

FÁZISZÁRT HUROK ALKALMAZÁSA VILLAMOSHÁLÓZATI MÉRÉSADATGYŰJTŐ RENDSZEREKBE

UTILIZATION OF PHASE-LOCKED LOOP CIRCUITS IN ELECTRICAL NETWORK DIAGNOSTIC SYSTEMS

Kazup László, Marcsák Gábor Zoltán***

ABSTRACT

A villamos hálózat vizsgálatának egyik eleme az úgynevezett gyors Fourier-analízis (FFT), mely során követelmény, hogy a regisztrátum a vizsgált jel egy vagy több teljes periódusát tartalmazza. Ellenkező esetben a kapott amplitúdó-frekvencia spektrum úgynevezett „sátras” jellegű lesz, azaz nem létező oldalharmonikusokat fog tartalmazni. Ezen jelenség elkerülése érdekében olyan mérési módszert kell alkalmazni, amely biztosítja, hogy a mintavételi frekvencia a mérendő jel frekvenciájának egész számú többszöröse legyen akkor is, ha a mérendő jel frekvenciája a mérés közben változik.

1. BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem Elektrotechnikai – Elektronikai tanszékén jelenleg is folynak elektronikai és szoftveres fejlesztő munkák a mind szigorúbb szabványügyi előírásoknak megfelelően.

A legújabb villamosenergia-minőség vizsgálatokra vonatkozó szabvány előírja a rendszer hálózati frekvenciához történő szinkronizálását a használni kívánt számítógépes mérésadatgyűjtő-digitalizáló berendezések esetén. Tanszékünkön az ezzel kapcsolatos hardveres és szoftveres fejlesztések két fő irányvonalon folynak.

A mintaszám szinkronizációs módszernél igyekszünk annyi mintát alapul venni, hogy az FFT analízis során egész számú periódusokat kapjunk. Előnye, hogy nem igényel külső hardvert, hátránya viszont, hogy viszonylag nagy (~10 kHz feletti) mintavételi frekvencia esetén működik megfelelő pontossággal, valamint szoftveresen kell megoldani az átlapolások problémáját^[1].

* villamosmérnök, mechatronikai mérnök MSc hallgató

** mérnök informatikus BSc hallgató

2. MINTAVÉTELI FREKVENCIA SZINKRONIZÁLÁSA PLL ÁRAMKÖRREL

A mintavételezés során egy PLL (Phase-locked loop) áramkör közreműködésével a mintavételi frekvenciát folyamatosan úgy szabályozzuk, hogy az mindig egész számú többszöröse legyen a hálózati frekvenciának, így a mintavételezett jel minden egyes periódusa azonos, egész számú mintából áll.

A mintavételi frekvencia forrása ez esetben a PLL áramkörrel együttműködő külső, feszültségvezérelt oszcillátor (VCO), melynek kimenete a mérésadatgyűjtő kártya digitális trigger bemenetére (PFI*) csatlakozik.

Hátránya ennek a megoldásnak, hogy mivel a hálózati frekvencia kis mértékben ingadozik, emiatt a jel időtartománybeli vizsgálata körülményesebb, mivel két minta között eltelt idő nem állandó.

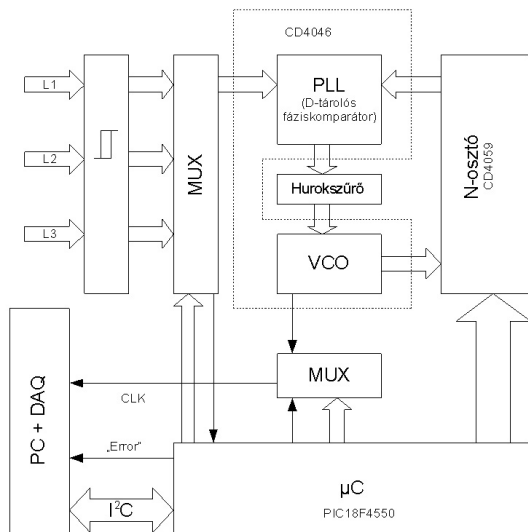
2.1. A szinkronizáló áramkör

Munkánk első lépése a szinkronizációt megvalósító elektronikus áramkör tervezése, illetve kivitelezése volt. A szükséges alacsony (~50 Hz) működési frekvencia miatt több, a kereskedelemben kapható eszköz és PLL céláramkör erre a feladatra alkalmatlannak bizonyult, mivel azok működési frekvenciája általában a néhányszor 10 kHz-es tartományba esik. A tervezés során azonban egyéb műszaki és funkcionális követelményt is szem előtt kellett tartanunk.

