

SiTime MEMS oszcillátorok (2. rész)

MEMS technológia 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 időztető 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 robosztusabb kivitelű oszcillátort alkalmazni? A témáról szóló sorozatunk második részében körüljárjuk ezt a témát, úgy, hogy az oszcillátor technológiák közül a MEMS alapú megoldások további előnyeit is bemutatjuk.



Kiss Zoltán

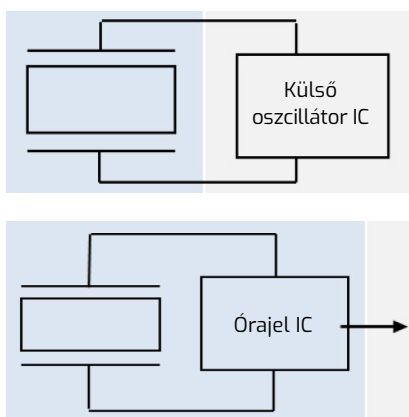
okl. Villamosmérnök
Export Igazgató

Endrich Bauelemente
Vertriebs GmbH

HAGYOMÁNYOS REZONÁTOROK ÉS OSZCILLÁTOROK

A rezonátor olyan eszköz, ami egy kitüntetett 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 mikroprocesszorok 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.



Fent: A rezonátor passzív eszköz, szükséges a külső órajel IC, 2 kivezetés

Lent: Az oszcillátor tartalmazza az órajel IC-t is, 4, 6, 10 kivezetés

A digitális elektronikához szükséges időztetés 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. Másrészt a félvezető alapú óragyártóknak nincs tapasztalatuk a kvarckristályok speciális vákuumzárás 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. Ahogy azt a sorozat előző részében már részletesen tárgyaltuk, az elmúlt néhány évtizedben a kvarckristály alapú oszcillátorok, órajel generátorok és rezonátorok szerepeltek az elsődleges időreferencia alkatrészek 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 OSZCILLÁTOROK ELŐNYEI A KVARCKRISTÁLYOKKAL SZEMBEN

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

A passzív rezonátor komponens és az aktív oszcillátor IC illesztése nem könnyű feladat, utóbbi elegendő erősí-

téssel 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 ne hogy 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	✓
Oscillátor IC beépített chip kondenzátor van/nincs	Figyelembe kell venni	✓
Kristály vezérlési szint	Figyelembe kell venni	✓
Oscillátor 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.

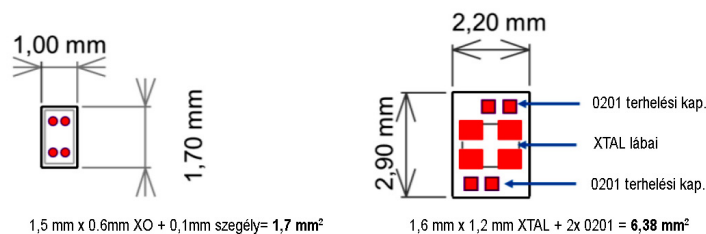
2. Minőség és megbízhatóság

A digitális rendszerek megbízhatósági és minőségi kérdései elsődrendű 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 harmadakkora helyen

A MEMS oszcillátorok teljesen integrált megoldást jelentenek, nem igényelnek külső komponenseket, mint például tápegység leválasztó kondenzátorok stb. A Si-Time 1508 méretű oszcillátora kisebb, mint egy 1,6×1,2 mm méretű kristály, melyhez még jön két 0201 méretű terhelő kondenzátor is. Az ábrán jól látható, hogy Si-Time MEMS esetén az 1,7 mm² helyfoglalás mindössze 27%-a kristály alapú passzív megoldásnak, azaz 73% helymegtakarítást értünk el.

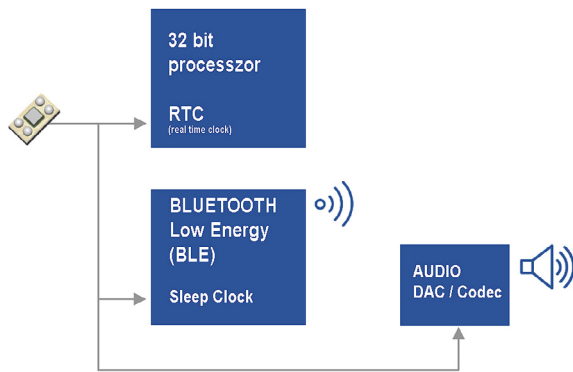


Kisfrekvenciás 1508 méretű MEMS oszcillátor esetén a helyfoglalás 6,38 mm²-ről 1,7 mm²-re csökkenthető a hagyományos kristály alapú megoldással szemben

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 leváltsunk egy MEMS megoldással. Az ábrán látható módon a mikroproceszor 32,768 kHz RTC órajelét, valamint az audio egység RTC-jét és a Bluetooth modul alvó állapotú óraját is egyetlen 32,768 kHz-s eszközzel váltottuk ki. Ez a megoldás jelentős BOM költség megtakarítást kínál a szük-

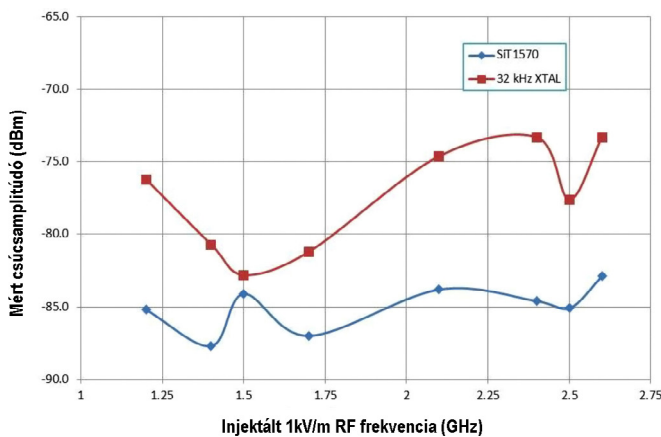
séges NYÁK terület minimalizálása mellett és ráadásul energiatakarékos megoldást is nyújt.



32,768 kHz MEMS oszcillátor lát el 3 időzíti 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 átszűrődik 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-el kevésbé érzékenyek az EMI-ra, mint a kristályrezonátorok.



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

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 jel képes a rezgés frekvenciájának megváltoztatására is. A szilícium MEMS rezonátor ellenben elektrosztatikus gerjesztés hatására rezeg, így 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 hívhatják 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 frekvenciatolást is elhanyagolható marad. A SiTime MEMS oszcillátorok vibrációállósága mérések alapján tízszerese egy kristály oszcillátorénak.

7. A MEMS oszcillátor bármilyen frekvenciára elérhető

A kvarc rezonátor gyártástechnológiája korábban részletezett okok miatt hosszú gyártási és szállítási időt eredményez. Az egyik legfőbb oka ennek a világviszonylatban kis számú 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, 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 autópárházban – 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	Max. frekvencia	Kihívás
MEMS oszcillátor	1 MHz – 137 MHz	PLL generálta frekvencia: egyszer szükséges jóváhagyni, egyetlen alkatrész
Fundamentális kristályrezonátor	1 MHz – 60 MHz	Minden egyes frekvencia-értékhez más és más kristály tartozik, minden frekvenciára külön komponens, külön jóváhagyás szükséges
Harmadik harmonikus kvarc	60 MHz – 137 MHz	Minden egyes frekvencia-értékhez 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 komponens kvalifikáció szükséges