

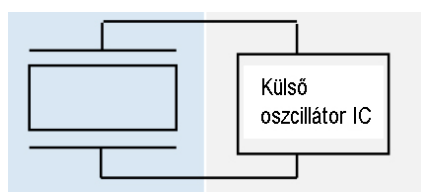
MEMS OSZCILLÁTOROK HASZNÁLATA HAGYOMÁNYOS KRISTÁLYREZONÁTOROK KIVÁLTÁSÁRA

Hasonlóképp, mint az emberi test számára a szív, minden digitális elektronikai eszköznek is létfontosságú az ütemet adó „metronóm”, a megbízható, stabil és hosszú élettartamú időzítő áramkör. A tervezőmérnökök ezt a kritikus feladatot leggyakrabban kvarckristály-rezonátorokkal valósítják meg, ami az olcsóbb ár ellenére sok nehézséget okoz, és kompromisszumot feltételez, amely esetenként hibaforrásként jelentkezik az alkalmazás életciklusa egy későbbi szakaszában. Felmerül a kérdés: vajon nem érdemesebb-e drágább, de robusztusabb kivitelű oszcillátort alkalmazni? Írásunkban körüljárjuk a témát, úgy, hogy az oszcillátortechnológiák közül a MEMS-alapú megoldások további előnyeit is bemutatjuk

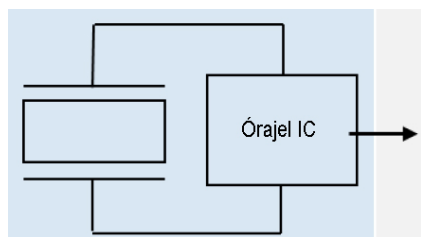


Hagyományos rezonátorok és oszcillátorok

A rezonátor olyan eszköz, ami egy kitüntetett frekvencián, az úgynevezett rezonanciafrekvencián nagyobb amplitúdóval rezeg, mint másutt. Ez a rezgés lehet elektromágneses vagy mechanikai jellegű, kelthet rezgéshullámokat, vagy kiválaszthat speciális frekvenciákat egy adott jeltől. A széleskörűen használt, hagyományos kristályrezonátorok egy piezoelektromos anyagból növesztett kristály (pl. kvarc) mechanikus rezgéseit használják fel egy rendkívül precízen beállított frekvenciájú



1. ábra. A rezonátor passzív eszköz, szükséges a külső órajel-IC: 2 kivezetés



2. ábra. Az oszcillátor tartalmazza az órajel-IC-t is: 4, 6, 10 kivezetés

elektromos jel létrehozásához, ami mikroprocesszorok órajeléhez, illetve rádiófrekvenciás rendszerek jeleinek stabilizálásához szükséges.

A kvarckristályok a kHz-től a MHz-nagyságrendű frekvenciákig készülnek. A rezonátorok (kvarckristály) passzív komponensek, az órajel előállításához szükség van egy aktív elektronikára is. A kvarcalapú oszcillátorok egy rezonátort és az oszcillátorelektronikát is tartalmazzák.

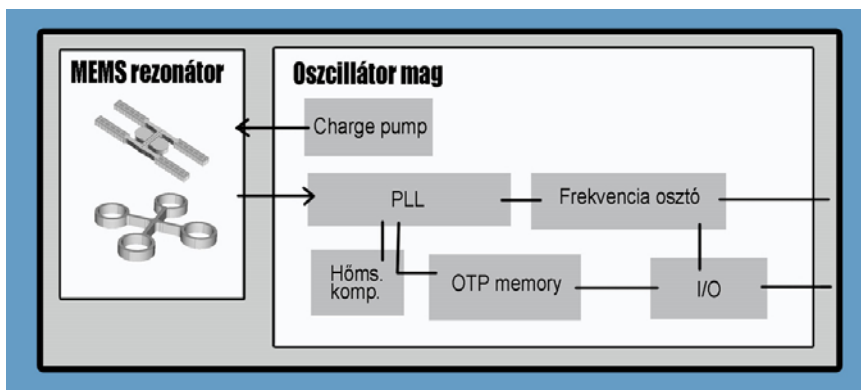
A digitális elektronikához szükséges időzítés nem bonyolult, egy piezoelektromos kvarckristály rezonanciájával vezérelt Pierce-oszcillátor – megfelelő szűrés és frekvenciaosztás alkalmazásával – a legtöbb feladathoz elegendő. Természetesen más piezoelektromos anyagok is léteznek, pl. kerámiaalapú rezonátorokból is készíthető oszcillátor. A hagyományos kvarcoszcillátorok speciális gyártástechnológiát igényelnek: a kristály vágása, szeletelése, csiszolása mind-mind nagy precizitást igénylő feladat, a nagynevű gyártók pedig rendelkeznek a szükséges ismeretekkel és felszereléssel ahhoz, hogy a megfelelő frekvenciákra hangolt eszközöket elkészítsék és azok stabilitását 15-20 évre biztosítsák. Ám gyakran nincs tapasztalatuk az analóg elektronikában, az analóg chipeket a piacon kell vásárolniuk, ami a minőségi megoldás biztosításának érdekében rengeteg többletköltséget jelentő, komplex feladat, ráadásul hosszú szállítási határidőkkel és minőségügyi feladatokkal jár együtt. Másrésztől a