Az áramkör alapja a CD4046 PLL integrált áramkör, mely kétféle fáziskomparátort, illetve egy feszültségvezérelt oszcillátort tartalmaz. A berendezés bemenetén a mérő-átalakítókról leágaztatott feszültségjeleket (melyek a hálózati fázisfeszültségek leosztott megfelelői) egy trigger áramkör fogadja négyszögösítve, TTL jelszintre illesztve. Ezek közül a mikrokontroller által vezérelt multiplexer választ ki egyet, mely a fáziskomparátor úgynevezett referencia-bemenetére kerül. A komparátor másik bemenetére a VCO „N”-el leosztott frekvenciájú kimeneti jele kerül,

amely osztást a CD4059 típusú programozható N-osztó végzi.

A fáziskomparátor kimenete a hurokszűrőn keresztül úgy vezérli a VCO-t, hogy annak frekvenciája mindig N-szerese a referencia frekvenciának (hálózati frekvenciának), kezdőfázisuk pedig megegyezik. Látható, hogy az N-osztó osztásaránya, melyet a mikrokontroller állít be, tulajdonképpen egy szorzótényező, ami azt adja meg, hogy hányszorosa legyen a mintavételi frekvencia a hálózati frekvenciának. Ezáltal teljesül az a fent megfogalmazott kitétel, miszerint a mintavételi frekvencia egész számú többszöröse legyen a hálózati frekvenciának. Ez a kimeneti (mintavételi) frekvencia így 50Hz-es lépésekben változtatható a megfelelő, I2C buszon kiadott utasítással.



1. ábra A PLL áramkör blokkvázlata

A korszerű mikrokontroller alkalmazása révén lehetőségünk nyílt további, felügyeleti és biztonsági funkciók megvalósítására is, amelyek tovább növelik a rendszer megbízhatóságát. Ezek közül az egyik a feszültségkiesés figyelése, korrigálása. Ugyanis ritkán, de előfordulhat, hogy az egyik fázisfeszültség kiesik, és ha a szinkronizáció éppen arra a feszültségjelre történik, annak hiánya esetén a fáziskomparátor leáll, VCO kimeneti frekvenciáját 0-ra csökkentve, így megszűnik a mérésadatgyűjtő rendszer mintavételi frekvenciája is.

A szoftveres átkapcsolás belső órajelre körülményes, ezért a mikrokontroller folyamatosan figyeli az aktuális szinkronizáló jelet, és ha az megszűnik, a MUX segítségével a soron következőt kapcsolja a PLL bemenetére. Amennyiben úgy érzeke, hogy mindhárom jel kiesett, maga állítja elő az 50 Hz-hez számított mintavételi frekvenciát. Ezzel minimalizálható a mintavesztés, azonban az átkapcsolások ideje alatt a mintavételi frekvencia erősen ingadozik. Ennek a bizonytalanságnak az időtartama maximum 75 ms.

A mikrokontroller minden ilyen esetben üzenetet küld a PC-nek az I2C adatbuszon, mely tartalmazza a hiba okát és az aktuális állapotokat, ezáltal részletes naplózásra van lehetőség. Továbbá minden konfigurálás alkalmával egy belső EEPROM memóriába tárolja az aktuális beállításokat, és egy esetleges áramkimaradás után ezekkel az értékekkel indul újra a mérés, így nem szükséges minden alkalommal újrakonfigurálni a mérőberendezést.

2.2. A hálózati feszültség torzításának hatásai

A kapcsolás bemenetén lévő komparátorok a szinkronizálás során használt négyszög-feszültséget a hálózati szinuszosan váltakozó feszültség nullátmeneteire triggerelik. Ideális esetben csak a hálózati frekvencia változik, és a nullátmenetek időbeli bekövetkezése követi ennek a frekvenciának a változását.

Azonban, ha az adott villamos hálózaton problémák vannak, ill. túlsúlyban vannak a villamos motoros hajtások (ti. frekvenciaváltók, ill. fázishasítás elvén működő szabályzók), a fázisfeszültségek teljes harmonikus torzítása jelentős, akár 10% körüli is lehet, ráadásul értéke és a spektrum összetétele is folyamatosan változhat [2].

