



## **MEMS oszcillátorok használata hagyományos kristály rezonátorok kiváltására**

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

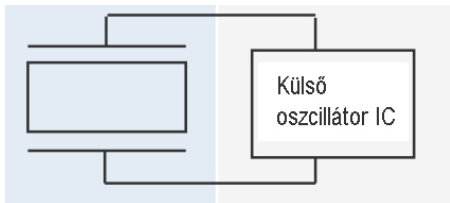
### **Hagyományos rezonátorok és oszcillátorok**

A rezonátor olyan eszköz, ami egy kitűntetett frekvencián, az úgynevezett rezonancia frekvencián nagyobb amplitúdóval rezeg, mint másutt. Ez a rezgés lehet elektromágneses, vagy mechanikai jellegű, kelthet rezgéshullámokat, vagy kiválaszthat speciális frekvenciákat egy adott jelből.

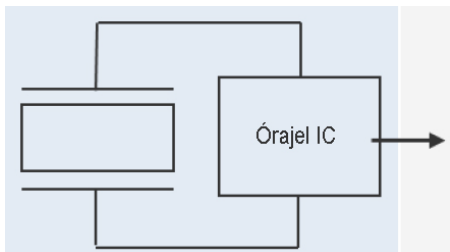
A széleskörűen használt hagyományos kristály-rezonátorok egy piezoelektromos anyagból növesztett kristály (pl. kvarc) mechanikus rezgéseit használják fel egy rendkívül precízen beállított frekvenciájú elektromos jel létrehozásához, ami mikro-processzorok órajeléhez, illetve rádiófrekvenciás rendszerek jeleinek stabilizálásához szükséges.

A kvarckristályok a kilohertzestől a megahertzes nagyságrendű frekvenciáig készülnek. A rezonátorok (kvarc kristály) passzív komponensek, az órajel előállításához szükség van egy aktív elektronikára is.

A kvarc alapú oszcillátorok egy rezonátort és az oszcillátor elektronikát is tartalmazzák.



1| A rezonátor passzív eszköz, szükséges a külső órajel IC, 2 kivezetés



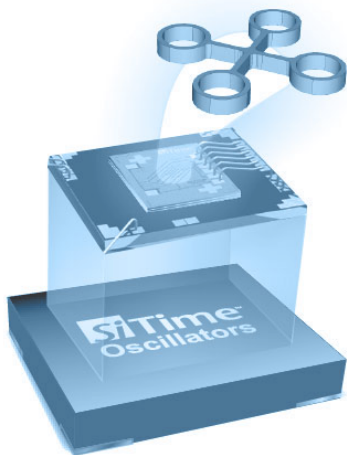
2| Az oszcillátor tartalmazza az órajel IC-t is, 4,6,10 kivezetés

A digitális elektronikához szükséges időzítés nem bonyolult, egy piezoelektromos kvarckristály rezonanciájával vezérelt Pierce oszcillátor - megfelelő szűrés és frekvenciaosztás alkalmazásával – elegendő a legtöbb feladathoz. Természetesen más piezoelektromos anyagok is léteznek, például kerámia alapú rezonátorokból is készíthető oszcillátor. A hagyományos kvarc oszcillátorok speciális gyártástechnológiát igényelnek, a kristály vágása, szeletelése, csiszolása 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. Azonban gyakran nincs tapasztalatuk az analóg elektronikában, az analóg chipeket a piacon kell vásárolniuk, ami a minőségi megoldás biztosításának érdekében rengeteg többletköltséget jelent, komplex feladat, ami hosszú szállítási határidőkkel és minőségügyi feladatokkal jár együtt. Másrésztől a félvezető alapú óra IC gyártóknak nincs tapasztalatuk a kvarckristályok speciális vákuumzáras kerámia tokozásában, 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