félvezető-alapú óra-IC-gyártóknak nincs tapasztalatuk a kvarckristályok speciális vákuumzárás kerámiatokozásában, ami feltétele a magas Q faktor elérésének. Így kombinált eszközök helyett a külön tokozott rezonátor és analóg elektronika használatával nehéz megfelelni a piac elvárásának a miniatürizálás terén.

MEMS rezonátorok – SiTime

Az elmúlt néhány évtizedben a kvarckristályalapú oszcillátorok, órajel-generátorok és rezonátorok szerepeltek az elsődleges időreferencia-alkatrésznek használható eszközök listáján, mivel nem létezett igazi alternatív megoldás. Napjainkban egy új technológia lép előtérbe, melyben a MEMS struktúra és az analóg elektronika együttesen épül az IC-tokba. A MEMS rezonátor az analóg IC MEMS specifikus áramkörti blokkjához kapcsolódik. Elektrosztatikus gerjesztés útján a MEMS rezonátorban mechanikai rezgés keletkezik, amely érzékelésével és az analóg elektronika segítségével különböző órajelkimenetek építhetők ki az egyszerű félvezető tokozásban.

Az SiTime nevű analóg félvezetőgyártó, melynek a MEMS technológia iránti elkötelezettsége a BOSCH és a Stanford egyetemi gyökerekhez nyúlik vissza, a hagyományos kvarcoszcillátorok kiváltására alkalmas, azoknál fejlettebb, mégis sokszor olcsóbb megoldásokat kínál. Az általuk kínált MEMS/CMOS kombinált



3. ábra. MEMS oszcillátor belső felépítése

chipek több PLL egyidejű alkalmazásával különböző órajel frekvenciát tudnak előállítani egyetlen tokban. Ez a kombinált megoldás szignifikáns előnyökkel bír a méretcsökkentés és az egyszerűsítés lehetőségét biztosítva. Az SiTime eszközei előre programozhatóak és a hagyományos kvarcoszcillátorokat helyettesítik anélkül, hogy az áramkört át kellene tervezni. A programozhatóság flexibilis terméktervezést tesz lehetővé, csökken általa a szállítási határidő és mindeközben jelentős, akár 85%-os méretcsökkenés is elérhető. A gyári programozhatóságon túl a gyors prototípusgyártáshoz a vásárló saját programozóeszközt is rendelhet.

Mint említettük, az SiTime a MEMS struktúrát és az analóg elektronikát egyetlen chipben egyesítette, így nem szükséges külön tokozni a rezonátort és az elektronikát.

Mint az ábrán látható, az eszköz a MEMS rezonátoron kívül hőmérséklet-kompenzáló, frekvenciaosztó, I/O driver és egyszer programozható memória-áramkört tartalmaz. Az SiTime képes 500 fs jitter elérésére kilohertzes eszközeinél, 0,1 ppm stabilitás és nagyon alacsony (700 nA) fogyasztás mellett. A programozhatóság a 6 decimális pontosságú frekvencia mellett kiterjed még a fel- és lefutási időkre is, ami az EMI és a jitter minimalizálásához szükséges.

