

# Magas érték/ár arány? Piccolo mikrokontroller-platform

## Beágyazott, valós idejű vezérlés árérzékeny alkalmazásokban

Keith Ogboenyi - Texas Instruments

Az F2803x/2x Piccolo a Texas Instruments (TI) jó minőségű mikrokontroller-portfóliójának új típuscsaládja. A változatos konfigurációkat tartalmazó, ezért a feladatok széles köréhez alkalmas elemválaszték, az ár és a teljesítmény a valós idejű vezérlési alkalmazások széles köréhez kínál megoldást.

Ahogy a mai világ egyre automatizáltabbá válik – a járművek közelségi érzékelőtől az újszerű, ledes világítástechnikai megoldásokig –, folytonosan növekvő igény merül fel az egyre összetettebb elektronikus rendszerek kezelésére és vezérlésére. Ezek a valós idejű, beágyazott vezérlőrendszerek természetüknél fogva jelentős matematikai háttérrel és feldolgozóképeséget mozgósító vezérlőalgoritmusokat használnak, gyakran egyidejűleg foglalkoznak olyan analóg és digitális információk feldolgozásával, amelyeknek gyorsan kell megtörténnie, ha el akarjuk kerülni az adatvesztést. Ezek az alkalmazások egyre inkább árérzékenyek is, ezért a magas fokú integrációnak és a kis tokméretnek is fontos szerep jut. Mindezen igények kielégítése, valamint a megbízható és pontos vezérlések és szabályozások megvalósítása komoly kihívás lehet a fejlesztőknek. A digitális jelfeldolgozó processzorok (Digital Signal Processor – DSP) nagy teljesítményt, gyors be/kimeneti adatmozgatást és megnövelt teljesítményű matematikai és számfeldolgozási képességeket kínálnak, a valós idejű vezérlési alkalmazások pedig gyakran jelentősen eltérő perifériakészletet és megszakítási képességeket igényelnek. A tipikus mikrokontrollerek (MCU-k) ezzel szemben olyan vegyes jelfeldolgozók, amelyeknek az architektúráját és megszakításkezelését a valós idejű vezérlési feladatok igényei szerint alakították ki, viszont képességeik eléggé korlátozottak a „processzorintenzív”, számításigényes alkalmazásokban.

### Elektronikusan vezérelt hajtások – globálisan érzékelhető megtakarítás

Példaként említjük az energiahatékonyságot, amely világszerte a berendezégyártók egyre fontosabb szempontjává válik. Az egyre gazdaságosabb energiafelhasználás igényét nemcsak a világméretben fokozódó figyelem kelti fel azon kritikus szerepű „zöld elektronika” iránt, amely a közeljövőben egyre nagyobb jelentőségre tesz szert, hanem a figyelem a nagyobb energiahatékonysággal működő teljesítményelektronika eredményeként csökkenő működési költségek felé is fordul. Lényeges, hogy az ipari alkalmazá-



sok összes energiaigényének kétharmada elektromos motorok meghajtására fordítódik. Ezért a teljesítményátalakítás és -felhasználás hatásfokának bármilyen javítása az egész ipari termelésben szembeötlő megtakarításokat hozhat. Például az iparban ma még csak 5 százalék a változó sebességű, elektronikus hajtások aránya, noha ezek hatásfoka nyolcszorosa az állandó sebességű motorhajtásokénak. A villamos hajtásoknak ez a szerény 5%-a világméretben tíz erőmű energiatermelését takarítja meg, és évente 68 millió tonna üvegházhatású gáz kibocsátásától kíméli meg globális környezetünket. A korszerű teljesítményelektronika nyilvánvalóan fontos terület a beágyazott vezérlési alkalmazások számára. Ezekkel a tulajdonságokkal a fejlesztők viszont úgy kívánják felruházni az új termékeket, hogy ehhez ne legyen szükség újabb processzorok és alkatrészek felhasználására.