Jelentős a 3. és az 5. harmonikusok által okozott torzítás. Ez azt eredményezheti, hogy a hálózati frekvencia változatlanlansága mellett is elmozdulnak a nullátmenetek, mely jelenség mint változó hálózati frekvencia fog megjelenni a PLL bemenetén. Ennek hatására a kimeneti frekvencia is ingadozni kezd, minek következtében a szinkronizáció ellenére is kialakulhat sátras spektrumkép, mivel valójában nem annyit és úgy változik a hálózati frekvencia, mint azt a PLL a felharmonikusok miatt látja.

A jelenség kiküszöbölése megfelelő meredekségű aluláteresztő szűrővel lehetséges, mely kiszűri a nem kívánt felharmonikusokat, és így a nullátmenet-komparátor bemenetére tisztán az alapharmonikus reprezentáló szinuszos feszültség kerül. Egy ilyen szűrő alkalmazása azonban további problémákat vet fel. Állandó, illetve lassú ütemben, kis mértékben változó bemeneti amplitúdó esetén megfelelően működik az szinkronizáció.

Azonban hirtelen, nagy mértékű feszültségletörés vagy ugrás esetén (amely viszonylag gyakori jelenség a villamos hálózaton) a szűrő kimenete késéssel követi a bemeneti jel változását szintén nullátmenet-elcsúszást okozva, mely az előbbi gondolatmenet alapján bizonytalan mintavételi frekvenciát és sátras frekvenciaspektrumot okoz. Azonban belátható, hogy ez a bizonytalanság csak a feszültségletörések/-ugrások tartományára korlátozódik, azonban ha ezen jelenségek pontos frekvenciatartománybeli vizsgálata szükséges, ez a módszer sem ad kielégítő megoldást.

3. A PLL SZINKRONIZÁCIÓT TÁMOGATÓ MÉRÉSADATGYŰJTŐ SZOFTVER

A professzionális mérésadatgyűjtő szoftverekkel szembeni alapvető elvárás, hogy a hosszú, akár több héten át tartó mérések alatt is folyamatosan megbízhatóan működjenek. Ebből kifolyólag az elkészült berendezéshez a National Instruments LabWindows/CVI fejlesztőkörnyezetében, valamint NI PXI 8110 hardverkörnyezetben készítettünk el a PLL szinkronizációt támogató szoftver kísérleti verzióját, melynek tesztelése és rendszerbe integrálása jelenleg is tart.

3.1. Az adatgyűjtésért felelős komponens

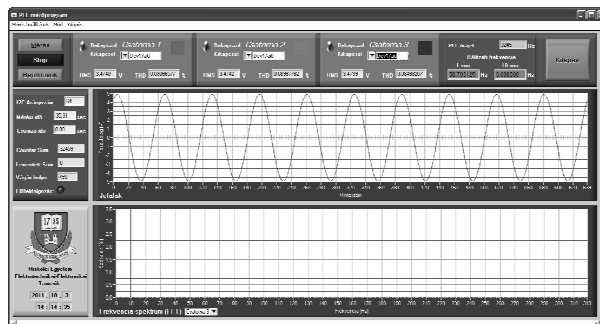
A program ezen részével szembeni legfontosabb követelmény a precíz és hibamentes működés. A mintavételezést az alapvető mérési paraméterek (mintaszám, frekvencia, órajel forrás, méréshatár) megadása után lehet elkezdni. A program különlegessége lényegében az, hogy a mintavételi frekvenciát nem a mérőkártya beépített órajel generátora szolgáltatja, hanem egy külső órajel bemeneten keresztül a PLL áramkör. A működés mechanizmusa egy egyszerű példával szemléltethető a legjobban.

A mérési szabvány szerint a mért jel paramétereit 10 periódusonként kell meghatározni, ebből adódik, hogy 50 Hz-es hálózati frekvencia valamint 3200 Hz-es mintavételi frekvencia esetén 640 darab mintát kell alapul venni a frekvenciatartománybeli vizsgálathoz. A PLL áramkör a mindenkor hálózati frekvencia egész számú többszörösének megfelelő órajel-frekvenciát biztosít a mérésadatgyűjtő kártya számára.

