



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Ötvös Ádám

**TESZTKÖRNYEZET
FEJLESZTÉSE TURBINAVEZÉRLŐ
ÉS MONITOROZÓ RENDSZEREK
MÉRÉSTECHNIKAI
VIZSGÁLATÁRA**

KONZULENSEK

Dr. Sujbert László és Molnár Gábor

BUDAPEST, 2017



SZAKDOLGOZAT-FELADAT

Ötvös Ádám (IP7ML5)
szigorló villamosmérnök hallgató részére

Tesztkörnyezet fejlesztése összetett turbinavezérlő és monitorozó rendszerek mérés technikai vizsgálatára

Az összetett vezérlőrendszerek tesztelése, egy turbina és a hozzá tartozó egyéb berendezések (kompresszor, generátor stb.) működésének szimulálása összetett és bonyolult folyamatok összessége. Az egység tesztelése során minden egyes jeladó és egyéb érzékelő, valamint szenzor által kiadott jelet meg kell vizsgálni, szimulálni kell. Ezt kézi műszerekkel (process calibrator, multimeter), valamint jel- és függvénygenerátor használatával teljesítjük. Ezen eszközök azonban nem alkalmasak minden jeltípus generálására, valamint egyszerre csak egy csatorna kezelésére alkalmasak, így használatuk körülményes.

A hallgató feladata, hogy megvizsgálja, megértse a jelen módszereket. Ismerjen meg egy összetett jelgenerátor-eszközt és tanulja meg annak működését, jelszimuláció szinten. Vizsgálja meg, miként lehet használni egy ilyen eszközt az általános teszt során. Munkája terjedjen ki összetett, eddigi gyakorlat során funkcionálisan nem ellenőrzött jeltípusok működési elvének megértésére, egy adott teszteszközön történő szoftveres implementációjára.

A hallgató feladatának a következőkre kell kiterjednie:

- Különböző jeladók, szenzortípusok, -családok által generált jelek vizsgálata, működési módjának megértése;
- Különböző jelek szimulálására használt eszközök megismerése, működésének megvizsgálása;
- Összetett, egyszerre több jel generálására alkalmas eszköz alapos vizsgálata, szimulációs szoftver készítése.
- Készítsen programot, mely képes olyan szenzorcsaládok jeleinek mérésére és szimulálására, amelynek több be- és kimeneti csatornát használnak!

Tanszéki konzulens: Dr. Sujbert László, docens

Külső konzulens: Molnár Gábor (GE Hungary Kft.)

Budapest, 2017. március 10.

.....
Dr. Dabóczi Tamás
tanszékvezető

Tartalomjegyzék

Kivonat	6
Abstract	7
1 Bevezetés	8
1.1 Feladat értelmezése, elvárás és tervezett megvalósítás	8
2 A megfigyelt környezet és a megfigyelést végző eszközök	10
2.1 A turbina	10
2.1.1 Turbina vezérlés - Szabványok, biztonság	10
2.1.2 Turbina vezérlés - földelés	10
2.1.3 Turbina vezérlés - betáplálás	11
2.1.4 Turbina vezérlés - kommunikáció	11
2.2 Érzékelők és szenzorok	12
2.2.1 Digitális jelek, jelzések	12
2.2.2 Analóg jelek, jelzések	14
2.2.2.1 Hőmérsékletérzékelők	15
2.2.2.2 Rezgésdiagnosztikai és távolságfigyelő szenzorok	16
2.2.2.3 A HART protokollt alkalmazó távadók	17
3 A megfigyelt folyamatok értelmezése, adatok feldolgozása	20
3.1 Jelfeldolgozás	20
3.1.1 FPGA	20
3.1.2 PLC	20
3.1.3 Egyéb áramköri elemek	20
3.1.3.1 Leválasztók	21
3.1.3.2 Túlfeszültség levezető	22
3.1.3.3 HART protokollt alkalmazó eszközök	22
3.1.3.4 Egyéb a jelfeldolgozásban részt nem vevő, de jelalakot befolyásoló eszközök	23
3.1.3.5 További eszközök, melyek az önálló feldolgozásra is képesek	24
3.1.4 További jelfeldolgozó eszközök, rackek	25
3.1.4.1 Bently Nevada 3500 ipari diagnosztikai rendszer	26
3.1.4.2 Promel FGP-05s	28
3.1.5 Különböző jelfeldolgozó rendszerek együttes működése	29
4 Tesztkörnyezet és használt eszközök	30
4.1 Bevezetés	30
4.2 Tesztkörnyezet általános kiépítésének lépesei, formai követelményei	30
4.3 Általános eszközök	30
4.3.1 Multiméter	31
4.3.2 Process calibrator	31
5 Csatornaszimuláció és jelteszt összetett, többszenzoros mérés esetére	33
5.1 Bevezetés	33
5.2 Mérési elrendezés kialakítása, szimuláció	34
5.3 Eredmények értelmezése	50
6 Összefoglalás	51

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Ötvös Ádám, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2017. 05. 19.

