

Elektronikus dallamcsengő 4.

Nagymáté Csaba, Kőnig Imre villamosmérnökök (nmtecsaba@gmail.com, imrrex@gmail.com)

Mai idők mai dala

Bemutattuk az ismert dallamot játszó áramkör három megvalósítási módját. Ahogy azt a MÁV-szignál esetében is tettük [3], ezekhez most egy mikrovezérlős változatot társítunk, hogy biztosan ne maradjon zárva az az ajtó.

A három hagyományos dallamcsengő közül a tranzisztoros változatot az egyes hangok időtartamának tetszés szerinti (aszinkron) beállíthatósága jellemzi. A félig és a teljesen integrált áramkörös változat szinkron működésű, vagyis az egyes hangok időtartama csak egy adott alapidőtartam egész számú többszöröse lehet. Ennek megfelelően az első az előadói szabadságot, míg a másik kettő a kimért, precíz zenélést képviseli. Ahogy már említettük: ízlések és pofonok... Mindhárom kapcsolás nagyszámú alkatrészt tartalmaz. Mostantól takarékoskodni fogunk.

*A mikrovezérlős változat alapgon-
dolata*

Az újabb PIC mikrovezérlőkben feltűnt egy NCO (Numerically Controlled Oscillator) nevű periféria, ami frekvenciában lineárisan programozható négyszögjel előállítására képes, és ehhez csak indításkor, frekvenciaváltáskor és leálláskor igényli a központi egység támogatását. A dallam egyszólamú, így a mikrovezérlő egyetlen ilyen oszcillátora elegendő. Már csak az egyes hangokat kell egymás után kezelni. Az egyik teendőt már tudjuk: paraméterezni kell az NCO-t, hogy a kívánt frekvencián szóljon. A másik az időtartam beállítása. Az volna jó, ha mindkét stílust tudnánk másolni. A mikrovezérlő szükségképpen szink-

ron működésű, így azzal nem lehet gond, de az aszinkron csak akkor tudjuk jól közelíteni, ha alapidőtartamunk kellően rövid, pl. 1 ms. Ez rövidebb a dallamban előforduló hangok periódusidejénél, így célunknak minden bizonnyal megfelel. Az, hogy így az időtartamot leíró szám sok esetben nem fér be egy bájtba, legyen a program gondja! Van még az inicializálás, az indítás és a leállítás, egyik sem nagy feladat, így, ha a dallam rövid, ami egy dallamcsengőtől elvárható, feltehetően a tárigény is csekély.

Az NCO használata – kíváncsiaknak

Ez a periféria programozható frekvenciájú és 50%, vagy ha úgy akarjuk, bizonyos tartományban programozható kitöltésű négyszögjeleket állít elő. A PWM perifériával szemben, amely a maga másfajta korlátai között szintén alkalmas hasonló feladatra, az ez irányú használat számára az a fő különbség, hogy az NCO *frekvenciája* állítható lineárisan, míg a PWM-nél a lineáris állíthatóság a *periódusidő* vonatkozásában áll fenn. További különbség az, hogy az NCO önálló periféria, míg a PWM a timer2 időzítőre (vagy az újabb típusokban esetleg egy hasonmására) támaszkodik. A linearitást a DDS-eknél is alkalmazott „összeadogató” módszer egyszerűsített változatával éri el. A növekmény regiszter értékét minden NCO óraütemben hozzáadja a (sohasem törölt) fázisakkumulátorhoz, de ahelyett, hogy a fázisakkumulátor felső n bitjével táblázatot címezne, csak a túlcsoordulás számát és a változó érték is csak egy bites. Az eredmény tehát négyszögjel. Konkrétan: amikor az NCO óraje-

lenként ismételt összeadogatói hatására a fázisakkumulátor túlcsoordul, a kimenet programból választhatóan vagy állapotot vált, vagy meghatározott időre aktív állapotba megy. A módszer csak 8 bitnél jelentősen nagyobb szóhosszúságnál ad elfogadható felbontást, így nem véletlen, hogy az NCO-nak saját 20 bites akkumulátor- és 16 bites növekmény-regisztere van. A 20 bites hardveres összeadó természetesen független a mikrovezérlő aritmetikai egységétől. Általában az NCO órajele is eltér az utasítás-órajeltől (többnyire gyorsabb). Mi a fix kitöltésű üzemmódot használjuk, aminek két túlcsoordulásra van szüksége a jel egy teljes periódusának létrehozásához. A szimmetrikus négyszögjel, ha tényleg az, csak páratlan harmonikusokat tartalmaz. Ez meghatározza „hangszerünk” hangszínét. Esetünkben a működési elvből adódó időnkénti kis mértékű aszimmetria miatt minimális amplitúdóval (kb. 50 dB-lel a páratlanok alatt) a páros harmonikusok is megjelennek. Impulzus jelformát választva a páros harmonikusok erőteljesebbé válnának. A valódi hangszerek fel- és lefutását, valamint a harmonikusok hangszerenként eltérően alakuló relatív súlyát ezzel az eszközzel sem tudjuk utánozni, de dallamcsengőnél ez nem is szükséges.

Zenei hangokat állítunk elő, így elvárjuk a $\pm 0,5$ Hz-en belüli pontosságot. Bár ez a pontosság jobb, mint amit a korábbi változatoktól megköveteltünk, 250 Hz alatt már nem lennének elégedettek vele, mert hiába van meg a célul kitűzött abszolút és a vele járó elfogadható (250 Hz-en $\pm 0,2\%$, 100 Hz-en $\pm 0,5\%$) relatív pontosság, ha két szomszédos félhang távolsága már ki-

sebb, mint 15 Hz, és az ezt terhelő hiba ± 1 Hz is lehet. Ezért a lejátszható hangok alsó határa az egyvonalas C' (kb. 261,6 Hz) lesz. Ebbe a „Nyisd ki babám” mélyebb hangfekvésű változata is belefér.