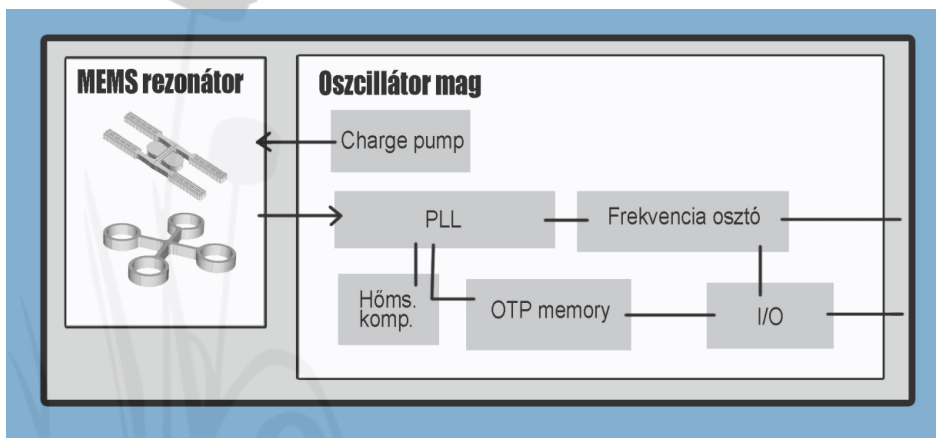
Az elmúlt néhány évtizedben a kvarckristály alapú oszcillátorok, órajel generátorok és rezonátorok szerepeltek az elsődleges időreferencia alkatrészeknek használható eszközök listáján, mivel nem létezett igazi alternatív megoldás. Napjainkban egy új technológia lép előtérbe, melyben MEMS struktúra és az analóg elektronika együttesen épül az IC tokba. A MEMS rezonátor az analóg IC MEMS specifikus áramköri blokkjához kapcsolódik. Elektrosztatikus gerjesztés útján a MEMS rezonátorban mechanikai rezgés keletkezik, amely érzékelésével és az analóg elektronika segítségével különböző órajel kimenetek 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 kvarc oszcillátorok kiváltására alkalmas, azoknál fejlettebb, mégis sokszor olcsóbb megoldásokat kínál. Az általuk kínált MEMS / CMOS

kombinált chippek 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 kvarc oszcillátorokat 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 vásárló saját programozó eszközt is rendelhet a gyors prototípus gyártáshoz.

Ahogy azt említettük, az SiTime a MEMS struktúrát és az analóg elektronikát egy chipben egyesítette, így nincs szükség külön tokozni a rezonátort és az elektronikát.



3| MEMS oszcillátor belső felépítése

Ahogy 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 (700nA) 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 egyszer sődik (Plug 'n' play)

A passzív rezonátor komponens 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 elinduljon. Ennek a problémának a megoldása MEMS oszcillátor alkalmazásakor nem a fejlesztőmérnök 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.

Azonban számolni kell az oszcillátor IC-be integrált esetleges chip kondenzátorral, a NYÁK hozzávezetések parazita kapacitásával is, mert ha az eredő terhelési kapacitás érték a specifikáción kívül esik, a rezonancia frekvencia eltolódik. MEMS oszcillátor alkalmazásakor nincs szükség külső kondenzátorra a rezonancia frekvencia hangolásához.

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

Dizájn kihívás	Kristály rezonátor	MEMS oszcillátor
Kristály ESR	Figyelembe kell venni	✓
Párhuzamos rezonancia esetén hangoló kapacitások	Figyelembe kell venni	✓
Oszcillátor IC beépített chip kondenzátor van/nincs	Figyelembe kell venni	✓
Kristály vezérlési szint	Figyelembe kell venni	✓
Oszcillátor IC erősítés (negatív ellenállás)	Figyelembe kell venni	✓
Garantált-e az oszcilláció beindulása?	Nem	✓

A fenti tervezési kritériumok figyelembevétele nehéz és felelősségteljes feladat, a kristályrezonátor gyártó nem tud felelősséget vállalni a helytelen illesztésből fakadó esetleges problémákra 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 problémamentes indulást.