A MEMS oszcillátorok előnyei a kvarckristályokkal szemben

1. Az áramkörillesztés egyszerűsödik (Plug 'n' play)

A passzív rezonátorkomponens és az aktív oszcillátor-IC illesztése nem könnyű feladat, utóbbi elegendő erősítéssel és fázistolással kell, hogy rendelkezzen az oszcilláció fenntartásához (Barkhausen-kritérium). Különösen fontos a kristály ESR (soros

impedancia)-értéke, mert az IC erősítésének ezt le kell győznie ahhoz, hogy az oszcillátor egyáltalán elindulhasson. Ennek a problémának a megoldása MEMS oszcillátor alkalmazásakor nem a fejlesztők mérnök feladata.

Hasonlóan az előzőkhöz, a párhuzamos gerjesztésre kalibrált passzív kristályrezonátornak szüksége van egy bizonyos nagyságú terhelési kapacitásra, amit általában külső komponens hozzáadásával biztosít a tervező. Ám számolni kell az oszcillátor-IC-be integrált esetleges chipkondenzátorral, a NYÁK-hozzávetések parazita kapacitásával is, mert ha az eredő terhelési kapacitásérték a specifikáción kívül esik, a rezonanciafrekvencia eltolódik. MEMS oszcillátor alkalmazásakor nincs szükség külső kondenzátorra a rezonanciafrekvencia hangolásához.

A harmadik tényező, amire diszkrét passzív kristályrezonátor alkalmazásakor figyelemmel kell lenni, az, hogy az oszcillátor-IC nehegy túlterhelje azt, mert az az öregedés felgyorsulásához, extrém esetben annak tönkretételéhez vezet. Természetesen a MEMS oszcillátor alkalmazásakor ez a veszély nem fenyeget.

Dizájnkihívás	Kristály-rezonátor	MEMS oszcillátor
Kristály-ESR	Figyelembe kell venni!	✓
Párhuzamos rezonancia esetén hangolókapacitások	Figyelembe kell venni!	✓
Oscillátor-IC beépített chip kondenzátor van/nincs	Figyelembe kell venni!	✓
Kristályvezérlési szint	Figyelembe kell venni!	✓
Oscillátor-IC-erősítés (negatív ellenállás)	Figyelembe kell venni!	✓
Garantált-e az oszcilláció beindulása?	Nem	✓



Izolált AC/DC tápegység modul

Kompakt, kedvező árú és sokoldalú megoldást kínál az új Mornsun LDE/LHE AC/DC konverter sorozat.

- 85 VAC - 264 VAC bemeneti feszülsetg-tartomány
- 2,3 W - 25 W teljesítmény
- 4000 VAC szigetelési feszültség
- -40 °C - +70 °C ...+85 °C működési hőmérséklettartomány
- MTBF>300.000 óra, kimeneti rövidzár-, túlfeszültség- és túláramvédelem



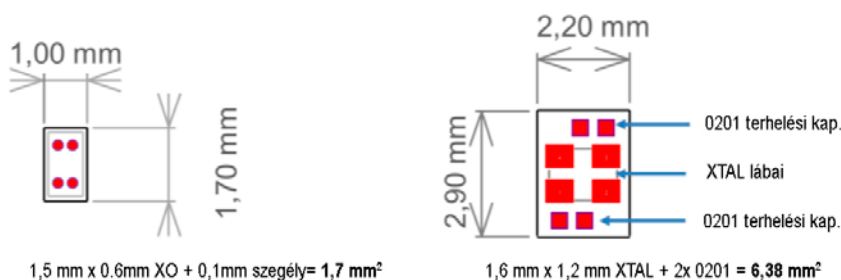
A fenti tervezési kritériumok figyelembevétele nehéz és felelősségteljes feladat, a kristályrezonátor-gyártó nem tud felelősséget vállalni a helytelen illesztésből fakadó esetleges problémákért, így az oszcilláció beindulását sem garantálja. Ezzel gyökeres ellentétben az oszcillátorok komplett integrált volta garanciát jelent a fenti problémák kiküszöbölésére, a plug and play megoldással a tervezési folyamat egyszerűsödik. A gyártó elvégzi helyettünk a rezonátor és az oszcillátor-áramkör illesztését és garantálja a probléma mentes indulást.

