

A virtuális mérés technika a tudományegyetemi képzésben

Dr. Kántor Zoltán

MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoport

Szegedi Tudományegyetem, Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

6720 Szeged, Dóm tér 9.

zkantor@physx.u-szeged.hu

Dr. Gingl Zoltán

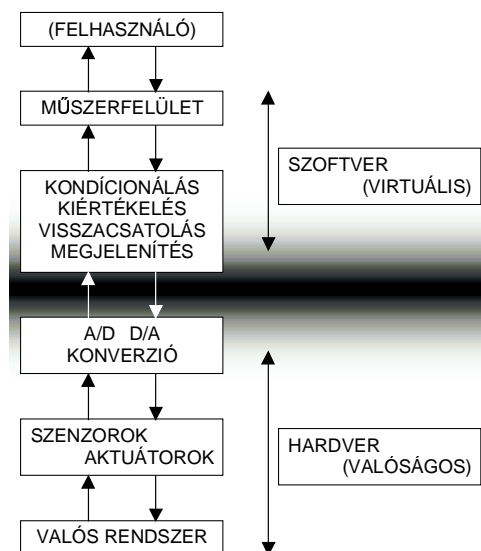
Szegedi Tudományegyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék

6720 Szeged, Dóm tér 9.

gingl@physx.u-szeged.hu

A virtuális műszerekről

Napjaink fejlett számítástechnikai háttérével lehetővé teszi a virtuális mérés technika rohamos fejlődését és elterjedését. Ennek lényege, hogy a mérésekhez kapcsolódó algoritmikus feladatokat, adatgyűjtést, adatkonverziókat és megjelenítést is számítógéppel végezzük el. Ezáltal olyan mérőeszközt készíthetünk el, amelynek jelentős része szoftveresen „realizált”, mégis valódi mérések végzésére alkalmas. Mivel a műszer funkciója pusztán a szoftver cseréjével megváltoztatható, érthető a módszer rendkívüli hatékonysága.



1. ábra. A virtuális műszer és a valós rendszer viszonya. Minél kisebb részt képvisel a műszerben a fizikailag is lejelezhető hardver és minél nagyobbat a szoftver, annál könnyebben fejleszhető, módosítható, és annál sokoldalúbb műszer áll rendelkezésünkre.

A *virtuális műszer* tehát érzékelőkkel és jelátalakítókkal megtámogatott olyan *szoftver*, amely kinézetével és működésével modellezi egy valóságos műszer működését. Nem szabad azonban azt gondolnunk, hogy a virtuális műszer által végzett mérés ne lenne teljesen valódi. Nagyon is az, sőt a virtuális műszer által kijelzett érték sokkal közvetlenebb kapcsolatban lehet a valósággal, mint az önálló valódi műszerek esetén. Ezek ugyanis jellemzően a valós rendszer vizsgálandó tulajdonságaira utaló paramétereket mérik, és a kérdéses tulajdonságot csak a mérés utáni adatfeldolgozás, kiértékelés és értelmezés során kapjuk meg. A virtuális műszer ezzel szemben magában foglalhatja a közvetlen mérés utáni lépések végrehajtását is, amelyeket más szoftverekkel amúgy is elvégeznénk, így képes valóban magasabb szinten a vizsgált tulajdonság közlésére.

Egy megbízható, flexibilis és szemléletes virtuális műszer kifejlesztéséhez három lényeges dolog kell. Az első egy olyan szoftverfejlesztő-rendszer, amelyik könnyen kezelhetően kínálja az adatbevitel és adekvát megjelenítés lehetőségeit, a szoftver és digitális környezete közötti kommunikáció eszközeit, a jelek előállításához és kiértékeléséhez szükséges matematikai eljárásokat, és általában a modellnek megfelelő adat- és programozási struktúrák széles választékát.

A másik fontos feltétel a megfelelő érzékelők jelét megfelelő sebességgel és precizitással számszerű adattá alakító, illetve a számszerű vezérlőjeleket a beavatkozók felé továbbító egység. Ez fogja megteremteni a kétirányú kapcsolatot a valós rendszer és a virtuális műszer között. Az ilyen eszközt adatgyűjtő és vezérlő egységnek nevezzük.

