (er is immers geen enkel fysiek toevallig element zoals een BE-overgang) uiterst streng bepaalde bits. De bitreeks kan worden gebruikt als pseudo-toevalsgetal in tellers of scramblers. Maar de bitstream bevat ook verschillende discrete frequenties tot aan de helft van de klokfrequentie. Als het gedrag van een keten met $n=8$ geheugenlocaties kan worden weergegeven door een zogenaamd primitief polynoom (hier $1+V8+V6+V5+V4$), dan kunnen we in totaal 2^8-1 verschillende frequenties genereren. Een grote waarde van n is dus belangrijk voor een ruisgenerator, om een zo evenwichtig mogelijk frequentiespectrum te krijgen. Meer over de theorie en wiskunde van deze techniek is te vinden onder [1].

In een oud Elektor-artikel [2] werd zo'n ruisgenerator beschreven, waarbij de ruis werd opgewekt met een 16 bits breed hardware-schuifregister met XNOR-terugkoppeling ($1+V2+V3+V5+V16$). Maar een test van deze ruisgenerator toonde aan dat de ruis hoorbaar niet monotoon was; hij bevatte gebrom en getjilp.

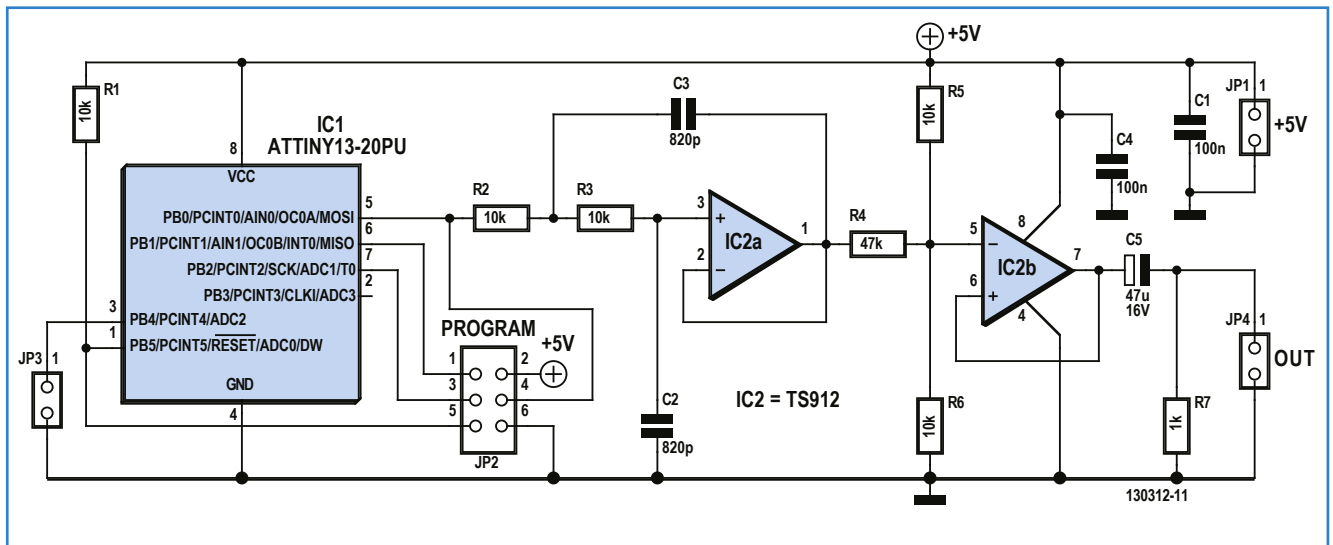
Om betere ruis op te wekken heeft de auteur geëxperimenteerd met twee versies van een ander LFSR, dat is vernoemd naar de middeleeuwse Italiaanse wiskundige Leonardo Fibonacci.

- 16-bits Fibonacci-LFSR: Terugkoppeling $1 + V11 + V13 + V14 + V16$ met XOR en
- 24-bits Fibonacci-LFSR: Terugkoppeling $1 + V20 + V21 + V23 + V24$ met XOR.

Het bleek dat beide varianten evenwichtige ruis opleverden.

Een gefilterde controller

Natuurlijk kunnen we een LFSR opbouwen met schuifregister-IC's van het type 74HCT174 en logische poorten zoals in [2]. Maar dat is toch wel een beetje ouderwets. Het is eleganter om het teruggekoppelde schuifregister te vervangen door een kort (assembler)programma en het in een ATtiny13-microcontroller te emuleren (zie **figuur 2**). Bovendien kunnen we dan met een eenvoudige schakelaar (jumper JP3 aan controller-pen PB4), kiezen tussen



een register met $n=16$ (gesloten) en $n=24$ geheugenplaatsen (open). De controller werkt met de interne klokgenerator op 9,6 MHz. Elke $10 \mu s$ (100 kHz) wordt een nieuwe waarde berekend in het LFSR. De afstand tussen de frequenties is dus $100 \text{ kHz}/2^{16}-1 \approx 15,5 \text{ Hz}$ respectievelijk $100 \text{ kHz}/2^{24}-1 \approx 0,006 \text{ Hz}$; het frequentiespectrum loopt tot $f_{\text{klok}}/2 = 50 \text{ kHz}$. Via pin PD0 van de ATtiny wordt de waarde van V1 (de uitgang van het schuifregister) naar buiten gevoerd. Bij gebruik van 24 bits duurt het trouwens bijna 3 minuten voordat dezelfde waarde zich herhaalt in het schuifregister!

19,4 kHz [4] en een steilheid van 12 dB/octaaf. Dit onderdrukt alle frequenties boven het audiogebied (en vooral de klokfrequentie van 100 kHz) effectief. Na het laagdoorlaatfilter volgt een tweede opamp IC2B die als buffer is geschakeld. Omdat een enkelvoudige voedingsspanning van +5 V gebruikt wordt, moet de uitgang op JP4 worden ontkoppeld voor gelijkspanning. Dat is de functie van C5. IC2 is een dubbel-opamp TS912 met rail-to-rail-eigenschappen. De schakeling is zo klein en eenvoudig dat ze gemakkelijk, zoals in de titelfoto, op een stukje gaatjesprint kan worden opgebouwd.

Figuur 1. De ruisgenerator met de ATtiny. Het schuifregister is in de software gerealiseerd.

(130312)

Het te gebruiken assembler-programma is te downloaden van [3]. Het is ontwikkeld met AVR-studio 6. Stel de fuses HIGH in op 0xFF en LOW op 0x7A. De schakeling is voorzien van een ISP-programmeerconnector (JP2), maar de controller is ook kant-en-klaar geprogrammeerd te koop bij Elektor [3]. JP2 kan dan worden weggelaten. IC2A is een eenvoudig Sallen-Key-laagdoorlaatfilter met een grensfrequentie van

Weblinks

- [1] http://nl.wikipedia.org/wiki/Linear_feedback_shift_register
- [2] Ruisgenerator, Halfgeleidergids 2002, blz. 58
- [3] www.elektor-magazine.nl/130312
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Sallen%E2%80%93Key_topology

Figuur 2. Principe van een lineair teruggekoppeld Fibonacci-schuifregister met acht geheugenplaatsen.

