

Mikrovezérlős ultrahang-generátor az állatriasztókhoz

König Imre villamosmérnök, im_re@freemail.hu

A 2016-os RT évkönyvben Nagymáté Csaba cikke részletesen tárgyalta az ultrahangos rágszálóriasztók megvalósítási lehetőségeit. Ennek folytatásaként véletlen elemeket tartalmazó időzítési és modulációs sémák mikrovezérlős előállítására mutatunk néhány példát. A végfokokra és hangszugárzókra nem térünk ki, azok a hivatkozott cikk alapján kiválaszthatók és megépíthetők. Jelen cikk olyan részletességgel tárgyalja a szoftvert, hogy az olvasónak lehetősége legyen a saját igényei szerinti módosításra.

Viselkedéstani kutatások azt mutatják, hogy a patkányok a 22...23 kHz körüli frekvenciájú, 300 ms...1,5 s-ig időtartamú ultrahangokat vészjelzésként (is) használják. A hatás azonban a sűrű ismétléstől, hacsak nem társul hozzá tényleges veszély, gyengül, hozzászokás alakul ki. Generátorunk ezért egy minimális és egy maximális érték között véletlenszerűen változó, viszonylag hosszú szünetekkel állítja elő a változó hosszúságú ultrahang-csomagokat. Az ultrahang némi frekvenciamodulációval rendelkezik. Bemutatunk egy másik változatot is, amely a szünetekben egy segédgenerátor közreműködésével időnként szélessávú zajjal „szórakoztatja” a rágszálókat. Ennek az az előnye, hogy a vészjelek közötti időtartamot úgy tudjuk megnyújtani, ezáltal azokat „híhetőbbé” tenni, hogy közben is tudunk kellemetlenkedni hívatlan szőrös vendégeinknek.

A 22...23 kHz-es ultrahang-csomagoktól azt reméljük, hogy baljós információtartalmuk miatt olyan távolságban is hatásosak valamennyire, ahol a fájdalomküszöb fölötti hangnyomásszint már nem biztosítható. A bonyolultabb változat által a szünetekben sugárzott szélessávú zaj várakozásunk szerint hatékonyan zavarja

az állatok kommunikációját, amelyek ezt vélhetően zokon veszik.

Az egyszerűbb generátor (1. ábra) mindössze egy PIC10F322 mikrovezérlőből és néhány passzív alkatrészből áll. Rezonáns végfok meghajtására szánt szimmetrikus négyszögjel-kimenete mellett holtávós ellenütemű kimenettel (PH1, PH2) is rendelkezik. Ezzel MOS H-hidat hajthatunk meg, lehetőleg nem közvetlenül, hanem kettős MOS meghajtó áramkörön (pl. IR4427-n) keresztül.

Az ultrahang előállítására az NCO (Numerically Controlled Oscillator) perifériát használjuk. Ez úgy működik, hogy egy 16 bites összeadandót óraütemenként egyszer hozzáad egy 20 bites akkumulátorhoz, és amikor utóbbi a sorozatos összeadások hatására túlsordul, a kimenet programból választhatóan vagy programozható ideig 1 értékű lesz, vagy egyszerűen csak szintet vált. Belátható, hogy ez a módszer az összeadandó és a frekvencia között lineáris kapcsolatot létesít. Ez a periféria előnye. Az is nyilvánvaló, hogy hacsak az összeadandó nem 2 hatványa, akkor a túlsordulás maradékot eredményez, és a maradékok halmozódása miatt nem mindig ugyanannyi összeadás után következik be a túlsordulás.

(Csak két egymás utáni érték jön számításba, olyan gyakorisággal, hogy a súlyozott átlag kiadja az összeadandóhoz tartozó értéket. A jitter tehát egy összeadás ideje.) Ez azt jelenti, hogy az átlagfrekvencia megegyezik a kiszámítottal, de a pillanatnyi attól eltér, a spektrum nem tiszta. Ez a periféria hátránya. Az alkalmazás korlátja kis számoknál a kis relatív felbontás, nagy számoknál a nagy relatív jitter. A mi számaink a legnagyobb választott oszcillátorfrekvencia következtében elég nagyok az elfogadható felbontáshoz. Nem műszert készítünk, sőt magunk is alkalmazunk némi véletlen jellegű frekvenciamodulációt, így az utóbbi probléma súlyát sem érezzük meg.