A Cobra Control Kft. és a National Instruments Inc. ajándékként tanszékcsoportunk oktatói és hallgatói számára korlátlanul elérhető LabView fejlesztőrendszer, valamint a Dr. Gingl Zoltán (SZTE, Kísérleti Fizikai Tanszék) által kifejlesztett, tanszékeinken több példányban is rendelkezésre álló DAS1614 és DAS1414 intelligens adatgyűjtő egységek [1] kitűnő háttérét képezik a virtuális mérés technika megalapozásának. Míg a LabView, és ezen belül a grafikus G programozási nyelv könnyű lehetőséget biztosít virtuális mérőeszközök építéséhez, a DAS soros portos mérő—gerjesztő eszköz nagy pontossága és sebessége ideális illesztést jelent a mért valódi fizikai paraméterek és a virtuális rendszer között.

A virtuális műszerek készítésének harmadik alapvető feltétele az, hogy a valóság megismerésén dolgozó kutató az ehhez megfelelő digitális mérés technikai és programozási ismeretekkel rendelkezzen. Ezt a szükségszerűséget felismerve dolgoztuk ki egy két féléves speciálkollégium tematikáját, amely speciálkollégium

immáron harmadik éve számos alapképzésben és PhD-képzésben résztvevő hallgató érdeklődését kiváltotta. Az oktatás színhelye egy hat munkaállomásos hallgatói laboratórium (1. ábra), amelynek minden munkahelyén egy LabView-t is futtató korszerű személyi számítógépekhez csatolt DAS1414 adatgyűjtő egység működik, és ahol az egyszerű ellenállásoktól kezdve a nyomás- és hőmérsékletszenzorokig számos kísérleti eszköz — akár oktatási időn kívül is — a hallgatók rendelkezésére áll.



1. ábra. A virtuális mérés technikai hallgatói laboratórium egyik munkaállomása a DAS1414 intelligens adatgyűjtő egységgel.

A „Virtuális mérés technika” speciálkollégium és Ph.D.-kurzus

Míg a kollégium első feléve inkább a LabView fejlesztőrendszer és az alapját képező G programozási nyelv megismertetését szolgálja, a második feléve már erősen a konkrét alkalmazásokra összpontosít.

A diákok megismerkednek a grafikus programozási nyelv és az adatfolyam-vezérelt programvégrehajtás filozófiájával, a nyelv adattípusaival, műveleteivel, programozási struktúráival, adatállományok kezelésének lehetőségeivel. Áttekintjük és gyakoroljuk néhány szabványos soros ill. párhuzamos digitális adatátviteli vonal használatát. A diákok az RS232 porton keresztül adatforgalmat bonyolítanak számítógépek között, megtanulják, hogyan kell adatokat beolvasni digitális multiméterről és a DAS1414 soros vonaláról.

Előadásunkból megtanulják a jelkonverziók alapjait, vagyis hogyan konvertálhatók analóg jelek digitális információvá és viszont. Az A/D- és D/A-konverziók kapcsán tisztázódnak olyan alapfogalmak, mint feloldás, pontosság, integrális és differenciális linearitás, dinamikus tulajdonságok, és bemutatjuk néhány konverteráramkör szerkezetét, működését. Tárgyaljuk a zajt mint a mérésekhez szervesen kapcsolódó jelenséget.

Digitalizálás előtt a valós világ jeleit át kell alakítani elektronikusan kezelhető jelekké. Ennek megfelelően fontos szerepet kap oktatásunkban egyes alapvető fizikai paraméterek mérésére szolgáló szenzorok megismertetése. A hőmérséklet mérése kapcsán például a hallgatók megtanulják a termisztorok és termoelemek működésének törvényeit, alkalmazásképpen pedig digitális hőmérőt készítenek. Összetettebb mintapéldaként bemutatunk egy többcsatornás hőmérsékletregisztráló készüléket, amely a termikus hullámok terjedését szemlélteti. Fénymérő eszközként a hallgatók megismerik a fotodiódákat, a fényelemeket és a fotoellenállásokat, méréseket végeznek nyomás-, erő- és gyorsulás- és elmozdulásszenzorral is.

Külön tárgyaljuk a lassan változó és konstant jelek, valamint az időfüggő jelek mérését és előállítását. A lassan változó jelek mérésekor különféle átlagolási módszereket vizsgálunk és alkalmazunk a mérés zajának csökkentésére. Alkalmazási példaként a DAS1414 felhasználásával többcsatornás digitális voltmérő készül, és kihasználva az analóg jelek előállításának lehetőségét, diódák és tranzisztorok karakterisztikájának automatikus felvételét szolgáló virtuális műszert is létrehozunk.