## 2. Min ség és megbízhatóság

A digitális rendszerek megbízhatósági és minőségi kérdései elsőrendű fontossággal bírnak, elsősorban a kültéri alkalmazások esetén , ahol a komponensek folyamatosan negatív környezeti hatásoknak vannak kitéve. A kvarc rezonátorok kiforrott gyártástechnológiája mellett is, - elsősorban a még tokozatlan kristály felhangolásakor -, nagy esély van szennyeződésre.

Ennek a 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 50 meghibásodás esik minden egymillió komponensre (DPPM - defective parts per million).

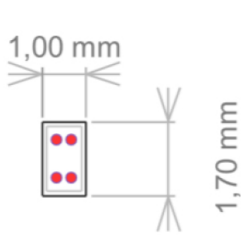
A bonyolult kvarc kristály gyártási technológiákkal szemben a MEMS oszcillátorok gyártástechnológiája a kiforrott CMOS félvezető wafer alapú technológia.

A MEMS chip egy tiszta szilícium mechanikai struktúra, melynek tisztítása utáni vákuumos hermetikus lezárása biztosítja a szennyezetlenséget, így kizárja az öregedést gyorsító tényezőket.

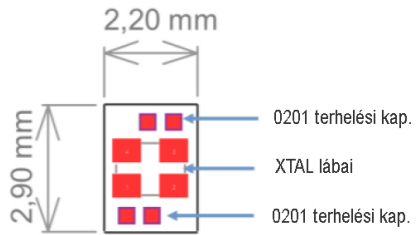
Ennek eredménye a harmincszor nagyobb MTBF (1150) és a max. 1.5 meghibásodás egymillió alkatrészenként.

## 3. Alacsonyabb helyfoglalás a NYÁK lemezen – kis frekvenciás MEMS oszcillátorok harmad akkora helyen

A MEMS oszcillátorok teljesen integrált megoldást jelentenek, nem igényelnek külső komponenseket, mint például tápegység leválasztó kondenzátorok stb. A SiTime 1508 méretű oszcillátora kisebb, mint egy 1.6x1,2 mm méretű kristály, melyhez még jön két 0201 méretű terhelő kondenzátor is. Az ábrán jól látható, hogy SiTime MEMS esetén az 1,7 mm<sup>2</sup> helyfoglalás mindössze 27%-a kristály alapú passzív megoldásnak, azaz 73% helymegtakarítást értünk el.



1,5 mm x 0,6mm XO + 0,1mm szegély= **1,7 mm<sup>2</sup>**



1,6 mm x 1,2 mm XTAL + 2x 0201 = **6,38 mm<sup>2</sup>**

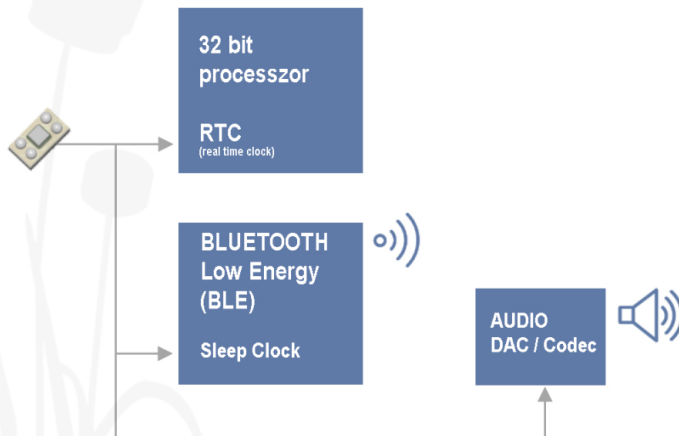
4| Kisfrekvenciás 1508 méretű MEMS oszcillátor esetén a helyfoglalás 6,38 mm<sup>2</sup>-ről 1,7 mm<sup>2</sup>-re csökkenthető a hagyományos kristály alapú megoldással szemben

4. A MEMS oszcillátor több terhelést is képes egyidejűleg kiszolgálni, költségcsökkentés érhető el vele

Az aktív oszcillátor kimeneti vezérlője képes egyszerre 2-3 terhelés egyidejű kiszolgálására, ami lehetővé teszi, hogy több kristályt, a hozzájuk tartozó terhelő kondenzátorokkal egyetemben leváltunk egy MEMS megoldással. Az

ábrán látható módon a mikroprocesszor 32,768 kHz RTC órajelét, valamint az audio egység RTC-jét és a Bluetooth modul alvó állapotú óráját is egyetlen 32,768 kHz-s eszközzel váltottuk ki.