### Mi a megoldás?

A válasz egy olyan mikrokontroller, amely a megfelelő szintű teljesítményt nyújtja, megfelelő perifériafelszereltségű, könnyen programozható, és elfogadható az ára. A Texas Instruments nem kezdő a mikrokontrollerpiacon, hiszen az 1972-ben világszöként bejelentett MCU-szabadalom tulajdonosa. Az MCU-portfólió egyik főszerreplője az MSP430

mikrokontroller-platform, amely az extrém kis fogyasztású, teleptáplálású, hordozható alkalmazásokra optimalizált, 16 bites kategória. A másik fontos család a C2000 típusjelű, 32 bites MCU-architektúra, amely az általánosan használt, általános célú, ARM-alapú hosztvezérlőknél sokkal célszerűbben használható a számításgényes, valós idejű alkalmazásokra. A TI legújabb MCU-architektúrája a TMS320F2803x/2x típusjelű, Piccolo kódnevű sorozatban ölt testet. Ezáltal a 32 bites, valós idejű MCU-k vezérlési alkalmazásai a tokozat és az ár optimalizálása révén az árérzékeny alkalmazások számára is elérhetőkké válnak.

### Széles körű alkalmazási lehetőségek

A TI beágyazott feldolgozási és rendszerszintű szakértelme olyan alkalmazásokban is megvalósíthatóvá teszi az MCU-k használatát, amelyeknél korábban ezt a technológiát az elégtelen teljesítmény vagy az aránytalanul nagy ráfordítások miatt nélkülözni kellett. A TMS320F2803x/2x Piccolo-eszközök a legjobb digitális és analóg jelfeldolgozási megoldásokat egyesítik a valós idejű felhasználásra való alkalmassággal és azzal a megbízhatósággal, amely az alkalmazások széles köre számára jelent ideális MCU-megoldást – beleértve a motorvezérlést, a digitális energiamenedzsmentet, az autós alkalmazásokat (az utóbbiak közt a radaros ütközésmegelőző rendszereket is), a fejlett érzékeléstechnikát, az ipari és kereskedelmi led világítástechnikát, az olcsó, D osztályú audioerősítőket és a „fehér árukba”, háztartási gépekbe (mosó-, szárító-, indukciós főző és hűtőgépekbe) történő beépítést. A felsorolás természetesen nem teljes. Az F2803x/2x nagy teljesítménye és magas fokú integrációja jelentősen csökkenti a rendszerköltséget, mivel feleslegessé teszi a többi MCU és a járulékos alkatrészek felhasználását.

A példa kedvéért: egy légkondicionáló berendezés legalább két motort tartalmaz – egyet a kompresszor, egyet pedig a ventilátor meghajtására, és meg kell valósítani a teljesítménytényező korrekcióját is (Power Factor Correction – PFC), amely ma már a világpiac 30%-án, Európa, Kína, Japán és India piacain is kötelező. Egyetlen Piccolo-kontroller képes egyidejűleg ellátni a két összetett, változó sebességű motorvezérlési feladatot, futtatni a számításgényes PFC-algoritmust, kezelni a nagysebességű kommunikációs interfészeket, és valós idejű rendszerdiagnosztikát is megvalósíthat.

Az ipari és kereskedelmi ledes világítástechnikai alkalmazásokban a Piccolo-alapú ledvezérlő rendszerek csökkentik a színkeverést kezelő és hőkompenzáló rendszerek bonyolultságát és árát – mindezt egyetlen processzorral. A ledes világítástechnika hatásfoka 50%-kal magasabb a hagyományos, nagynyomású nátriumgőz lámpákénál, ezért az energiahasznosításra gyakorolt hatása várhatóan már a közeli jövőben is érzékelhető lesz.