Az időfüggő jelek mérésének gyakorlása előtt a diákok külön elméleti felkészítést kapnak, ide tartozik a mintavételi tétel, jelgenerálás és -rekonstrukció, aliasing, anti-aliasing szűrés, anti-imaging szűrés, és sok más is. A diszkrét Fourier-transzformáció (DFT, FFT, SFFT) megismerése, az ablakfüggvények és szűrőfüggvények használata, amplitúdó- és teljesítményspektrumok és korrelációs függvények alkalmazása közelebb viszi a hallgatóinkat az időfüggő jelek frekvenciatartományban való leírásának megértéséhez. Ezen témakör kapcsán különösen sok szép és érdekes alkalmazással találkozhatnak a diákjaink. Tároló oszcilloszkópot, jelalakgenerátort, frekvenciaanalizátort, mikrofonok jelének keresztkorrelációján alapuló hangsebesség-mérőt, rezonanciamérő virtuális műszert maguk is készítenek az órákon vagy gyakorlásképpen a szabadidejükben.

Nagy szerepet kap ezen kívül az előadók által létrehozott összetettebb rendszerek bemutatása és elemzése is, ilyen például egy termosztát vagy egy léptetőmotor-vezérlő, vagy a jel és a mintavételezési frekvencia viszonyának és a digitalizálási feloldásnak szinuszos jelre és zenei hangra kifejtett hatását, valamint a mintavételi tételt, az anti-aliasing és rekonstrukciós szűrést bemutató összetett virtuális demonstrációs eszköz. Ezen rendszerek közül mutatunk be most két olyan alkalmazást, amelyek jól szemléltetik, milyen összetett problémák közelíthetők meg hatékonyan és egyszerűen már egy speciálkollégium keretein belül is a virtuális mérés technika alkalmazásával. Az első egy teljes rendszerfejlesztési feladat,

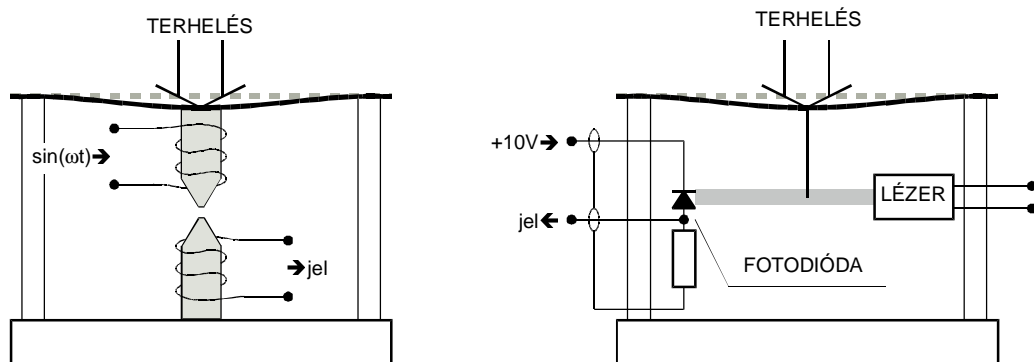
amelynek során a hallgatók végigjárták azt az utat, amely a fejlesztési probléma precíz kitűzésétől a megfelelő szenzor kiválasztásán, az adatmodell megalkotásán át elvezetett a virtuális műszer elkészítéséig. A második pedig egy, a fizikushallgatók által is gyakorolt mérés, amit a hozzá való virtuális műszer kifejlesztésével együtt is könnyebben és pontosabban lehet végrehajtani, mint a hagyományos módon, és mutatunk egy olyan megoldást is, amely kizárólag a virtuális mérés technika alkalmazásával lehet elképzelni.