Ez a megoldás jelentős BOM költség megtakarítást kínál a szükséges NYÁK terület minimalizálása mellett és ráadásul energiatakarékos megoldást is nyújt.



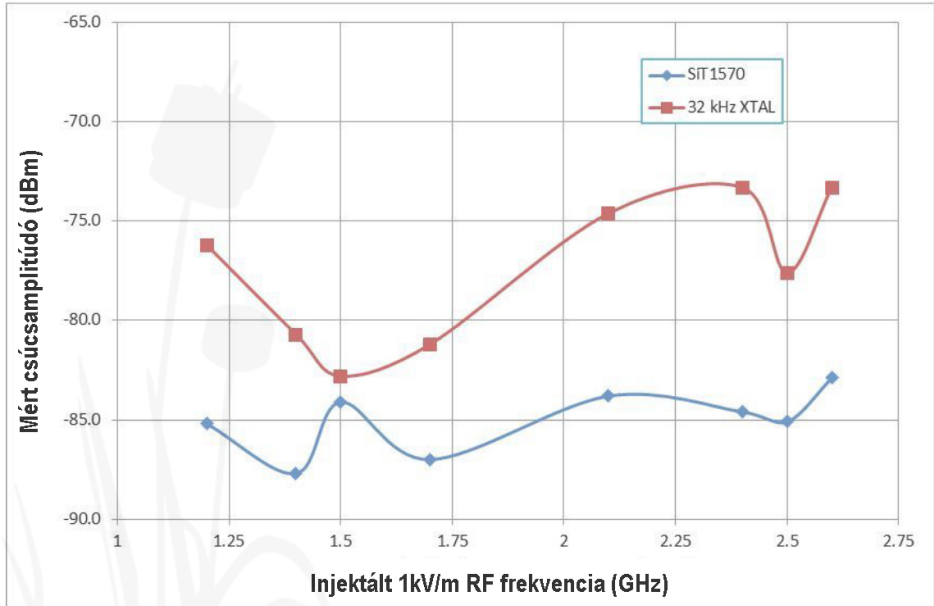
5| 32,768 kHz MEMS oszcillátor lát el 3 időzítési funkciót, kiváltva 3 db kvarc kristály alapú (tuning fork) eszközt

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

A nyomtatott áramkör kristályrezonátorából az oszcillátor IC felé vezető vonalai a jelenlévő elektromágneses zavarokat antennaként viselkedve összegyűjtik és legrosszabb esetben ez a zaj átcsatolódik az IC kimenetére is, amely az órajelben jitter megjelenését idézi elő. Az intergált 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-el kevésbé érzékenyek az EMI-ra, mint a kristályrezonátorok.

Mi lehet az oka ennek a jó tulajdonságnak? Egyesek szerint a megoldás a kristály oszcillátorok fém tokozása a műanyag tokozás helyett, ami elvileg kivédi az elektromágneses interferenciát. Hogy lehet, hogy a műanyag tokozású MEMS mégis kevésbé érzékeny az EMI-ra? A válasz vagy a rezonátor megoldásban, és az analóg oszcillátor áramkörben keresendő. A piezoelektromos tulajdonságú kvarckristály elektromos töltés hatására rezeg, így az EMI hatására keletkező zavaró elektronikus



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

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.