A túlsordulás frekvenciáját a következő képlet adja meg:

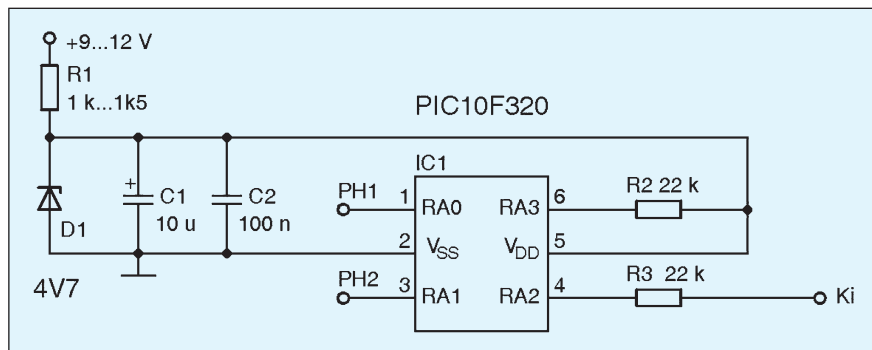
$$f_{\text{ics}} = \frac{\text{NCO óra} \cdot \text{összeadandó}}{2^{20}}$$

Ebbe az összeadandó helyére 1-et írva, 16 MHz-es órafrekvenciánál kerekítve, 15,26 Hz-et kapunk. Ez a túlsordulás frekvencia-lépésköze.

Egy választott túlsordulási frekvenciához az összeadandót a fenti képlet átrendezésével kapott képletből számítjuk ki:

$$\text{összeadandó} = \frac{2^{20} \cdot f_{\text{ics}}}{\text{NCO óra}}$$

A mi esetünkben (szimmetrikus négyszögjel üzemmód) a kimenőfrekvencia előállítása két szintváltást, vagyis két túlsordulást igényel, ezért a kimenőfrekvenciához tartozó összeadandó kiszámításánál kétszeres túlsordulási frekvenciával kell számolnunk. A táblázat a használni ki-



1. ábra

A választott frekvenciatartományhoz tartozó összeadandók			
1048576	(Túlcsordulás, számérték)		
16000000	(órafrekvencia, Hz)		
Frekvencia, Hz	Összeadandó értéke		
	Impulzusüzem	50%-os üzem	Kerekítve
22000	1441,79	2883,58	2884
22500	1474,56	2949,12	2949
23000	1507,33	3014,66	3015
23500	1540,1	3080,19	3080
24000	1572,86	3145,73	3146
24500	1605,63	3211,26	3211
25000	1638,4	3276,8	3277
25500	1671,17	3342,34	3342
26000	1703,94	3407,87	3408
Különbség			524

vánt frekvenciatartomány néhány kerek értékéhez tartozó összeadandókat tartalmazza. Látható, hogy a tartomány két szélé közötti különbség 524 egység.

A frekvenciamoduláció úgy jön létre, hogy az összeadandót időnként módosítjuk. Az összeadandó két részből áll: egy csökkenő alapértékből (ld. [1]) és a hozzáadott nyolcbites (ál)véletlen számból. Az egyszerűbb számolás érdekében mindkét módosító komponens a 22 kHz-es legkisebb frekvenciához tartozó 2884 értékhez adódik, és mindkettő értéktartománya 0-255, vagyis a teljes tartomány csupán 510 egység. Így a maximális frekvencia nem fogja elérni a 26 kHz-et, de ez nem probléma. A csökkenő jelleget megadó komponens 255-ről indul, és minden megszakításban 1-gyel csökken, amíg a 0-t el nem éri. A véletlen komponens 8 megszakításonként változhat, mert addigra áll elő 8 új bit. Amikor véletlen számot használunk fel, a továbbiakban is annak valahány bitje fogja meghatározni a tartományt, vagyis mindig 2 hatványa számú lehetőségünk lesz. A kiválasztott számú bitet megfelelő súlyozással adjuk hozzá az alapértékhez, vagyis a tartomány alsó határához.