Első példa: digitális mérleg készítése — egy komplex rendszerfejlesztési feladat

A virtuális mérés technika szoftver- és hardvereszközei sokkal nagyobb erőforrást jelentenek, mint ami egy-egy mérési feladat elvégzéséhez szükséges. Ez az erőforrástöbblet teszi lehetővé azt a hatékonyságot és könnyedséget, amellyel rövid idő alatt a valódi műszereket modellező virtuális műszerek sokaságát ki lehet próbálni, optimalni akár teljesítőképesség, akár kis erőforrásigény szempontjából. Az eredmény: kiválaszthajtuk, hogy a feladatot megfelelően végrehajtó virtuális eszközök közül melyik az, amelynek hardverigénye legjobban illik a majdani valós műszer használati körülményeihez. Az igazi műszer hardverének tervezésekor tehát már a tényleges szükségleteknek megfelelően redukáljuk mindazt a pontosságot, sebességet, linearitást, sokoldalúságot, ami a működéshez nem szükséges, és kivesszük a felhasználó kezéből a megváltoztatás, továbbfejlesztés lehetőségét is — előáll a valódi műszer prototípusa.

A diákok a mérleg tervezésének minden fázisában aktívan résztvettek. A tervezés során először körüljártuk a készülékkel szemben támasztott követelmények megadásának szempontjait (mérési tartomány, pontosság, feloldás), az érzékelés fizikai elvének és a szenzornak a helyes megválasztását. Mindeközben tekintettel kellett lenni az emberi erőforrásokra (pl. műhelymunka) és a pénzkeretekre. El kellett dönteni, hogy modulált vagy egyenáramú mérést kell végeznünk, és meg kellett találni az analóg és digitális jelfeldolgozás közötti megfelelő arányt is. Végül két megoldást találtunk alkalmasnak a megvalósításra (2. ábra). Mindkettő esetben a tömeget a földi tömegvonzás súllyá alakítja, ezt pedig egy rugalmas lemez elmozdulássá. A tömegmérést így elmozdulásmérésre vezettük vissza. Az első esetben a szenzor két kis lágyvasmagos tekercs, amelyek távolságának megváltozása a kölcsönös induktivitási együttható megváltozását eredményezi. A mérés során a DAS1414 analóg jelkimenetén megjelenő szinuszos feszültséget az egyik tekercsre

kapcsoljuk, és ez a másik tekercsben váltófeszültséget indukál. Ezt a feszültséget — a gerjesztéssel teljesen egyidejűleg — az adatgyűjtő egység digitalizálja, és a műszer Fourier-analízis útján kiválasztja a gerjesztésnek megfelelő frekvenciájú összetevő amplitúdóját. Ezt tekintjük szenzorjelnek, amit a kalibráció után tömegértékké konvertálhatunk. A másik megoldásnál a statikus szenzorjelet egy fotodióda szolgáltatja. Erre egy diódalézer kollimált fényét irányítottuk, amit a mérleg lemezére szerelt lap a mérleg terheltségétől függő mértékben leárnyékol. Mindkét megoldást teszteltük, és az első változatot találtuk az eredeti specifikációknak inkább megfelelőnek, beleértve azt a szempontot is, hogy az adatgyűjtés és a feldolgozás funkcióit egy nyomtatott áramkörbe, lehetőleg egy chipbe integrálhassuk.



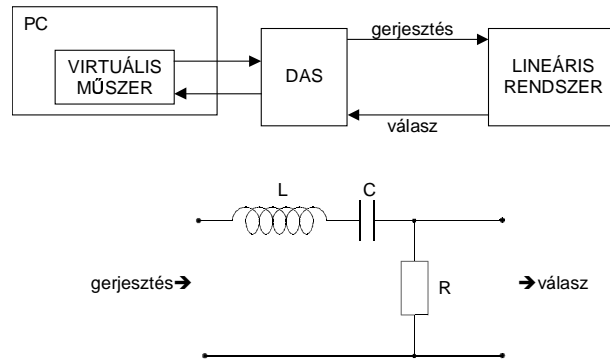
2. ábra. A digitális mérleg két megvalósult változatának fizikai része. Balra: a kölcsönös induktivitás függ a terheléstől. Jobbra: a lézer fényét a lap a terheléstől függő mértékben takarja ki.

Második példa: szűrőkör átviteli függvényének mérése a frekvenciatartományban és az időtartományban

Fizika tanár és fizikus hallgatók számára alapvető laboratóriumi gyakorlati feladat szűrőkörök átviteli függvényének meghatározása. A megoldás hagyományosan az, hogy az áramkört a hallgatók egy változtatható frekvenciájú szinuszgenerátorral gerjesztik, majd az átvitt jel amplitúdóját és fázisát egy oszcilloszkóp képernyőjén olvassák le. Az eredményt azután kézi módszerrel vagy számítógép segítségével ábrázolják. A feladat időigényes, ebben a formában nem automatizálható.