2. Minőség és megbízhatóság

A digitális rendszerek megbízhatósági és minőségi kérdései elsődrendű fontosságúak, elsősorban a kültéri alkalmazások esetén, ahol a komponensek folyamatosan negatív környezeti hatásoknak vannak kitéve. A kvarcrezonátorok kiforrott gyártástechnológiája mellett is – elsősorban a még tokozatlan kristály felhangolásakor – nagy esély van szennyeződésre. Ennek hatása az egyéb komplex gyártástechnológiai folyamatok által gerjesztett egyéb problémák miatt mindössze 18–34 Móra MTBF (mean time between failures) elérését teszi lehetővé. Még a legnevesebb gyártók termékei esetén is csupán 50 meghibásodás esik minden egymillió komponensre (DPPM – defective parts per million). A bonyolult kvarckristálygyártási technológiákkal szemben a MEMS oszcillátorok gyártástechnológiája a kiforrott CMOS félvezető wafer-alapú technológia. A MEMS chip egy tisztaszilícium-mechanikai struktúra, melynek tisztítása utáni vákuumos hermetikus lezárása biztosítja a szennyezetlenséget, így kizárja az öregedést gyorsító tényezőket. Ennek eredménye a harmincszor nagyobb MTBF (1150) és a max. 1,5 meghibásodás egymillió alkatrészenként.

3. Alacsonyabb helyfoglalás a NYÁK-lemezen – kislekveciós MEMS oszcillátorok harmadakkora helyen

A MEMS oszcillátorok teljesen integrált megoldást jelentenek, nem igényelnek külső komponenseket, mint például a tápegység-leválasztó kondenzátorok stb. Az SiTime 1508 méretű oszcillátora kisebb, mint egy 1,6x1,2 mm méretű kristály, melyhez még jön két 0201 méretű terhelőkondenzátor



4. ábra. Kislekveciós, 1508 méretű MEMS oszcillátor esetén a hagyományos kristály alapú megoldással szemben a helyfoglalás 6,38 mm²-ről 1,7 mm²-re csökkenthető

is. Az ábrán jól látható, hogy SiTime MEMS esetén az 1,7 mm² helyfoglalás mindössze 27%-a a kristályalapú passzív megoldásnak, azaz 73% helymegtakarítást értünk el.

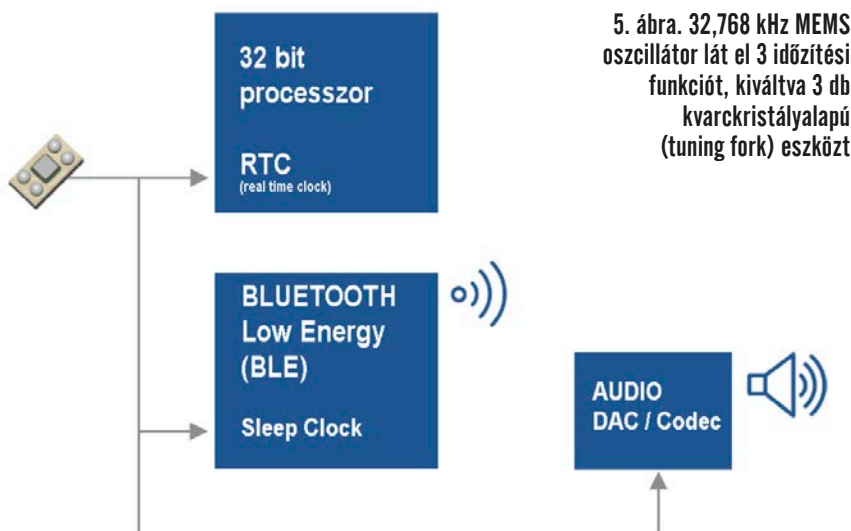
4. A MEMS oszcillátor több terhelést is képes egyidejűleg kiszolgálni, és költségcsökkentést biztosít

Az aktív oszcillátor kimeneti vezérlője képes egyszerre 2-3 terhelés egyidejű kiszolgálására, ami lehetővé teszi, hogy több kristályt, a hozzájuk tartozó terhelőkondenzátorokkal egyetemben leválsunk egy MEMS megoldással. Az ábrán látható módon a mikroprocesszor 32,768 kHz RTC órajelét, valamint az audioegység RTC-jét és a Bluetooth-modul alvóállapotú óraját is egyetlen 32,768 kHz-s eszközzel váltottuk ki. Ez a megoldás jelentős BOM-költségmegtakarítást kínál a szükséges NYÁK-terület minimalizálása mellett, ráadásul energiatakarékos megoldást is nyújt.