.....
Ötvös Ádám

Kivonat

Egy turbina üzembiztos működtetéséhez elengedhetetlen annak állandó megfigyelés alatt tartása, a leghatékonyabb körülmények biztosításán túl, fontos szempont mind az önnön épsége, mind a környezetében dolgozók biztonsága. Összetettebb esetben, a különböző folyamatok egymásra hatása miatt, ilyen vezérlőrendszerek nélkül a turbina beindítása is akadályokba ütközhet, ezért elengedhetetlen annak szabályzása. Egy iparban használt, nagyteljesítményű turbina méretei és összetettsége miatt, a vezérlőrendszerrel külön tesztelhető. Ennek előnyei között említhető, hogy így a szükséges beindítási és lekapcsolási teszteken túl, nem kell feleslegesen terhelni azt. Elképzelhető például a vezérlés oldaláról több tucat olyan kiváltó esemény, melynek hatására a turbinát le kell állítani, figyelembe véve azonban annak idejét, költségeit és magára az eszközre mért káros hatását, ezen kiváltó folyamatok közül a turbina szempontjából elegendő egyet vizsgálni, a vezérlőrendszer szempontjából azonban az összeset, ez okból, ilyen módon fogalmazódott meg a különböző egységek egymástól való elkülönítése gyártási szempontból. A vezérlőrendszerek számára így szükség van egy komplex, a turbinának minden tulajdonságát szimulálni képes eszközre, melynek kialakítása összetett folyamat, elsősorban ismerni kell a turbinának és annak környezetének sajátosságait, valamint az egyes szenzorok, érzékelők tulajdonságait, hogy egy valóban reprezentatív eszköz kiépítésére képesek legyünk.

A vezérlőrendszerek tesztelése során szükség lehet olyan összetett teszteszközre, mely képes szimulálni egyszerre több, egymással összhangban működő rendszerek jeleit, ezzel a szoftveres megoldásnak egyfajta helyettesítő módszerét biztosítva. Ezen felül olyan szenzorcsaládok, mint az úgy nevezett szervó szelepvezérlés és hozzá kapcsolódó lineáris visszajelzés (LVDT) tesztelése nem megoldott, még szoftveres úton sem. Egy rendelkezésre álló, FPGA modulokból felépülő egység programozása jelenthet erre egy megoldást, ennek összekötése a turbina vezérlőrendszerrel, valamint szoftverének átprogramozása és fejlesztése útján.

Abstract

For a turbine to operate safely, it is essential to keep it under constant monitoring, in addition to ensuring the most effective conditions, an important aspect is the safety of the self-employed and those in the environment. In more complex cases, because of the interplay of different processes, without the use of such control systems, the turbine can be blocked, so it is imperative to regulate it. Because of the size and complexity of a highperformance turbine system, it can be tested separately from the control system. Among these advantages is that, in addition to the necessary startup and shutdown tests, it is not necessary to charge it unnecessarily. For example, there may be dozens of triggering events on the control side that need to stop the turbine, taking into account its time, cost, and damage to the device itself, to consider the turbine enough for these triggers, but from the point of view of the control system For all this, for this reason, the separation of the various units from the manufacturing point of view has been formulated. For control systems, therefore, a complex, a device capable of simulating all the properties of a turbine is needed, which is a complex process, first and foremost it is necessary to know the characteristics of the turbine and its environment as well as the properties of each sensor and sensor to be able to build a truly representative device.

Testing of control systems may require a complex test device capable of simulating the signals of several systems that work in harmony with each other in the same time, thus providing a kind of substitute method for the software solution. In addition, sensor families such as so-called servo valve control and associated linear feedback (LVDT) testing are not solved, even on a software basis. Programming an available FPGA module can be a solution, connecting it to the turbine control system, developing and reprogramming its software.

1 Bevezetés

A mai modern termelőipari eszközökben használt összetett rendszerek, berendezések irányítását, vezérlését, szabályzását bonyolult vezérlőrendszerekkel valósítják meg. (Az elnevezés megtévesztő. Valójában azon rendszerek, melyek figyelembe veszik a folyamat aktuális állapotát, azaz visszacsatolással rendelkeznek, nem vezérlést, hanem szabályzást valósítanak meg, az elnevezésük azonban az iparban elterjedt módon megegyezik, így ez alapján nem lehet különbséget tenni.)

Az elterjedt vezérlési és irányítási elvű rendszerek általános esetben nem, vagy csak alrendszerekben használható, hiszen a folyamat megbízhatósága és pontos megfigyelhetősége, monitorozása miatt szükséges a visszajelző egységek használata. Ezen eszközök az egyszerű billenő áramköröktől (pl. relé) (legelterjedtebb a 2 állapotú, de 3 vagy több állapotú is használatos) az összetett nyomásérzékelőkön át egészen a rezgés- és elmozdulás érzékelő szenzorokig állnak széles körben használatban. A vezérlőrendszerek és a vezérelt, szabályozott berendezés az elkészítés, gyártás során gyakran nem áll egy helyen és egy időben rendelkezésre. Ennek oka lehet a különböző egységek más-más gyártótól való megrendelése (egy-egy cég, vállalat már a pusztán méretek miatt is gyakran specializálódik, így pl. turbinák és azok vezérlőegységeinek gyártása rendszerint más-más üzemben történik), vagy az egyes egységek elkészítésének időigénye más és más, esetenként az igen magas teljesítményfelvétel miatt a teljes rendszer üzemszerű tesztelésére csak a végső helyszínen van lehetőség. Ezen feltételek miatt életszerű a vezérlőrendszerek önmagukban történő tesztelése, komplett egységként való kezelése. Így azonban értelemszerűen a szabályozandó berendezés nem áll rendelkezésre, azt helyettesíteni, szimulálni kell. A továbbiakban az eddigi általános megfogalmazás helyett egy konkrét berendezéssel, mint turbinával és az azt szabályzó vezérlőrendszer vizsgálatával szeretnék foglalkozni.

1.1 Feladat értelmezése, elvárás és tervezett megvalósítás

Jelenleg, a vezérlőrendszerek komplex funkcionális tesztelésére szoftveres szimulációk használnak. Ennek egy alternatíváját jelentené, ha minden jel, szenzor és érzékelő fizikai jelenlétét egy összetett eszközzel helyettesítenénk, mely képes reprodukálni azok kimeneti elektromos jeleit, tulajdonságait. Egyes alrendszerek, részegységek egymásra ható jeleket tartalmaznak, vezérlő és visszajelző elemekkel, akár

egy szenzoron belül is. Jelenleg az ilyen típusú elemeket egycsatornás jelgenerátor eszközzel, vagy egymással összefüggésben nem lévő többcsatornás szimulátorral tesztelünk, így azok egymásra való hatása csak szoftveres szimuláció útján ellenőrizhető.