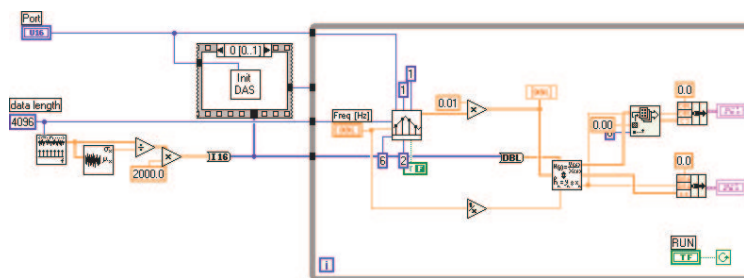
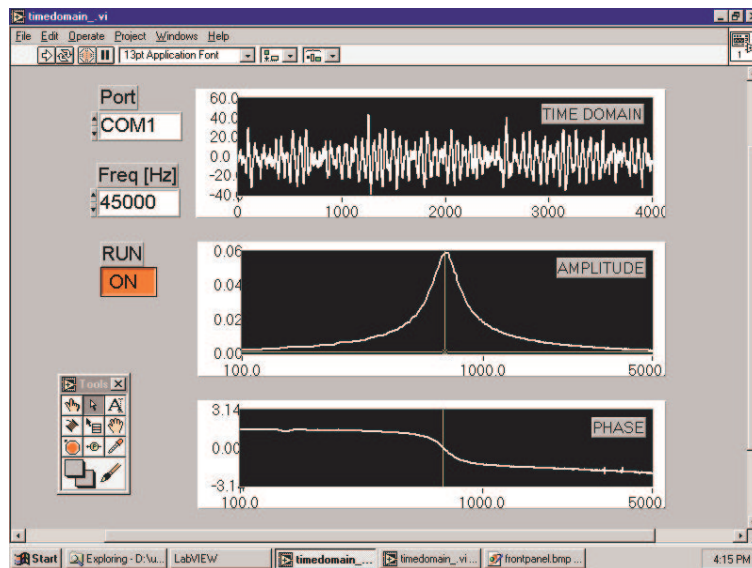
A virtuális műszertechnika lehetőséget ad arra, hogy a mérést első körben legalább automatizáljuk. A DAS1414 programozható feszültségkimenetén megjelenő szinuszosnak programozott jelet a mérendő szűrőkörre kapcsoljuk, majd a válaszjel Fourier-transzformációjával (FFT) azonnal kapjuk a gerjesztőfrekvenciához tartozó amplitúdó- és fázisértékeket. Ezt a mérést előre programozott rend szerint különböző frekvenciákon automatizálva elvégeztetjük. Túl az automatizálás nyújtotta kényelmen,

a digitális mérés technika előnyei azonnal jelentkeznek: a fázistolás sokkal pontosabban mérhető, és a Fourier-transzformáción alapuló amplitúdómérésnek köszönhetően a mérésre rakódó zaj sem játszik számottevő szerepet.



4. ábra. A virtuális műszer a DAS1414 adatgyűjtő egység révén gerjeszti a vizsgálandó rendszert, és a gerjesztéssel szinkronban méri a rendszer válaszát.

A fenti virtuális műszer eddig tehát „nem képes többre”, mint a hagyományos műszerekkel, „kézzel” végzett mérés gyorsabb, pontosabb, a kiértékeléssel jobban integrált kényelmes megvalósítása. Azonban ennél is többre is képes lehet. A DAS programozható jelkimenete ugyanis lehetőséget ad arra, hogy tényleg tetszőleges időbeli lefutású feszültségjelet jelenítsünk meg az áramkör bemeneti sarkain, és a feszültségértékek kiültetésével teljesen szinkronban végezhetjük az időfüggő jel mérését. A különféle frekvenciákat tehát nem szükséges egymás után az áramkörre adni, hiszen egyszerre is lehet. Az átviteli függvényt mérő virtuális műszer másik változata ennek megfelelően egy olyan programozott fehérzajt vezet a vizsgálandó rendszerre, amely a kérdéses tartományba eső valamennyi frekvenciát tartalmazza olyan fázisviszonyok mellett, amelyek lehetővé teszik a maximális teljesítmény betáplálását az áramkörbe anélkül, hogy az időfüggő jelünk kilépne a DAS1414 analóg kimenetének tartományából. A szűrőkörrel visszatérő jel spektruma közvetlenül leírja a vizsgált rendszer átviteli függvényét. Hogy a LabView és a DAS1414 együttesének erejéről benyomást szerezzünk, talán érdemes egy pillantást vetni a virtuális műszer előlapjára és „kapcsolási rajzára” (ez utóbbi, szinte folyamatábra-szerűen, írja le a műszer működését). Talán magyarázat nélkül is szembevetendő a műszer egyszerűsége az összetett feladat ellenére is.