A 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 kvarckristály alapú 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 interferencia forrás, mint a hagyományos kristály alapú megoldások. A 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 felfutó él vezérlés. A lassabb fel- és lefutás csökkenti a digitális órajelben megjelenő felharmonikusokat, az ezen harmonikusok által gerjesztett elektromágneses energia így minimális lesz. A SiTime Spread Spectrum Clocking (SSC) oszcillátorai nemcsak az

órajel vonal EMI radiációját csökkentik, hanem a teljes hálózatét, 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 járműelektronika esetén kiemelkedően nagy jelentőséggel bír. Ilyen mechanikai eredetű zavarok azonban nemcsak a rendszertől magától keletkezhetnek, hanem külső forrásokból is, mint például nehéz járművek közelben való elhaladása, szél, hűtőventillátorok és egyéb forgó villamos gépek által keltett vibráció is hat a digitális áramkörre. Mivel a rezonátor maga is egy mechanikai rendszer, a külső mechanikai eredetű zavarok a komponens tömege és a vibráció gyorsulása által meghatározott erőt ébresztenek, ami befolyásolja a rezonancia frekvenciát, 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 kristály alapú megfelelőiknél, így az indukált frekvenciatolás is elhanyagolható marad. A SiTime MEMS oszcillátorok vibrációállósága mérések alapján tízszerese egy kristály oszcillátorénak.

### *7. A MEMS oszcillátor bármilyen frekvenciára elérhet*

A kvarc rezonátor gyártástechnológiája korábban részletezett okok miatt hosszú gyártási és szállítási időt eredményez. Az egyik legfőbb oka ennek a világviszonylatban kisszámú kerámia tokozást gyártó beszállító, másik ok pedig abban keresendő, hogy minden frekvenciához egyedi vágás szükséges, ami elsősorban a nem szokványos frekvenciaértékek esetén extrém szállítási idővel számolhatunk.

A MEMS komponensek esetében a kimeneti frekvenciát minden esetben a programozható szorzótényezőkkel állítható PLL-ek állítják elő (Isd. 3. ábra), ami széles frekvenciatartományon, akár hat digitális pontosságú egyedi frekvencia beállítást tesz lehetővé. Mivel a szilícium MEMS oszcillátorok hagyományos félvezető gyártási technológiával készülnek és számtalan forrás áll rendelkezésre wafer gyártásra, a MEMS gyártókapacitás gyakorlatilag végtelen. A MEMS oszcillátor minta bármely frekvenciára programozva egy

nap alatt készen van (USB interfésszel ellátott asztali programozó is létezik hozzá – Time Machine 2), a tömeggyártás esetén pedig előre programozottan is mindössze néhány hét alatt hozzáférhetőek az eszközök.

### *8. Az egész gyártmánycsaládra egyetlen kvalifikáció szükséges csak*

A komponens kvalifikáció – elsősorban az autópárhuzban – nagy erőforrás igényű és időt rabló, kockázatos feladat. MEMS oszcillátorok használatával ez azonban optimalizálható. Egyetlen eszköz betervezése és jóváhagyása szükséges ebben az esetben 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 az új körülményekre szóló kiterjesztése.

Más a helyzet kristály oszcillátorok 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 kvarc technológia szükséges. Az ilyen kristály rezonátor 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"> <li>• PLL generálta frekvencia: egyszer szükséges jóváhagyni, egyetlen alkatrész</li> </ul>
Fundamentális kristályrezonátor	1 MHz – 60 MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minden egyes frekvencia-értékhez más és más kristály tartozik, minden frekvenciára külön komponens, külön jóváhagyás szükséges</li> </ul>
Harmadik harmonikus kvarc	60 MHz – 137 MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minden egyes frekvencia-értékhez más és más kristály tartozik, minden frekvenciára külön komponens, külön jóváhagyás szükséges;</li> <li>• Más technológia, mint az esetleg már jóváhagyott fundamentális kvarc;</li> <li>• A nagyobb ESR miatt nagyobb erősítésű oszcillátor IC szükséges: plusz egy komponens kvalifikáció szükséges</li> </ul>