A feladat során megismerendő és elsajátítandó a jelenlegi technika, majd a tapasztalatokat felhasználva, egy többcsatornás szimulátor felhasználása, átalakítása úgy, hogy egymásra ható jelek gerjesztésére is képes legyen. Sikeres feladatvégrehajtás esetén, a tesztfolyamat leírásával segíthető a tesztrészleg munkája, elsődleges cél egy szervó szelep üzemelésének szimulálása.

2 A megfigyelt környezet és a megfigyelést végző eszközök

2.1 A turbina

Szabályozástechnikai szempontból fontos, hogy minden esetben van egy darab forgó tengelye, melynek megfigyelése elengedhetetlen szempont a biztonságos üzemeltetés során. A négy alapegység: kompresszor, égéstér, turbina szekció, kipufogó rész, van forgó (tengely) és állórész (többi). Az üzemeltetés szempontjából fontos a turbinához tartozó szelepek, vezetékek (pl. gáz, olaj) megfigyelése, esetleges üzemzavar esetén közbelépés. Egy végső, teljesen összeszerelt és működő, megvalósított rendszer nagyrészt elképzelhetetlen kiegészítő egységek nélkül, mint például a tűzoltó rendszer vagy kenőolaj rendszer, hőcserélők, hidraulikus indítórendszer.... Ezek a tervezés és gyártás során ugyan külön, független egységet képeznek a turbinától, vezérlés szempontjából működés közben azonban hatnak egymásra, ezért a szabályzást nem érdemes, vagy csak részben hasznos szeparálni.

2.1.1 Turbina vezérlés - Szabványok, biztonság

Fontos figyelembe venni a biztonsági és szabványügyi tényezőket. Elterjedt az ún. SIL (security integrity level) elnevezés, melynek összesen 4 szintje van (4-től 1-ig, 4 a legszigorúbb, legbiztonságosabb, 1 a legkevésbé) és kockázat csökkentő megvalósításokat tartalmaz, melyet elterjedt módon használnak vezérlőrendszerekben (IEC 61508 szabvány). További fontos előírás, a különböző eszközök földelése.

2.1.2 Turbina vezérlés - földelés

Az alapvető érintésvédelmi (PE) és műszerföldelés (FE) megkülönböztetésén túl, találkozhatunk pl. robbanásbiztos (szikramentes) környezet (ISE) megkülönböztetett földelésével, továbbá széles körben elterjedt az ún. törpe feszültségű rendszerek földpontra lekötésére szolgáló (SAE) módszerek megvalósítása. Ezen biztonsági szempontok szem előtt tartásával kell a tervezés során kialakítani a megfelelő monitorozást biztosító érzékelőrendszert. Fontos továbbá a fent említett sínek, vezetők a vezérlőrendszeren belüli megfelelő szegregálása, viszont a funkcionális teszt során, az életvédelmi föld megkülönböztetésén túl jellemzően nem különböztetendő meg a többi földelés kialakítása,

így közös pontra köthetők. Mivel a fizikai rendszer (turbina) nincs jelen, így a vezérlés valójában virtuális és ilyen szempontból nem releváns az effajta elkülönítés (hangsúlyozandó, hogy funkcionális vagy jellegi teszt során jellemző az említett módszer, az eszközök megfelelő földelését ellenőrizni kell egy másik tesztfolyamat során).

2.1.3 Turbina vezérlés - betáplálás

Elengedhetetlen szempont továbbá az eszközök táplálása, mind vezérlő, mind rendszer szinten. Elsődleges szempont, hogy az elsődleges betáplálási pont kiesése miatt, ne keletkezzen üzemzavar. Jellemzően szimmetrikus hálózati meghajtást alkalmaznak. További redundanciai feltételeknek is meg kell felelni, bármely eszköz kiesése esetén a zavartalan működést biztosítani kell. Általános megoldás az eszközök duplikálása és az energia biztosító rendszer redundálása (egy eszközhöz, sínhez több tápegység kapcsolódik). Természetesen egy tervezeten belül mind két eljárás alkalmazható, sőt ezek kombinálása nélkül sok esetben lehetetlen megvalósítani a párhuzamos megtáplálást. Elterjedt megoldás egy tartalék, egyenáramú kör betervezése. Általános esetben, a teljes hálózat kiesés esetén alkalmazható, lokális tápberendezés (nagyreszt akkumulátortelep, esetenként aggregátor) helyezendő el komoly hiba esetére. Ezek néhány órás ellátást képesek biztosítani, ami a biztonságos leállításra elegendő. Megvalósítás függő, hogy ez a redundancia biztosításának egy oldala, vagy csak vész, illetve biztonsági megoldás (azaz ellátja a teljes rendszert, vagy csak a biztonsági funkciókat teljesítő egységeket táplálja meg). Ennek megfelelően, a megtévesztő elnevezések elkerülése érdekében ritkán különböztetünk meg vezérlőrendszereket a betáplálásuk alapján.