5. ábra. Lineáris rendszer átviteli függvényét mérő virtuális műszer előlapja (fent) és a működését leíró algoritmus (lent). Az előlapon legfelül látható az időfüggő válaszszejel, középen az amplitúdó, alul pedig a fázistolás a frekvencia függvényében. A készülék „kapcsolási rajzának” szembevető egyszerűsége azon alapul, hogy a G nyelv a jelgenerálás és a rendszeranalízis számos eszközét készen kínálja.

A kurzus hatása

Mint ahogy a kurzust a tanszékeinken dolgozó doktoranduszhallgatók is nagy számban látogatják, oktatásunk eredménye máris érezhető az itt működő kutatói laboratóriumokban is. Ők azok, akik a hatékony és kényelmes mérőeszköz-fejlesztés lehetőségein fellelkesülve a hőmérsékletszabályozótól a becsatolórácsos hullámvezető szenzorokat jellemző goniométeren át a fotoakusztikus jeleket mérő lock-in erősítőig máris több fontos virtuális eszközt állítottak üzembe. Az alkalmazások iránti igény egyre bővül, mivel kurzusunk és szemináriumaink révén egyre nyilvánvalóbbá válik tanszékeinken, hogy a virtuális mérés technika alkalmazásával nemcsak a céljainkra megfelelőbb, de a gyári készülékeknél sokkal olcsóbb műszerek kifejlesztésére van lehetőség. Meggyőződésünk, hogy a virtuális mérés technikai kultúra további

terjesztése ezért a kísérleti kutatási tevékenység fenntartása szempontjából is igen fontos.

Ha közeli terveinket tekintjük: tanszékeinken a telekommunikációs szakértő szak mellett az alkalmazott fizikus főiskolai szak számára is megindul a LabView oktatása tantárgyi keretek között. Ezen felül olyan virtuális mérési eszköztár (beleértve az arra alkalmas adatgyűjtő egységet) létrehozásán dolgozunk, amely a középfokú oktatásban is szerepet kap majd, ahol a diáknak még arra is lehetősége nyílik, hogy megnézze, és a saját szemléletének megfelelően alakítsa a mérőeszközé belső szerkezetét. A diákokhoz gyakran közel állnak a könnyed számítógép-alkalmazások, így a manapság meglehetősen népszerűtlen fizika is könnyen vonzóvá tehető. A tanáron általában nagy felelősség nyugszik, de nem kell attól félni, hogy a virtuális műszerekkel végzett kísérletek során a diákból egy a valóságtól elszakadt, „enternyomogató” természetbúvár válik. Sokkal nagyobb veszély ugyanis, ha megbízható és könnyen kezelhető mérőeszközök híján a diákok kimaradnak abból a meghatározó élményből, amit a szépen elvégzett, szemléletes kísérlet jelent.

Közlemények

- [1] Z. Gingl, Z. Kántor, "Intelligent General Purpose Data Acquisition Units for Student Labs". 2nd European Conference on Physics Teaching in Engineering Education, PTEE2000, 14-17 June 2000, Budapest. <http://www.bme.hu/ptee2000/papers/gingl2.pdf>
- [2] Z. Gingl, Z. Kántor, " Virtual Measurement Technology in the Education of Physicists and Communication Engineers". 2nd European Conference on Physics Teaching in Engineering Education, PTEE2000, 14-17 June 2000, Budapest. <http://www.bme.hu/ptee2000/papers/gingl1.pdf>
- [3] Z. Gingl, Z. Kántor, "A virtuális mérés technika gyakorlati alkalmazásai". MTA SZAB Kemometria és Molekulamodellzés Munkabizottsága tudományos ülése. Szeged, 2000. november 15—16.