Ár-, teljesítmény- és energiahasznosítási előnyei miatt a Piccolo-család eszközei egészen új alkalmazási területeket is meghódíthatnak. Például a napenergia-termelő rendszerek hagyományos megoldásaiban egy közös invertert használnak több napcellapanel teljesítményének átalakítására. Ha viszont minden panelhez saját „mikroinvertert” társítanak, ezzel az egész rendszerre vonatkoztatva nagyobb eredő átalakítási hatásfok érhető el. Ezzel ugyanis minden egyes panel kimenőteljesítményét külön-külön maximalizálni lehet, ellentétben a rendszerszintű inverterekkel, amelyek csak az egész rendszer összes napcellapaneljének átlagos kimenőteljesítményét képesek maximalizálni. Az előbbi

nyilvánvalóan hatékonyabb. A Piccolo kis mérete és olcsó ára lehetővé teszi, hogy a fejlesztők erre alapozzák a következő generációs szolarpanel-technológia mikroinvertereit.

### Architektúra, technológia

A Piccolo-eszközök a bevált, C28x típusú, 32 bites processzormagon alapulnak, a 40...60 MHz-es órajeltartományban. Fontos újdonság, hogy az új sorozatú eszközök a szabályalapú vezérlőrendszerekhez integrált hardveres gyorsítóáramkört (Control Law Accelerator – CLA) is tartalmaznak. Ez tehermentesíti a fő processzormagot, és a szabályalapú vezérlőalgoritmusok futtatásával felszabadítja azt az alkalmazásfeldolgozás számára. Az alkalmazástól függően a CLA tehermentesítő hatása ötszörösére növelheti a teljesítményt, különösen, ha a szabályozás nagysebességű programhurkokat és számításgényes vezérlőalgoritmusokat tartalmaz. A tipikus motorvezérlő alkalmazások jelenleg például 10...20 kHz frekvencián működő impulzusszélesség-modulációval (Pulse Width Modulation – PWM) működnek, bőven a legtöbb olcsó mikrokontroller feldolgozási képességeinek határain belül. A digitális energiamenedzsment azonban már most is ennél lényegesen gyorsabb működést, akár 300 kHz-es üzemi frekvenciát kíván, sőt az igény a várakozások szerint a közeljövőben akár elérheti az 1 MHz-et is. Ezek a frekvenciák meghaladják a szoftvervezérlésű PWM-ek képességeit éppúgy, mint azon hardveres PWM-vezérlőkéit, amelyeket csak motorvezérlésre használnak.

Ha egyetlen mikrokontrollerrel kívánunk motorvezérlési és fejlett teljesítménymenedzselési funkciókat ellátni, az MCU-nak nagy felbontású PWM-képességgel kell rendelkeznie. Például egy PFC megvalósításánál a mikrokontrollernek az inverter egyetlen kapcsolási ciklusának bekapcsolási időtartamán belül (legkésőbb a jel lefutó élének végéig) kell mintavételeznie az áramot. Ezt az értéket a szabályozóalgoritmusnak átadva az kiszámít egy determinisztikus korrekciós értéket arra, hogy a PWM-nek hogyan kell módosítani a kitöltési tényezőt. Minél nagyobb a kapcsolási frekvencia, annál kevesebb idő telik el a mintavételtől a jel soron következő, lefutó éléig. Egy hagyományos PWM-áramkörnél ez az idő nem elég a számítás elvégzésére, és ha a mikrokontroller elvételi a lefutó élet; és közben túl nagy terhelésváltozás történik, az egy valós idejű szabályozóalkalmazásban akár katasztrofális következményekkel is járhat.

### Szélességmoduláció – magasabb szinten

E probléma megoldására az F2803x/2x MCU-kba egy integrált, továbbfejlesztett pulzusszélesség-modulátort (Enhanced PWM - EPWM) építettek, amely jelenleg a legnagyobb felbontású, frekvenciamodulációra is alkalmas PWM: időfelbontása akár 150 ps is lehet. Ez a kiemelkedő tulajdonság a nagy számítási kapacitással és az optimalizált architektúrával kombinálva lehetővé teszi, hogy egyetlen Piccolo MCU egyidejűleg motorvezérlési és teljesítménytényező-korrekciós feladatokat is elláthasson. A nagy felbontású EPWM révén jelentősen csökken az eszköznek a mintavételtől a beavatkozásig terjedő „átfutási ideje”, amellyel elkerülhető, hogy az MCU „lekésse” a kapcsolójel lefutó életét. Az EPWM arra is használható, hogy eltávolítsa a jel FM-sávba eső harmonikustartalmát, amely révén a tervező még pontosabb teljesítményszabályozást valósíthat meg.