2.1.4 Turbina vezérlés - kommunikáció

A vezérlőrendszer szempontjából nagy eltérést nem jelentenek ezek a kiegészítő eszközök, ezért, ha lehet érdemes egy szekcióban megoldani ezen berendezések szabályozását. Természetesen vannak esetek, mikor ez nem lehetséges, vagy nem ésszerű, például vegyünk egy 100 km hosszú gázvezeték, melyben a nyomás egyenletesen tartása érdekében a felénél megszakítunk. Életszerűtlen lenne egymástól 50 km-re lévő turbinát és kompresszort egy pontból vezérelni, sokkal ésszerűbb megoldás egy kommunikációs egység beiktatása, mely pl. modbus vagy internet protokoll fölött továbbítja az információkat, ezzel redukálva a mérési pontatlanság kialakulásának mértékét, nem mellesleg szempont a lefektetendő vezetékek száma (hozzákalkulálva a kompenzáló

elemeket, mind hardveres, mind szoftveres szinten), elvezethetőségének biztosítása, valamint az ár szempontjából sem.

A vezérlőrendszerek további részét a szenzorok és érzékelők jeleinek bevezetése, feldolgozása és arra szolgáló eszközök töltik ki, néhány apró rendszertől (pl. belső hűtés, fűtés vezérlés) eltekintve.

2.2 Érzékelők és szenzorok

Egy folyamat, esemény megfigyelésére, érzékelésére több mód is rendelkezésünkre áll. Lékövethető a vízszint emelkedése pl. egy csengővel, vagy egyéb jelző eszközzel. A mai, modern elektronikus világban azonban gyakran felmerül az igény, hogy valamely folyamatról, eseményről elektronikus visszajelzést kapjunk. Ehhez a megfigyelt folyamatot (a példánál maradva a víz emelkedését) át kell alakítani valamilyen jelátalakítón keresztül egy elektromosan érzékelhető eseménnyé (például egy feszültségimpulzus kiadása, ha a víz eléri a jelzési szintet). Jellemzően két típust különböztethetünk meg, aszerint, hogy valamilyen elektromos jelet szeretnénk (mint egy feszültség szint) egy másik elektromos jellé alakítani (pl. áram, adott esetben akár egy egyszerű ellenállás is lehet az átalakító), vagy más fizikai folyamatot akarunk elektromos jelként viszont látni (mint az iménti példában a vízszint emelkedését egy feszültség szint emelkedéssel is jól lehet szimulálni, érzékeltetni).

A turbinavezérlőrendszerekhez használt szenzorokat két nagy csoportba szokás osztani, az általuk kiadott vagy módosított jel tulajdonságai alapján, digitális és analóg jeleket különböztetünk meg. Természetesen egy-egy eseményről, jelenségről több érzékelő is adhat jelzést (pl.: egy tűzoltó berendezéshez tartozó szelep nyitásáról kaphatunk a szelep nyitottságának megfelelő analóg 4-20mA közötti értéket, továbbá a teljesen – vagy jellemzően 95%-os nyitottságnál- nyitott állapotról szóló digitális – kontaktus alapú- visszajelzés is megszokott).

2.2.1 Digitális jelek, jelzések

Az egyértelműen definiálható eseményekhez, melyek állapota igaz vagy hamis (esetleg téves, hibás) lehet a digitális kapcsolókat jellemzően használni.

A legelterjedtebb, gyakorlatilag minden rendszerben használt kapcsolóüzemű áramkör a relé. Működése szempontjából lehet nyitott vagy zárt állapotú. Fontos megemlíteni, hogy vezérlési szempontból alapesetben zárt vagy nyílt, valamint alapesetben

meghajtott vagy nem meghajtott tulajdonságai lehetnek. A két tulajdonság nem minden esetben állítható, de minden esetben figyelembe kell venni. Például, ha a relé bemenetére rákapcsolom a kellő villamos jelet (feszültséget), akkor meghajtott (elterjedt angol megnevezése az energized – egy relé lehet normaly energized(NE) vagy normaly deenergized (NDE)-) állapotba kerül. Ekkor, ha kimeneti kötés az alap esetben nyitott (rendszerint ez nem kapcsolható, hanem a közös ponton kívül van egy alapesetben zárt, valamint egy alapesetben nyílt -a szakmában elterjedt angol terminológiával normally closed (NC) és normaly opened (NO)- kimeneti csatlakozási pont) és a relé tulajdonsága, hogy alapesetben meghajtott, akkor bontja a kimeneti kontaktust az adott lábai (NO és a közösített pont) között. A kapcsoláshoz kellő feszültség lehet egyen vagy váltó, elterjedt értékei a 24 VDC, 110 VDC, 230 VAC, ám vezérléstechnikai szempontból, a hozzájuk tartozó vezetékek, kábelek más útvonalon való elvezetésén kívül nem érdemes különbséget tenni.

Kis számban használt, de megemlítendő a tranzisztort tartalmazó kapcsolóüzemű áramkör, melynek szivárgási árama egy kellően nagy ellenállású teszteszközzel képes akkora feszültségesést előidézni, hogy az nem érzékeli a kapcsolást. Erre különös tekintettel ügyelni kell, hiszen egy ilyen rendszer mögöttes hálózata meglehetősen nagy terhelést is képes kiszolgálni, így könnyen kárt okozhat. Érdemes ezzel a problémával a tesztkörnyezet kialakítása előtt foglalkozni, hiszen az összeállított rendszerben is rengeteg védelmi eszköz található. Például, egy 110 VDC kapcsolására szolgáló, tranzistoros áramkör 2 mA-es szivárgási árammal áll tesztelés alatt, egy 24 VDC Phoenix Contact gyártmányú PLC-RSC- 24DC/21 – 2966171 típusú tesztelő relével. Meréseim alapján 10 kOhm belső ellenállással rendelkező relé kapcsai közt így 20 VDC feszültség mérhető, ami miatt az úgynevezett meghúzott (meghajtott) állapotból nem tud kilépni. A megoldás egy fele akkora ellenállás párhuzamosan kötése jelentette, valamint egy nagyobb ellenállás (30 kOhm) sorba kötése. A teszt eszköz (Multiméter) felé így egy relével leválasztott kontaktus alapú áramkört kapunk, mely végén a relé képes zárni vagy megszakítani az egyszerű áramkört. A vezérlőrendszer felől továbbá galvanikus leválasztóval védett a túl nagy teljesítmény visszatáplálás ellen, így vált biztonságosan tesztelhetővé ez a szelepnitási parancsot kiadó rendszer. (A valós szelep megvalósítása nem ismert, tesztelés szempontjából nem befolyásoló tényező.)