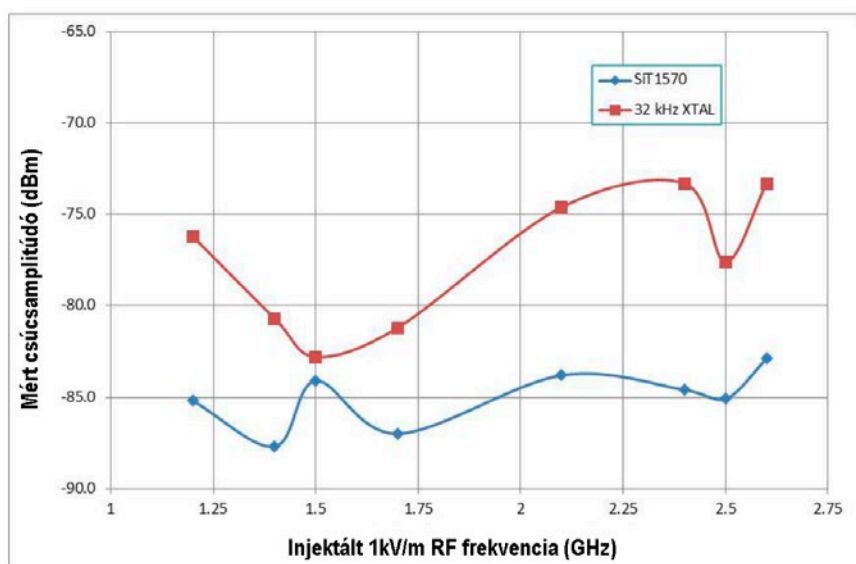
5. A MEMS oszcillátor kevésbé érzékeny az elektromágneses interferenciára (EMI)

A nyomtatott áramkör kristályrezonátorából az oszcillátor-IC felé vezető vonalai a jelen lévő elektromágneses zavarokat antennaként viselkedve összegyűjtik és legrosszabb esetben ez a zaj átcsatolódik az IC kimenetére is, amely az órajelben jitter megjelenését idézi elő. Az integrált oszcillátor alkalmazása esetében az antennaként funkcionáló NYÁK-vonalak nem léteznek, a MEMS chip és a CMOS elektronika összekapcsolására alkalmazott kötések vagy golyók extrém kisméretűek. Mérések alapján a MEMS oszcillátorok 11,3 dBm-mel kevésbé érzékenyek az EMI-ra, mint a kristályrezonátorok.

Mi lehet az oka ennek a jó tulajdonságnak? Egyesek szerint a megoldás a kristályoszcillátorok fémtokozása a műanyag tokozás helyett, ami elvileg kivevdi az elektromágneses interferenciát. Mégis miért kevésbé érzékeny az EMI-ra a műanyag tokozású MEMS? A vá-



5. ábra. 32,768 kHz MEMS oszcillátor lát el 3 időzítési funkciót, kiváltva 3 db kvarckristályalapú (tuning fork) eszközt



6. ábra. A MEMS oszcillátor sokkal kevésbé érzékeny az elektromágneses interferenciára, mint a kristályrezonátor

lasz vagy a rezonátormegoldásban vagy az analóg oszcillátor-áramkörben keresendő. A piezoelektromos tulajdonságú kvarckristály elektromos töltés hatására rezeg, így az EMI hatására keletkező zavaró elektronikus jel képes a rezgés frekvenciájának megváltoztatására is. A szilícium MEMS rezonátor ellenben elektrosztatikus gerjesztés hatására rezeg, így természeténél fogva is kevésbé érzékeny az EMI-ra.