Az eseményeket a 2 kHz-es timer2 megszakítás időzíti. A megszakítás a kötelező mentés és jelzőbit törlés után két álvéletlen-generátorral indul. Ezek lényegében megegyeznek a *Rádiótechnika 2015/6. számában* ismerttetettekkel, csak mivel a ciklust itt a következő megszakítás zárja, az utasítások sorrendjét meg kellett változtatni, hogy az átvitel bitbe kerülő

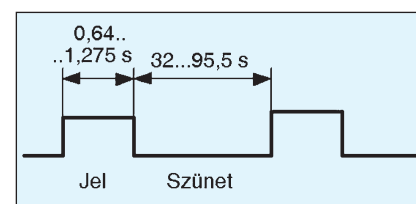
információ el ne vesszen. A generátorokat úgy függetlenítjük egymástól, hogy különböző hosszúságúakat használunk. A 2 kHz-es léptetés elég lassú ahhoz, hogy a regiszterhossz rövid lehessen. Az adott megszakításfrekvencia mellett 500 us-onként keletkezik generátoronként egy véletlen bit. Az egyik generátor 8 bitjét felhasználó modulációval így 4 ms-onként tudjuk változtatni a frekvenciát. A megszakításban néhány számláló fut a vezérlőbitek által meghatározott módon. Ezek inicializálásához is a véletlenszám-generátorok tartalmát, illetve annak egy részét használjuk fel. Minél rövidebb a részlet, annál hamarabb újul meg a tartalom. (A függetlenség eléréséhez annyi álvéletlen-generátor kell, amennyi véletlen értékre egyszerre van szükségünk. Ebben a programban kettő elegendő.)

Bekapcsolás után megtörténik a perifériák és a megszakítás inicializálása, de az NCO még áll, kimenete nulla, a vezérlő bitek nullák. Ez így is marad az első 32 megszakítás során. Ezalatt mindkét véletlenszám-generátor tartalma teljes hosszában megújul. A csökkenő jelleget adó számláló 255-re inicializálódik, ennek, az első véletlenszám középső bájtjának és az alapkonsztansnak az összegeként előáll és az NCO-ba íródik a frekvenciaszó két bájtja. (A továbbiakban megszakításonként csökkenne az alapfrekvencia, ami nem érződik azonnal a kimeneten, mert csak 8 megszakításonként frissül a frekvenciaszó, akkor számoljuk újra a minimum, a csökkenő és a véletlen komponens összegét.)

Egyidejűleg a másik véletlenszám-generátor segítségével meghatározzuk és számlálóba töltjük a csomag hosszát. A megcélzott tartomány 0,64...1,275 s. A minél nagyobb felbontás érdekében 1,275 s = 255 egység. Ehhez a 2 kHz-es megszakításba egy 10-es osztót építünk be, vagyis visszaszámlálás majd csak minden 10. megszakításban történik. A számláló kezdőértékét egy 128 értékű konstans és a 2. véletlenszám-generátor hét bitjének összege adja.

Amikor az előkészítéssel végeztünk, engedélyezzük az NCO kimenetét, és kezdődik a 10 megszakításoskénti visszaszámlálás. Amikor a számláló nullázódott, leállítjuk az NCO kimenetét, a 2. véletlenszám-generátor segítségével kiszámítjuk a szünet időtartamát és elindítjuk a szünet számlálót. Az időtartomány most 32- 95,5 s, amihez 100-as előosztót használunk, a kezdőérték pedig 64 + az 1. véletlenszám-generátor hét bitje lesz. A szünet lejártakor ismét kiszámítjuk a frekvenciát és az aktív időt stb. Az előosztók és a kezdőértékek változtatásával ízlés szerint változtathatjuk az időzítéseket. A különösnek látszó számok a bináris véletlen számok n bitjének teljes felhasználásából adódnak. A kezdőérték megválasztásának az a szempontja, hogy az összeadás ne vezessen túlcsorduláshoz, vagyis a számláló egybájtos maradjon. Az előosztó a kialakított relatív löketet a választott időtartományba helyezi. Az időzítési sémát a **2. ábra** mutatja.

Az ellenütemű, holtzónás kimenetet a CWG (Complementary Waveform Generator) periféria hozza létre az NCO kimenetéből. A CWG alapműködése az, hogy a bemenet felfutó élénél az egyik, a lefutónál a másik kimenet váltását megkéslelteti, így azonos polaritású szakaszok iktatódnak a jelbe. Ha jól konfiguráltuk az áramkört, ezek a zárás irányába hatnak. A konfigurálás részeként mi szabjuk meg:



2. ábra