A hibakeresés szempontjából fontos megemlíteni az úgynevezett áramkör figyelő eszközöket (line-check), melyek képesek megkülönböztetni a kontaktus nyitását az

áramkör szakadásától. Az ilyen fajta visszajelző berendezés jellemzően a biztonsági rendszerekben, mint a tűzoltórendszer található, de máshol is használatos. Különböző módokon képes figyelni az állapotot. Alapesetben, mikor az áramkör egy egyszerű kontaktussal ad jelet, a hardver a két lába közt mérhető feszültségkülönbséget vizsgálja. (Jellemző módon úgy érzékeljük, hogy a vizsgálóáramkör egyik lábára a másikhoz képest 24 VDC-t kapcsolunk. A másik lábón pedig vizsgáljuk a feszültséget, mely egy ellenálláson keresztül a tápegység közös pontjához van kötve. Ha megjelenik 24 VDC vagy - a vezeték ellenállásától függően – egy ahhoz közeli érték, akkor zártnak tekinthető az állapot.) Egy egyszerű hibafigyelő megoldás, ha a vezérlő rendszer felől, áramgenerátor használatával egy előre definiált értéket injektálunk a rendszerbe, a szenzor felé, majd egy előre kalkulált feszültségértéket figyelünk. Ennek a megoldásnak egy állapotfigyelő rendszerben van létjogosultsága, például egy tűzoltórendszer egy tartályának állapotának figyelésére. Ilyen esetben elképzelhető megoldás egy adott ellenállású lámpa. Ilyenkor bizonyos időközönként aktiválva (villogtatva) a lámpát meggyőződhetünk róla, hogy inaktív állapotban is a kötés sérülésmentes. Természetesen aktivizált állapotban a feszültség folyamatosan jelen van, így bármilyen időközönként vizsgálhatjuk (továbbá a lámpa is folyamatosan világít, így vizuálisan is meggyőződhetünk az áramkör működőképességéről). Ennél komplexebb vizsgálati módszer, a szintén leggyakrabban tűzoltó berendezésekben használt 3 állapotú kapcsoló. Az egység képes megkülönböztetni egymástól, a rákapcsolt ellenállás függvényében az állapotokat. Vegyük alapul a GM International gyártmányú D5030D típuscsaládot, melyek a rajtuk keresztül folyó áram monitorozásával képesek megállapítani a terhelés értékét. Ellenállásérzékenységét vegyük úgy, hogy 470 és 2 kOhm között zárt kontaktust, 5 és 17 kOhm közt nyitott kontaktust, 120 kOhm felett szakadást érzékel. Fontos megemlíteni, hogy a megfigyelt áramköri részben forrás nem lehet. A típuscsalád két kimeneti kontaktussal rendelkezik, egyik a megfigyelt állapot függvényében, másik a hiba esetén záródik. Egyes rendszerek, mint például a tűzoltó berendezések gyakran néhány kilométer távolságban követik egymást a vezeték mentén, így egyes egységek igen messzire kerülhetnek a bázisállomásoktól, ezért kiemelten fontos, hogy könnyen diagnosztizálhatók legyenek a hiba megfigyelése szempontjából.

2.2.2 Analóg jelek, jelzések

Sokkal részletesebb, pontosabb állapotvizajelzésre képesek az analóg eszközök, melyek nem csak diszkrét állapotokat képesek megkülönböztetni egymástól, de egy folyamatot is képesek nyomon követni.

2.2.2.1 Hőmérsékletérzékelők

Minden olyan területen, ahol motor üzemel, gáz összenyomása vagy belső égés zajlik, továbbá olyan területeken, ahol surlódás lép fel, a biztonságos üzemeltetés szempontjából elengedhetetlen megfigyelési terület a rendszer hőmérsékletének mérése. Erre két módszer terjedt el az iparban.

Bizonyos anyagok, fémek anyagok sajátossága, hogy a hőmérséklet változásával változik az ellenállásuk is. Ezeknek az az elnevezése az RTD. Igen ritka esetekben ez a változás egy bizonyos tartományban közel lineáris. Az ilyen anyagokat keressük és használjuk fel hőmérsékletmérésre. Az iparban a legelterjedtebb a Pt100 jelzésű, platina huzal, mely sajátossággá, hogy 0 Celsius fokon éppen 100 Ohm ellenállású. Számos egyéb fémek összetétel létezik, de a turbinarendszereknél szinte egyeduralkodó ez a megoldás. Továbbá tesztelési szempontból bármely típusú RTD szenzor helyettesíthető egy változtatható ellenállással (potméter), természetesen figyelembe véve az eszköz teljesítményfelvételi képességét.

Kötési szempontból három eltérő megoldást érdemes megemlíteni. Igen ritka esetekben, igen nagy tűréshatárú eszközökben használható a két vezetékes elrendezés. Ez adja a legpontosabb mérési eredményt, ugyanis az érzékelő hozzávezetései ellenállását nem tudja külön kezelni magától a szenzortól. Jellegi teszt során elterjedt a használata, egyszerűsége miatt. Végző felhasználási területen elvétve található a turbinavezérlőegység belső hőmérsékletének mérése céljából a szekrényen belül, illetve némely eszköz saját belső megfigyelő áramköre tartalmazhat hasonló mérőrendszert.