Az SiTime MEMS oszcillátor analóg áramköre már természeténél fogva is optimális viselkedést mutat elektronikusan zajos környezetben, részegységei differenciális áramkörök, melyek a csatolt közös módú zaj elnyomására képesek. Ezzel szemben a kvarckristályalapú rezonátorok és oszcillátorok csak a fémtokozást hívják segítségül.

(Megjegyzendő az is, hogy a MEMS oszcillátorok nemcsak kevésbé érzékenyek az EMI-ra, de az ilyen alapon működő időzítés maga is kisebb elektromágneses interferenciaforrás, mint a hagyományos, kristályalapú megoldások.) Az SiTime MEMS oszcillátorokat ellátták néhány olyan beépített megoldással, ami az óra által gerjesztett elektromágneses zavar energiáját csökkenti. Az egyik ilyen a SoftEdge™ órajel lefutó- és lefutóél-vezérlés. A lassabb fel- és lefutás csökkenti a digitális órajelben megjelenő felharmonikusokat, az ezen harmonikusok által gerjesztett elektromágneses energia így minimális lesz. Az SiTime Spread Spectrum Clocking (SSC) oszcillátorai nemcsak az órajelvonal EMI-radiációját csökkentik, hanem

a teljes hálózatét is, ami erről az oszcillátorról kapja az órajelet.

6. A MEMS oszcillátor kevésbé érzékeny a mechanikai vibrációra

A digitális elektronikai eszközök gyakorta vannak kitéve a környezeti hatásoknak, főleg kültéri alkalmazások esetén. Az egyik legfontosabb ilyen hatás a rezgés, vibráció, ami például jármű-elektronika esetén kiemelkedően nagy jelentőséggel bír. Ilyen mechanikai eredetű zavarok azonban nemcsak magától a rendszertől keletkezhetnek, hanem külső forrásokból is, mint például nehéz járművek közelben való elhaladása, szél, hűtőventilátorok és egyéb forgó villamos gépek által keltett vibráció is hat a digitális áramkörre. Mivel a rezonátor maga is mechanikai rendszer, a külső mechanikai eredetű zavarok a komponens tömege és a vibráció gyorsulása által meghatározott erőt ébresztenek, ami befolyásolja a rezonanciafrekvenciát, frekvenciatolást és zajt eredményeznek a rezonátor kimenetén. Egyes, nagyon stabil frekvenciát igénylő rendszerek (bázisállomások stb.) extrém esetben le is állhatnak emiatt.

Mivel a MEMS-rendszer tömege töredéke, általában három nagyságrenddel kisebb, mint a kristályé, az ezekben ébredő erők is nagyságrendekkel kisebbek, mint a kristályalapú megfelelőiknél, így az indukált frekvenciatolás is elhanyagolható marad. Mérések alapján az SiTime MEMS oszcillátorok vibrációállósága tízszerese egy kristályoszcillátorénak.

7. A MEMS oszcillátor bármilyen frekvenciára elérhető

A kvarcrezonátor gyártástechnológiája korábban részletezett okok miatt hosszú gyártási és szállítási időt igényel. Az egyik legfőbb oka ennek a világviszonylatban kisszámú kerámiafokozást gyártó beszállító, másik pedig abban keresendő, hogy minden frekvenciához egyedi vágás szükséges, így elsősorban a nem szokványos frekvenciaértékek esetén extrém szállítási idővel számolhatunk.

A MEMS-komponensek esetében a kimeneti frekvenciát minden esetben a programozható szorzótényezővel állítható PLL-ek állítják elő, ami széles frekvenciatartományon, akár hatdígitos pontosságú, egyedi frekvenciabeállítás teszt lehetővé. Mivel a szilícium MEMS oszcillátorok hagyományos félvezetőgyártási technológiával készülnek és számtalan forrás áll rendelkezésre wafergyártásra, a MEMS-gyártó kapacitás gyakorlatilag végtelen. A MEMS oszcillátorminta bármely frekvenciára programozva egy nap alatt készen van (USB interfésszel ellátott asztali programozó is létezik hozzá – Time Machine 2), tömeggyártás esetén pedig előre programozottan is mindössze néhány hét alatt hozzáférhetőek az eszközök.