## Óraműpontosság

A valós idejű vezérlő- és szabályozóalkalmazások kritikus kérdése a pontos időzítés – kétféle értelemben is. Egyrészt a folyamatból származó jelek pontos időzítése, másrészt a nagysebességű kommunikációs interfészek pontos órajelezése is ide értendő. Habár sok MCU tartalmaz valamiféle belső oszcillátort, mégis gyakran szükséges egy vagy több külső oszcillátort is beépíteni a pontos órajel-előállítás érdekében. Ennek az az oka, hogy a legtöbb MCU-ba gyűrűs oszcillátort építenek be, amelynek akár 50%-os driftje is lehet, amitől teljesen alkalmatlan arra, hogy annak alapján bármely alkalmazás a mért jellemző időfüggvényéhez vagy más eszköz időzítéséhez szinkronizálódjon. A Piccolo-mikrokontrollerek viszont két precíz, 10 MHz-es,  $\pm 1\%$  pontosságú, integrált oszcillátort tartalmaznak, amellyel feleslegessé teszik a külső oszcillátorokat, és megtakarítják azok költségeit. Ezek az oszcillátorok háromszoros redundanciát tartalmaznak, amely növeli a megbízhatóságot és az alkalmazások biztonságát.

## Megbízhatóság, biztonság

Sok valós idejű vezérlő- és szabályozóalkalmazásban a megbízhatóság és a biztonság elsődleges fontosságú. A „fehér áruknek”, azaz a háztartási gépeknek például meg kell felelnie az ezekre vonatkozó IEC 60730 jelű, szigorú biztonsági szabványnak. Az egyszerű tápellátási rendszer nem igényli külső tápegység-áramkörök használatát. A 3,3 V-os, szimpla tápfeszültséget belső stabilizátor dolgozza fel 1,8 V-os belső tápfeszültséggé, emellett a tápfeszültség-csökkenés (brownout) elleni védelemet és a bekapcsolási reset funkcióját is ellátja.

## Perifériakészlet

A valós idejű, beágyazott vezérlési-szabályozási funkciókra optimalizált MCU-k esetében kulcsfontosságú a megfelelő összetételű, magasan integrált perifériaválaszték. Ha ez megvalósul, az a végtermék fejlesztési folyamatát egyszerűbbé és olcsóbbá teszi. A különféle vezérlőalkalmazások viszont különféle szabványos interfész-környezetet igényelnek. Emiatt a Piccolo a szokásos kommunikációs interfészekon kívül elsősorban az automotív és ipari alkalmazások kedvéért támogatja a CAN- és LIN-buszokat, valamint egy sor általános célú digitális be/kimeneti interfész-kivezetéssel is rendelkezik.

## Analóg jelfolgy

A pontos, valós idejű, beágyazott analóg jelfeldolgozás első feltétele a minőségi jeldigitalizálás. Erre a célra a Piccolo-típuscsalád 12 bites AD-átalakítót tartalmaz, amely akár 4,6 MS/s mintasebességgel is működtethető. A konverter aránymérésre is alkalmas, és csatornánként egyedi indító- (trigger-) jeleket tud fogadni. Ezenkívül a lehetőségek olyan járulékos funkciókkal is bővültek, mint az automatikus mérésindítás (auto-trigger) és az automatikusan vezérelt, sorozatos mintavétel (auto-sequencing). A Piccolo-eszközök analóg jelfeldolgozási képességét gyarapítják az integrált analóg komparátorok, amelynek számtalan olyan alkalmazásban vehetik hasznát az alkalmazók, amelyekben egy küszöbérték átlépésétől függ egy funkció végrehajtása. Például a komparátor jele programmegszakítást (interrupt) okozhat, amelynek kiszolgálóprogramja például akkor hajtódik végre, ha a komparátor azt érzékeli, hogy egy szenzor kimenőjele egy analóg jellel reprezentált küszöbértéket átlép.