Az iparban legelterjedtebben használt kivitel a három vezetékes változat. Ebben az elrendezésben a szenzor és a jelfeldolgozó eszköz között három egyforma vezeték kell biztosítani (rendszerint összecsavarva, egy közös csatornában elvezetve, árnyékolással együtt így négy csatlakozási pont van a vezérlőegységnél, három a szenzornál). Az elrendezés pontossága attól függ, hogy a három vezeték hossza és hőmérsékletérzékenysége, valamint az elvezetési útvonala mennyire egyezik meg. Amennyiben maradéktalanul egyforma, úgy a mérés kifogástalanul pontos. A mérés egyszerre vizsgálja az ellenálláson átfolyó áramot és a rajta eső feszültséget. Nagy pontosságú áramgenerátorral tápláljuk az áramkört a vezérlőegység felől (két vezeték), valamint egy ezen felüli vezeték az ellenállás megfelelő végéhez csatlakoztatva

kiszűrhető az egyik hozzávezetésen eső feszültség, mivel azon áram nem folyik. Ebből, nagy pontossággal meg lehet határozni a szenzor ellenállásának nagyságát.

Ritkán alkalmazott, de a felsoroltak közül a legpontosabb eredményt a négy vezetékes elrendezés szolgáltatja. Itt mindkét hozzávezetés ellenállását kiszűri a másik két vezeték, melyeken áram nem folyik. Ennek alkalmazási korlátja elsősorban az árban rejlik, ugyanis a kétvezetékes ellenállásméréshez képest akár kétszerannyi vezetékre is szükség lehet, valamint a három vezetékes eljárás kellően pontos, így csak kivételes esetekben használt (bár az eszközök nagyrésze fel van készítve rá, általában rendelkeznek a szükséges kötési pontokkal).

Érdekes fizikai jelenség, hogy bizonyos fémeket összeérintve, majd az összeérő pontot melegítve a két fém vagy fémes összetétel másik, nem melegített végén feszültségkülönbség jelenik meg. Ezeknek az az elnevezése a TC. Az ilyen célra felhasználható elemek száma meglepően széleskörű. A teljesség igénye nélkül: Nickel, Platinum/rhodium fém párok, Palládium és a többi. A legelterjedtebb típusok a J és K jelöléssel ellátottak. Kettő közti különbség, az összetételben, valamint a hőmérséklet változása révén kiváltott feszültségváltozásban van (J típusú: $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$; K típusú: $41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$). Méréstechnikai szempontból azonban a két szenzorfajta között nincs nagy különbség, mV nagyságrendű feszültségek mérését kell biztosítani (ehhez nagyon pontos műszerek kellenek). Tehát a nullpont, a vezető összetétele és a feszültség/osztás beállításon túl (ezt összetett esetben szoftveresen úton valósítják meg) más különbség a tesztkörnyezet kialakítása során nem tapasztalható. A TC (thermo couple) szenzorok pontossága érdekében szükség van egy referenciapontra (például a Nyugati pályaudvaron korábban egy jeges vizes tartályt használtak erre a célra, így biztosítva az állandó nulla Celsius fokot). Ez a pont az üzembehelyezési helyen kell legyen kialakítva, nem része a vezérlőrendszernek, a teszt során nem használatos.

2.2.2.2 Rezgésdiagnosztikai és távolságfigyelő szenzorok

Talán a legösszetettebb mérési elvű megfigyelőrendszerek azok, melyek a távolságot, valamint egyes elemek mozgását, rezgését figyelik. Egy turbina üzemeltetése során elengedhetetlen, hogy a tengely mozgását irányítás alatt tartsuk, ehhez azonban feltétlen szükségesek ezek a megfigyelőeszközök.

Két nagy családot érdemes megemlíteni, amik az ilyen típusú mozgást monitorozzák, ezek a kapacitást és az induktivitást tartalmazó szenzorok. Ezek nagy

előnye, hogy az erőátviteli rendszer fizikai megbontása nélkül képes megfigyelni azt. Induktív esetben a tengely mágneses tulajdonságait kihasználva, valamint tudva, hogy annak elmozdulása változtatja a tekercs induktivitását (az indukált áram által gerjesztett tér visszahat), vissza tudunk következtetni az elmozdulás mértékére. Kapacitív esetben a tengelyt, mint egy kondenzátor egyik fegyverzete használhatunk fel. Az üzembiztos működést veszélyeztető rezgést kiváltó ok szinte teljes mértékben valamilyen periodikus zavarból ered, így a szenzor jelét visszafejtve, Fourier analizátorral, annak formájára és abból annak okára könnyen következtetni lehet. Miután a vezérlőegység számítógépe(i) képes(ek) visszamenőleg eltávolítani a jelmintákat, amelyek ily formában az üzembelyezés területén, majd az üzemeltetés során rendelkezésre állnak, azokon bármilyen művelet elvégezhető, így teszt oldalról ilyen mérést nem végzünk. Továbbá a rezgés, valamint az elmozdulás önmagában való megfigyelése elégséges ahhoz, hogy a turbina időben történő leállítását biztosítsuk, tehát utólagos hibakeresés alkalmazható és elegendő. Van lehetőség valós idejű analizálásra vagy karbantartás előre jelzésre, de a tesztek során ezt nem alkalmazzuk.

Elvi felépítésében elkülönülnek, de szorosan kapcsolódnak az elmozdulás érzékelő rendszerekhez a gyorsulás és sebességmérő szenzorok.