Mint az a fentiekben is látható, PLL szinkronizált mintavételezés esetén pontos és precíz vizsgálatok végzésére nyílik lehetőség a frekvencia-tartományban, azonban az időtartománybeli vizsgálat bonyolultabbá válik, ugyanis a mintaszámból következtetve már nem lehet egyértelműen megállapítani az egyes minták időbeli elhelyezkedését, mivel a hálózati frekvencia változásának hatására a mintaszám által reprezentált időintervallum is folyamatosan változik. Az általunk fejlesztett programban létrehozott megoldással sikerült áthidalni ezt a problémát.

A PLL órajel csatornája a mérőkártya külső órajel bemenete mellett annak egy digitális számláló (Counter) bemenetére is rá lett kötve, ezáltal folyamatosan mérni tudjuk a PLL által szolgáltatott órajel frekvenciáját (mely a PLL miatt a hálózati frekvencia függvénye), így meghatározható adott mintaszám által jelképezett időintervallum. A módszer használatához azonban egy pontos időalapra van szükség, melynek segítségével az órajel-impulzusok számát egy másodpercre nézve pontosan meg tudjuk határozni. A LabWindows/CVI erre is tartalmaz megoldást, mely az „Asynchronous

Timer”, magyarul aszinkron időzítő létrehozására szolgáló függvénykönyvtár. Ez az időzítő dedikált magas prioritású szálon fut, függetlenül a felhasználói interfésztől. Legnagyobb felbontása 1 ms, így megfelelő pontossággal beállítható az 1 másodperces időköz. Ezek eseményként futnak be, mely esemény által meghívott rutin a számláló értékéből így minden másodpercben meg tudja határozni a vett mintaszámot, közvetve pedig az aktuális hálózati frekvenciát.



2. ábra Az adatgyűjtésért felelős komponens

Az adatgyűjtés és mintavételezés menete megegyezik a legtöbb számítógépes mérésadatgyűjtő-rendszerrel használt módszerrel. A rendszer a DMA (közvetlen memória hozzáférés) vezérelt adatgyűjtést alkalmazza. A mintavételezést a CVI úgynevezett folyamatokban, taszkokban végzi. Ezekben állíthatjuk be a mérőkártya fizikai csatornáit. Mivel mi a kártya analóg és digitális bemeneteit is használjuk, ezért két független taszk használatára van szükség. Egyikben fut az analóg csatornák mintavételezése, a másik pedig a fent említett számláló algoritmus. A szoftver minden mérést egész percre szinkronizálva indít el. Mielőtt ez megtörténne, I2C buszon előzetesen elküldi a mérési paramétereket a mikrokontroller számára. Ezután a mintavételező és a Counter taszk egymással szinkronban fut külön-külön szálon. A szinkronizációt az aszinkron időzítő biztosítja.

A több napos mérések során keletkezett nagy mennyiségű adat feldolgozása, RMS, THD és egyéb paraméterek számítása a nagy mintaszám miatt meglehetősen időigényes feladat. A feldolgozási idők csökkentésére a program bizonyos származtatott mennyiségek számítását on-line módon, mérés közben végzi, tekintve, hogy az általunk használt NI PXI rendszer négymagos processzorral rendelkezik.

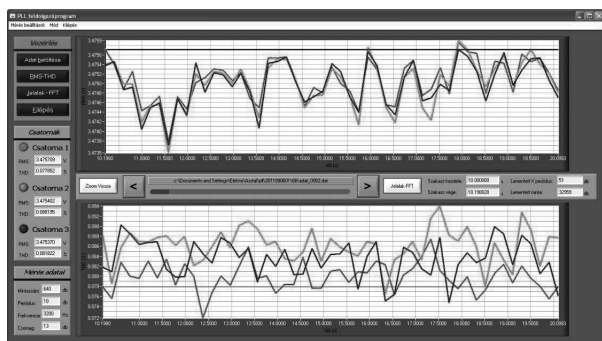
Hogy ezen számítások ne okozzanak problémát az időkritikus folyamatok szempontjából, egy saját, független szálon futnak. Ez a szál úgy kerül meghívásra, hogy a mintavételezést figyelve automatikusan elindul, ha van feldolgozható adatsomag. Biztonsági szempontokat szemmel tartva a mintavételező és feldolgozó szál soha sem használja egy időben ugyanazokat az adatokat, így elkerülhetőek a konkurens hozzáférésekből eredő programhibák. Jelenleg a mért

feszültség, ill. áramjelek THD, valamint RMS értékeinek on-line számítására képes a szoftver.