8. Az egész gyártmány családra csak egyetlen kvalifikáció szükséges

A komponens kvalifikáció – elsősorban az autópárházban – nagy erőforrásigényű és időt rabló, kockázatos feladat. MEMS oszcillátorok használatával ez azonban optimalizálható. Csupán egyetlen eszköz betervezése és jóváhagyása szükséges ebben az esetben még akkor is, ha eltérő frekvenciájú, tápfeszültségű vagy pontosságú időzítésre van szükség egy későbbi NYÁK-változat esetén, hiszen ezek a paraméterek mind programozással beállíthatók. Ilyen esetben általában elegendő az eredeti kvalifikációs dokumentáció új körülményekre szóló kiterjesztése.

Más a helyzet kristályoszcillátorok és -rezonátorok esetén, ahol más és más frekvenciák létrehozására más és más eszközökre van szükség. 60 MHz felett már nincs lehetőség fundamentális módú kristályok alkalmazására – itt már harmadik harmonikus kvarctechnológia szükséges. Az ilyen kristályrezonátor más ESR-értékű, emiatt más – nagyobb erősítésű – oszcillátor-IC szükséges a biztos induláshoz, ami további komponens-jóváhagyást jelent.

Technológia	Maximális lefedett frekvencia	Kihívás
MEMS oszcillátor	1 MHz–137 MHz	<ul style="list-style-type: none"> PLL generálta frekvencia: egyszer szükséges jóváhagyni, egyetlen alkatrész
Fundamentális kristályrezonátor	1 MHz–60 MHz	<ul style="list-style-type: none"> Minden egyes frekvenciaértékhez más és más kristály tartozik, minden frekvenciára külön komponens, külön jóváhagyás szükséges
Harmadik harmonikus kvarc	60 MHz–137 MHz	<ul style="list-style-type: none"> Minden egyes frekvenciaértékhez más és más kristály tartozik, minden frekvenciára külön komponens külön jóváhagyás szükséges; Más technológia, mint az esetleg már jóváhagyott fundamentális kvarc A nagyobb ESR miatt nagyobb erősítésű oszcillátor-IC szükséges: plusz egy komponenskvalifikáció szükséges

A MEMS oszcillátorok energiatakarékossági jellemzői

A digitális áramkörök lelke a mikrokontroller, ami elemes táplálás esetére szinte mindig többszintű energiatakarékossági módokba kapcsolható. Ám még a legalacsonyabb fogyasztású alvómódban is szükség van legalább a valós idejű óra (RTC) működtetésére, amit általában egy 32,768 kHz-es kristályrezonátor/oszcillátor időzít. Egy ilyen oszcillátor fogyasztása kb. 1-2 μ A áramerősség és 3,0 V feszültség mellett 2-3 μ W. Egy IoT eszköz lítiumeleméről általánosságban elmondható, hogy a hosszú ideig tartó alvási idő alatt ez a terhelés jobban meríti, mint a rövid ideig tartó tényleges üzem, így az elem élettartama szempontjából kritikus a 32 kHz-es oszcillátor fogyasztása. Az SiT15xx-család a szilícium MEMS oszcillátorok új generációját képviseli, mely elsősorban a hagyományos on-chip oszcillátorok, külső kvarcoszcillátorok és kvarckristályok energiahatékony kiváltására készült. A MEMS oszcillátorok tipikusan 750 nA árammal táplálhatóak. Az új család további energiatakarékossági jellemzői az 1,2 V-ig való működés, az 1 Hz-ig programozható frekvencia és a programozható kimeneti swing.

a) Programozható frekvencia

Az alacsonyabb frekvencia jelentősen csökkenti a kimeneti terhelőáramot, példaként a 32,768 kHz működési frekvencia 10 kHz-re csökkentése 30%-os áramcsökkentést okoz, míg az 1 Hz-es üzem 99%-os megtakarítással jár. Az SiT15xx MEMS oszcillátorok 1 Hz-től 32 kHz-ig programozhatóak, így jelentős energiamegtakarítás érhető el velük.