A szenzorok jelei jellegében nagyon hasonlóak, jellemzően egy néhány V-os eltolt feszültség szintre (offset) egy néhány kHz-es váltakozó amplitúdójú jelet illeszt. A változást a kimeneti feszültség szint eltolásának, frekvenciájának, valamint amplitúdójának módosításával tudja a feldolgozó egységgel a szenzor.

2.2.2.3 A HART protokollt alkalmazó távadók

A távadó egy érzékelő jelét alakítja át, tehát önmagában nem tekinthető szenzornak, azonban a vezérlőrendszer szempontjából lényegtelen, hogy a jelet közvetlen az érzékelőtől, avagy egy közbeiktatott egységtől, jelen esetben távadótól kapják.

A HART egy ipari kommunikációs szabvány, mely az egész ipari világban elterjedt. Az elve, hogy egy forrást nem tartalmazó hálózatot megbontva és kétkapuként rá gondolván, a betáplált áramnak maradéktalanul ki kell folynia, azaz, ha egy áramforrást kapcsolunk rá, annak a jelszintje megmarad a kimeneti ponton.

Az ilyen jellegű eszközök ezt kihasználva, 4-20 mA közötti egyenáramot táplálnak be az áramkörbe, ahol pontosan le tudjuk azt olvasni, majd egy előre definiált skála alapján

megtudjuk a mérési eredményt. Különleges tulajdonság, hogy ez a jel modulálva egy igen nagy frekvenciájú és nagyon kis amplitúdójú váltakozó áramú jellel, további digitális információkat is képes közölni a jeladó, a jelfeldolgozó egységgel (egy igény szerinti szűrővel könnyedén szétválasztható a két jel). Ezzel a rámodulált jellel tudhatjuk például a távadó tulajdonságait, úgy, mint a nevét, állapotát (táplálását tekintve lehet belső táplálás – akkumulátor- vagy kívülről kell neki energiát biztosítani), azonosítóját (általában minden jeladónak külön vezetékei vannak, melyek egy vevőoldali kártya egy előre definiált csatornáját használja, így ez csak egy opció az azonosításra, nem minden esetben ezt használják) és még sok mást. A 4-20 mA-es jel önmagában is alkalmas a megfigyelt folyamat leírására (pl.: 22 mA áramszintet produkálva hibát tud jelezni, szakadás esetén pedig a táplálás hiányában nullát). A ráültetett jel ugyan sok fontos információt tartalmaz, de a nélkül is teljesértékű mérési eredményeket kapunk. A turbina vezérléséhez ezt a jelet nem szokás felhasználni, így tesztelésére sincs szükség, teszteszköz gyártása nem szükséges. Kérésre egy meglévő távadó használható, mellyel a szűrő utáni áramkört, valamint a feldolgozó egység működését lehet ellenőrizni.

A HART protokollt a korábban leírt szenzorokkal is lehet párosítani. Megemlíthető többek között a TC (thermo couple) szenzorok jeleinek átalakítása. Nem ritka, hogy egy motor égéstérközeli mérésit mind a feljebb taglalt feszültség szint változással, mind egy HART protokollt alkalmazó távadóval is eljuttatjuk a jelfeldolgozórendszerhez. Ebben az esetben akár ugyanazon szenzor jelét több csatornán is elérjük.

Nagyon fontos szenzorcsalád a nyomásérzékelők. Többféle kialakítás elképzelhető, gondoljunk például egy vékony, ám erős membránra, melyen két fémlemez található, egyik a legnagyobb megnyúlást fedje le, másik a legkisebbet és legyenek a lehető legkisebbek, így kapva egy viszonyítási pontot, valamint egy harmadik lemezt, mely egy fix ponton áll az előbbiekkal párhuzamosan, a membránnal szemben. Így kialakítható egy kondenzátor, melynek kapacitása a membránt nyomó tömegtől függ. A turbinák, valamint az azt körül hálózó vezetékrendszerek, melyekben folyhat akár olaj, cseppfolyósított gáz vagy tüztöltőfolyadék, HART protokollt alkalmazó nyomásmérő rendszereket alkalmaznak. A jel feldolgozása szempontjából fontos figyelembe venni, hogy az adott szenzor egy vezeték nyomását miként érzékeli. Lehet ugyanis közvetlen monitorozni a folyamatot, vagy egy, két vagy több mérési ponton elhelyezett nyomáskülönbséget figyelő eszköz is használható. Az általuk kiadott jel ugyan alakra hasonló, mivel ugyanazon protokollt

használják, de a rendszer szempontjából az üzembiztos működés teljesítéséhez a jelzési szintek mások a két megfigyelésben.

3 A megfigyelt folyamatok értelmezése, adatok feldolgozása

3.1 Jelfeldolgozás

A megfelelő jelforma kialakításának érdekében ismerni kell a jelfeldolgozó áramkört. A jelfeldolgozó eszköz rengeteg módon a rendelkezésünkre állhat. Gondoljunk például egy elektromos kapásjelzőre, mely a damil gyorsulását érzékeli, dolgozza fel és jelzi vissza egy erősödő berregő hanggal. A vizsgált turbinavezérlő rendszerek ennél összetettebb, valamint maga a feldolgozó egység csak elektromos jelet képes fogadni. A legelterjedtebb ilyen eszközök az FPGA-k és PLC-k.

3.1.1 FPGA

Az FPGA (field-programmable gate array) programozható logikai blokkokból épül fel, melyekkel különböző kombinációs logikától kezdve, flip-flop-okon keresztül teljes memóriablokkokat vagy akár soft-core processzorokat is megvalósíthatunk.

Egyértelmű előnye, hogy az általános felépítése miatt egy bizonyos FPGA típus képes kiszolgálni és feldolgozni egymástól nagy mértékben eltérő be és kimeneti perifériákat.