## Tervezési előnyök

Az üzembiztonsággal kapcsolatban már említettük az egyszerű 3,3 V-os tápellátás előnyeit. Az 1,8 V-os magfeszültséget előállító beépített stabilizátorok miatt külső feszültségszabályozó IC-k válnak feleslegessé, NyÁK alapterület és járulékos alkatrészek költsége takarítható meg – a beépített feszültségsökkenés-figyelő és bekapcsolási reset áramkörökkel együtt ez egyszerűsíti és felgyorsítja a tervezési folyamatot is. Ugyanezt a célt szolgálja a TI új, kényelmes fejlesztői környezete is. A fejlesztők 2008. decembere óta – a valóban méltányos, 79 USD áron – beszerezhetik az F2083x/2x „kísérletező készletet”. Ennek „controlCARD” nevű részlete kompatibilis a TI 32 bites, F28x moduláris dokkolóállomással. Ezáltal könnyen „járható” interfész jön létre az összes típusfüggetlen és alkalmazás-specifikus fejlesztőkészlettel. Ezek révén a fejlesztőmérnök „repülőrajttal” kezdheti a prototípus- és alkalmazásfejlesztést, mielőtt a végleges hardver rendelkezésre állna. A fejlesztőkészletekkel együtt a Gerber-fájlokat is tartalmazó részletes hardverterveket és szabadon felhasználható alkalmazási szoftvereket, a külső fejlesztőcégek által előállított érték-növelő termékeinek ajánlatába való alapos betekintést és a műszaki támogatásra való jogosultságot is megszerzi a fejlesztő.

A Piccolo MCU-k teljesen szoftverkompatibilisek az F28x eszközökkel, amely megkönnyíti a fejlesztőnek a piacon található, felhasználásra kész szoftvertermékek közvetlen felhasználását. A TI szoftveres fejlesztőeszköz-kínálatában szerepel a cég ipari szabványnak tekinthető programfejlesztő „stúdiója”, amelynek – futtatható kódra vonatkoztatva – 32 kb-ig korlátozott változata ingyenesen elérhető. A fejlesztők ismereteinek bővítésére pedig a világ számos helyén rendszeresen szervezett tanfolyamok, „workshopok” állnak rendelkezésre.

Mindent egybevetve, a felhasználók teljes fejlesztői infrastruktúrához férhetnek hozzá, beleértve a hardvert, a fejlesztőeszközöket, a szoftvert és a támogatás különböző formáit, melyek a Piccolo mikrokontrollerek használatát jelentősen olcsóbbá teszik a versenytársak termékeinél.

## A jelen és a jövő

Az F2083x/2x termékcsalád elsőként megjelenő típusai 40 és 60 MHz-es órajelű, legfeljebb 128 kb-ig tartalmazó típusok az említett 12 bites AD-átalakítóval és a nagyfelbontású EPWM pulzusszélesség-modulátorral felszerelve és az ipari szabvány perifériákkal (kommunikációs egységekkel és protokollokkal, integrált, precíz oszcillátorokkal, analóg komparátorokkal és általános célú, digitális be/kimeneti kivezetésekkel) kiegészítve. A sorozat fejlesztés alatt álló modelljei megnövelt számítási teljesítménnyel és nagyobb memóriával kerülnek forgalomba, CLA-val, LIN és CAN buszinterfészekkel ellátva. A TI a teljesítménynövelésre irányuló fejlesztéseken kívül arra is gondot fordít, hogy a rendszerköltségek minimalizálására alkalmas egyszerűbb változatokat is bevezessen. Ennek útja egyebek között az, hogy a jelenlegi típusok diagnosztikai és fejlesztést támogató interfész-kivezetéseinek egy részét funkcionális interfészekkel helyettesítse, vagy azok elhagyásával csökkentse a TQFP-tok kivezetésszámát és méreteit. Ez utóbbi eredményeképpen kisebb helyfoglalású, olcsóbb végtermékek kialakítására nyílik majd lehetőség.