Példa 10 pF terhelési kapacitás feltételezésével:

- $V_{dd} = 3,0$ V (átlag)
- $V_{outpp} = 2,1$ V
- I_{dd} Core = 750 nA
- I_{dd} Output Driver: $(165 \text{ nA/V})(2,1 \text{ V}) = 347 \text{ nA}$
- Terhelőáram: $(10 \text{ pF})(2,1 \text{ V})(32,768 \text{ kHz}) = 688 \text{ nA}$

Teljes áramfelvétel = 750 nA + 347 nA + 688 nA = 1785 nA

Ha a frekvenciát 10 kHz-re csökkentjük, akkor a következőképpen alakul az áramfelvétel:

- Terhelőáram: $(10 \text{ pF})(2,1 \text{ V})(10 \text{ kHz}) = 210 \text{ nA}$

Teljes áramfelvétel = 750 nA + 347 nA + 210 nA = 1307 nA

b) Programozható kimeneti feszültség (swing)

Új energiamegtakarítási mód érhető el az új generációs szilícium MEMS-alapú oszcillátorok esetében – a NanoDrive™ technológia, mely a kimeneti feszültség programozhatóságát teszi lehetővé. A kimeneti szint teljes értékről 200 mV-ig csökkenthető, így megtakarítva akár az energia 40%-át.

Példa 10 pF terhelési kapacitás feltételezésével:

- $V_{dd} = 3,0$ V (átlag)
- $V_{outpp} = 2,1$ V
- I_{dd} Core = 750 nA
- I_{dd} Output Driver: $(165 \text{ nA/V})(2,1 \text{ V}) = 347 \text{ nA}$
- Terhelőáram: $(10 \text{ pF})(2,1 \text{ V})(32,768 \text{ kHz}) = 688 \text{ nA}$

Teljes áramfelvétel = 750 nA + 347 nA + 688 nA = 1785 nA használat

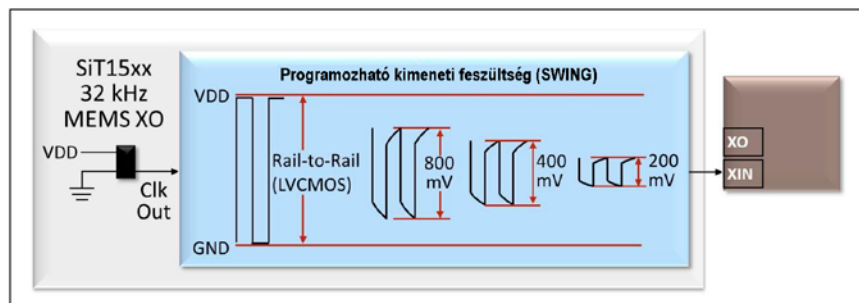
Ha a frekvenciát 10 kHz-re, a kimeneti szintet pedig 500 mV-ra csökkentjük, akkor az áramfelvétel a következőképpen alakul:

- $V_{outpp} = V_{OH} - V_{OL} = 0,5 \text{ V}$ ($V_{OH} = 1,1 \text{ V}$, $V_{OL} = 0,6 \text{ V}$)
- Terhelőáram: $(10 \text{ pF})(0,5 \text{ V})(10 \text{ kHz}) = 50 \text{ nA}$
- I_{dd} Output Driver: $(50 \text{ nA/V})(0,5 \text{ V}) = 25 \text{ nA}$

Teljes áramfelvétel = 750 nA + 50 nA + 25 nA = 825 nA

Összefoglalás

A szilíciumalapú MEMS oszcillátorok használata sok esetben indokolt kvarckristályalapú rezonátorok vagy akár oszcillátorok helyettesítésére is: nyolc területet érintve mutattuk be annak előnyeit. A MEMS technológia elemes táplálású készülékek esetében, ahol az RTC áramkör még alvó állapotban is bekapcsolt helyzetben jelentős további előnyökkel bír. Az SiTime új generációs SiT15xx oszcillátorcsaládját érdemes választani az elem élettartamának növelése szempontjából.



7. ábra. Az SiT15xx MEMS oszcillátorcsalád NanoDrive™ kimenetiszint-programozása 200 mV-ig, energiamegtakarítási céllal

KISS ZOLTÁN,
OKL. VILLAMOSMÉRŐK, EXPORTIGAZGATÓ

ENDRICH BAUELEMENTE VERTRIEBS GMBH | WWW.ENDRICH.HU