Úgy kell tehát órafrekvenciát választanunk, hogy a felbontás jobb legyen 0,5 Hz-nél, vagyis a növekmény számértéke nagyobb lehessen, mint a választott frekvencia kétszerese. Mivel az összeadandó annál kisebb, minél sűrűbben történik az összeadás, a mikrovezérlő által kínált választékból annyira kell csökkenteni az órafrekvenciát, hogy ez a feltétel teljesüljön. 1 MHz megfelel, ld. **4. táblázat**. Ez az 1 MHz lesz a mikrovezérlő alap-órajele is, amiből 250 kHz-es utasításfrekvencia (4 us-os utasításidő) adódik. Ez a várható feladatok ellátására bőven elegendő sebesség, és az időtartam 1 ms-os alapegysége is könnyen leosztható belőle.

Az egyes hangokhoz tartozó összeadandókat (növekményeket) ezután a

$$\text{növekmény} = 2 \cdot f \cdot 2^{20} / 1000000$$

képletből számítjuk ki, ahol az 1000000 az immár rögzített 1 MHz-es órafrekvencia. A zenei hangok frekvenciáját, ha nincs kéznél kész táblázat, a normál a' hangból kiindulva az egyenesen temperált skála szabálya szerint, tizenkettedik gyök kettővel (ez kb. 1,059463) való sorozatos szorzás ill. osztás útján nyerjük. (Excelben ezt egy kicsit bonyolultabban fejezzük ki, de az eredmény ugyanaz.).

Bár ezzel a módszerrel nagyon jól meg tudjuk közelíteni a kívánt frekvenciát, ez csak általában lesz érvényes, a generált frekvencia bizonyos mértékben ingadozni fog. Ennek a magyarázata az összeadás során a maradékok (a túlsordult értékek) halmozódása, aminek hatására a túlsordulás időnként eggyel kevesebb összeadás után következik be, mint a maradék nélküli indulásnál. A jó átlagpontosság éppen ebből a visel-

4. táblázat

Frekvencia, Hz	Hang	incr/2M nyers	incr/2M kerekítve	incr/1M nyers	incr/1M kerekítve
220	a			461,37	461
233,081	b			488,81	489
246,941	h			517,87	518
261,625	c'			548,67	549
277,182	cisz'			581,29	581
293,664	d'			615,86	616
311,126	disz'			652,48	652
329,627	e'	345,639		691,28	691
349,228	f'	366,192		732,38	732
369,994	fisz'	387,967		775,93	776
391,995	g'	411,030		822,07	822
415,304	gisz'	435,478		870,96	871
440	a'	461,363	461	922,75	923
466,163	b'	488,808	489	977,62	978
493,883	h'	517,874	518	1035,75	1036
523,251	c''	548,668	549	1097,34	1097
554,365	cisz''	581,294	554	1162,59	1163
587,329	d''	615,859	616	1231,72	1232
622,253	disz''	652,480	652	1304,96	1305
659,255	e''	691,279	691	1382,56	1383
698,456	f''	732,384	732	1464,77	1465
739,988	fisz''	775,934	776	1551,87	1552
783,990	g''	822,074	822	1644,15	1644
830,609	gisz''	870,957	871	1741,91	1742
880	a''	922,746		1845,49	1845
932,327	b''	977,616		1955,23	1955
987,766	h''	1035,74		2071,50	2072
1046,50	c'''	1097,33		2194,67	2195
incr/1M kerekített értéke az NCO növekmény, 1 MHz-es NCO órajelnél					

kedésből adódik. Ha lassítjuk az órát, akkor egy összeadás időtartama, vagyis a pillanatnyi fázishiba lehetséges értéke növekszik. Tekintsünk egy extrém példát az adott hardverre: az akkumulátor 4 bittel hosszabb a növekmény regiszternél, vagyis a legnagyobb növekmény-nél 16-17 összeadásonként következik be egy túlsordulás, tehát a relatív ingadozás 1/16, azaz 6,25%.

Törhetnénk a fejünket, hogy ekkora ingadozást hogyan átlagoljunk ki. Így aztán kompromisszumot kötünk, amint a frekvenciában lefelé haladva az első alkalmas felbontást elértük. Ez az oka annak is, hogy nem tervezünk 2 oktávnál nagyobb hangterjedelmet. Nem feltétlenül kell ezt a próbálgató módszer alkalmazni: a növekmény helyére 1-et, az

előállítandó frekvencia helyére a kívánt felbontást helyettesítve a képlet átrendezésével az oszcillátorfrekvenciát (az 1000000 helyén) megkaphatjuk, bár ezt még általában a legközelebbi beállítható értékre lefelé kell kerekíteni. Azokon a szerencsés frekvenciákon, melyeken a túlsordulásnál nincs maradék (átvitel), ez a probléma nem jelentkezik. Ez a „szerencse” az órajel megválasztásával befolyásolható, de ezzel a lehetőséggel általában nem élünk. Ennek egyik oka az, hogy 16 bites növekmény mellett összesen 16 „szerencsés” frekvencia van, és bármelyikük fele és kétszerese között nem találunk még egyet, a másik meg az, hogy egy általunk választott ilyenhez az esetek döntő többségében egzotikus órafrekvencia tartozna.