## A MEMS oszcillátorok energiatakarékossági jellemzői

A digitális áramkörök lelke a mikrokontroller, ami elemes táplálás esetére szinte mindig többszintű energiatakarékossági módokba kapcsolható. Azonban még a legalacsonyabb fogyasztású alvó módban is szükség van legalább a valós idejű óra (RTC) működtetésére, amit általában egy 32,768 kHz-es kristály rezonátor / oszcillátor időzít. Egy ilyen oszcillátor fogyasztása kb. 1-2  $\mu$ A áramerősség és 3.0V feszültség mellett 2-3  $\mu$ W. Egy IoT eszköz lítium eleméről 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. A SiT15xx család a szilícium MEMS oszcillátorok új generációját képviseli, mely elsősorban a hagyományos on-chip oszcillátorok, külső kvarc oszcillátorok és kvarc kristályok energia hatékony kiváltására készült. A MEMS oszcillátorok tipikusan 750 nA árammal táplálhatóak. Az új család további energiatakarékossági jellemzői az 1.2V-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. A

SiT15xx MEMS oszcillátorok 1 Hz-től 32 kHz-ig programozhatóak, így jelentős energia megtakarítás érhető el velük.

Példa 10 pF terhelési kapacitás feltételezésével:

- $V_{dd} = 3.0V$  (átlag)
- $V_{outpp} = 2.1V$
- $I_{dd} \text{ Core} = 750nA$
- $I_{dd} \text{ Output Driver:}$   
 $(165nA/V)(2.1V) = 347nA$
- Terhelőáram:  
 $(10pF)(2.1V)(32.768kHz) = 688nA$

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

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

- Terhelőáram:  $(10pF)$   
 $(2.1V)(10kHz) = 210nA$

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

### b. Programozható kimeneti feszültség (swing):

Egy új energia-megtakarítási 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 értéktől 200 mV-ig csökkenthető így megtakarítva akár az energia 40% -át.

Példa 10 pF terhelési kapacitás feltételezésével:

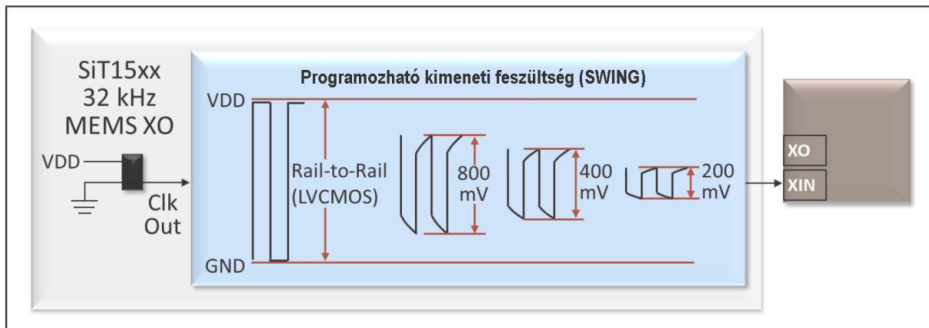
- $V_{dd} = 3.0V$  (átlag)
- $V_{outpp} = 2.1V$
- $I_{dd} \text{ Core} = 750nA$
- $I_{dd} \text{ Output Driver:}$   
 $(165nA/V)(2.1V) = 347nA$
- Terhelőáram:  $(10pF)(2.1V)$   
 $(32.768kHz) = 688nA$

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

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

- $V_{outpp} = V_{OH} - V_{OL} = 0.5V$   
 $(V_{OH} = 1.1V, V_{OL} = 0.6V)$
- Terhelőáram:  
 $(10pF)(0.5V)(10kHz) = 50nA$
- $I_{dd} \text{ Output Driver:}$   $(50nA/V)$   
 $(0.5V) = 25nA$

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



7| A SiT 15xx MEMS oszcillátor család NanoDrive™ kimeneti szint programozása 200 mV-ig, energia megtakarítási céllal

## Összefoglalás

A szilícium alapú MEMS oszcillátorok használata sok esetben indokolt kvarc kristály alapú rezonátorok vagy akár oszcillátorok helyettesítésére is, 8 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. A SiTime új generációs SiT15xx oszcillátorcsaládját érdemes választani az elem élettartamának növelése szempontjából.