Az egyik legfontosabb feladat az adatok megfelelő struktúrában történő folyamatos, adatvesztés nélküli tárolása. A villamos mérésre vonatkozó szabvány szerint minden adatfájlnak egyenlő időintervallumot kell képviselnie, ajánlás szerint pontosan tíz percet. A programban ezt az időt másodperc alapon tetszőlegesen lehet szabályozni. Az aszinkron időzítő segítségével pontosan kiszámítható, hogy az adatfolyamban hol kell kezdődnie, illetve véget érnie egy adatfájlnak. Számolnunk kell az átlapolás jelenségével, azaz az utolsó tíz periódust az aktuális adatfájl végére csatoljuk, viszont az új adatfájlt pontosan ott szeretnénk elkezdni, ahol a jelzés befutott. Erre a vágási helyre a „Counter” értékből tudunk következtetni, melyből pontosan kiszámítható, hogy az adott adatfájlban mennyi mintának kell lennie. A program az egész mérés során lementi a másodpercekhez tartozó „Counter” értékeket is.

3.2. Az adatok elemzéséért felelős komponens

Az elemzést és megjelenítést végző programrész a villamoshálózat-analízis során szükséges néhány jellemzőt (frekvencia, teljes harmonikus torzítás, áram/feszültség effektív értéke) számítja ki és jeleníti meg grafikusan időtartományban, ill. lehetőség van a mintavett jelek frekvenciatartománybeli analízisére. A felhasznált módszerek nagy része megegyezik a méréstechnikában általánosan használtakkal, azonban a pontos időtartománybeli ábrázolásra a megszokottaktól eltérő módszer kidolgozása volt szükséges az időábrát jelentő fix mintavételi frekvencia hiánya miatt.



3. ábra Az adatok elemzéséért felelős komponens

Tekintve, hogy a tíz periódushoz tartozó mintaszám állandó, valamint a függetlenül futó számlálónak köszönhetően tisztában vagyunk a másodpercenkénti

mintaszámmal, ezért egy egyszerű algoritmussal következtethetünk tetszőleges adatsomag időtengelybeli helyére.

Ha változatlanul 640 mintával dolgozunk, és az első másodpercben 51 Hz volt a hálózati frekvencia, akkor a PLL 3264 Hz-es órajelet generált. Ebből kiszámítható, hogy az első tíz periódus 0-0,19608 s között volt. Ezt az algoritmust használva elfogadható pontossággal tudjuk ábrázolni az időtartományt. Elmondható tehát, hogy az adatok elemzése szempontjából nem jelent nagy gondot egy már kész programot PLL kompatibilissé alakítani.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Mint az a fentiekből kiderül, a fáziszárt hurok alkalmazásának villamoshálózati mérésadatgyűjtő rendszerben van létjogosultsága és aktualitása. Természetesen egyaránt vannak előnyei és hátrányai. Hatalmas előny, hogy az FFT és egyéb műveletek nagyon pontosan végrehajthatóak a periódusra vetített állandó mintaszám miatt. Ráadásul ezt a PLL hardveresen biztosítja, a szoftver fejlesztésekor erre nem kell külön figyelmet fordítani. A módszer hátrányai közé sorolható, hogy az időtartomány és hálózati frekvencia kiszámításához nincsen segítségünkre a változatlan mintavételi frekvencia, továbbá a hálózati feszültség torzításai, ill. letörési jelenségei is problémát jelentenek. Mivel azonban a szoftveres algoritmusoknak köszönhetően változó mintavételi frekvencia mellett is kielégítő pontossággal meghatározható a minták időbeli elhelyezkedése, megfelelő bemeneti jelkondicionáló eszközök alkalmazásával a rendszer széleskörűen felhasználható.

5. IRODALOM

- [1] BÁTORFI R., VÁRADINÉ SZ. A.: Development of New Measurement and Data Analyzing System Flexible Adaptable to Energy Quality Standard Changes. microCAD2008 International Scientific Conference, Miskolc, 2008. Section J, pp.13-19. ISBN978-963-661-821-6.
- [2] VÁRADINÉ SZ. A., BÁTORFI R.: Kis-és közép vállalatok villamos energia hálózatának vizsgálata, ENELKO2006 Nemzetközi Energetikai Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2006. október 20-22. pp.149-154. ISSN 1842-45-46