3.1.2 PLC

A PLC (programmable logic controller) egy programozható logikai egység. A legmeghatározóbb különbség az FPGA-hoz képest, hogy a hardver része nem változtatható. Ezért kevésbé komplex, viszont valamelyest átláthatóbb, jobban dokumentálható az architektúrája.

3.1.3 Egyéb áramköri elemek

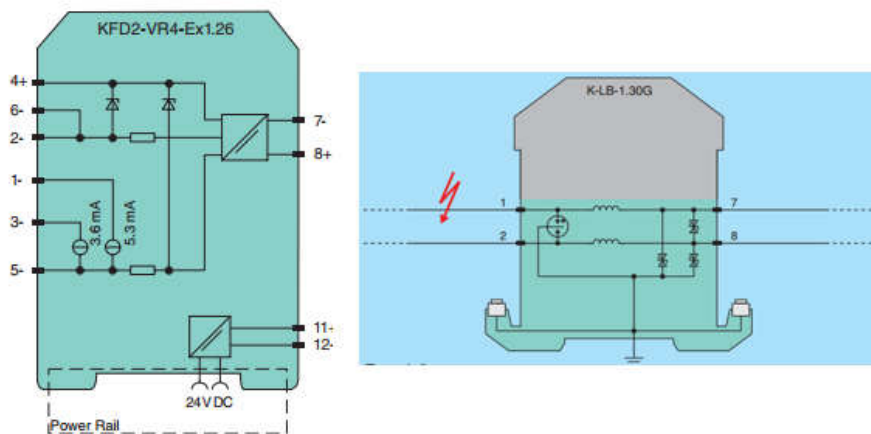
Fontos megemlíteni az áramkör egyéb elemeit, mint a leválasztók, Túlfeszültség levezető, valamint a jelek feldolgozásában is résztvevő egyéb áramköri elemek, mint a HART protokollt használó távadók jelét feldolgozó eszközök, valamint a részben idesorolható egyéb jelfeldolgozó komplex egységeket, melyek általában úgy nevezett rack formában érhető el, melyet magyarul tartó egységnek lehet fordítani. Ilyen egységeket

különleges rendszerekben szokás használni, mint a tűzoltó rendszer irányításában, valamint a vibrációs jelek feldolgozásában.

3.1.3.1 Leválasztók

A leválasztókat az egyes áramköri elemek védelmére használjuk. Ezzel akadályozzuk meg, hogy a forrás oldalon esetlegesen fellépő hiba (például zárlat) miatt a kialakuló megnövekedett áramlási teljesítmény kárt okozzon a rendszerben. Mivel több szenzor jelformája is igen kis teljesítményű, mint például a TC típusú jelek mV-os kimenő jelet produkálnak, így kellően érzékenynek kell lennie a feldolgozó egységnek is, ezért fontos a védelem, mely egyszerűbb esetekben egy olvadó biztosítékkal, összetettebb esetben ilyen leválasztókkal védettek. A teljesség igénye nélkül léteznek galvanikus, repülőkonkondzatoros, LED-es leválasztók, belső felépítésük alapján lehetnek aktív vagy passzív eszközök.

Egy gyakran használt eszköz a Pepperl+Fuchs KFD2-VR4-EX1.26 típuscsalád, mely egyszerre figyel egy csatorna két vezetékének egymáshoz képesti jelszintjét, valamint a jelföldet. Mivel a vizsgált turbinavezérlő rendszerek földfüggetlen betáplálással rendelkeznek, ezért szükséges az utóbbi vizsgálat. Ezt a fajta leválasztót feszültségismétlőnek is nevezik, ugyanis kimenete egy aktív feszültségforrással van meghajtva.



3.1 ábra, feszültségismétlő és túlfeszültség levezető (bal oldalt a terepi, jobb oldalt a vezérlőszekrény felőli biztonságos csatlakozással)

3.1.3.2 Túlvezetés levezető

Elsősorban robbanásbiztos áramkörökben szokás használni, feladata, hogy biztosítsa a szikramentes összeköttetést. Leggyakrabban rezgésdiagnosztikai eszközökben alkalmazott ez a megoldás.

Az 3.1 ábrán jól megfigyelhető a különbség a képen jelölt túlvezetés levezető és leválasztó között. Jól látszik, hogy előbbi kimenetét közvetlen egy aktív elem hajtja meg, valamint szüksége van tápforrásra (egyres túlvezetés levezetőnél is használatos külső táp, de nem jellemző).

3.1.3.3 HART protokollt alkalmazó eszközök

Különleges, ám elterjedt kommunikációs protokoll az úgy nevezett HART protokoll. Az ilyen típusú jelek feldolgozó oldalán gyakran külön csatornán dolgozzuk fel magát az analóg 4-20 mA-es jelet és a rámodulált, magas frekvenciás jelfolyamot.

A jelek szétválasztásának elterjedt módja, hogy egy megfelelő szűrőt használunk, melynek megfelelő hálózati eleméről (jellemzően sorba kötött ellenállás-kondenzátor, úgy nevezett RC tag megfelelő komponenséről) kivezetett kapcsolati pontokon mérjük, olvassuk a távadó adott jelet. A magas frekvenciás rámodulált jel olvasását multiplexelt (időben megosztott) lekérdező egység végzi (ez nem törvényszerű, de ez az elterjedt). Ennek megfelelően tároló, memória egységeknek is kell szerepelnie az áramkörben. Egyes esetekben a teljes lekérdező folyamat időben osztott, és a távadók teljes 4-20 mA és magas frekvenciás, azzal összemodulált jelet multiplexált lekérdező egység végzi, ez azonban igen ritka (inkább jellemző a hasonló analóg jellegű, RTD jeltípust feldolgozó rendszerekre).

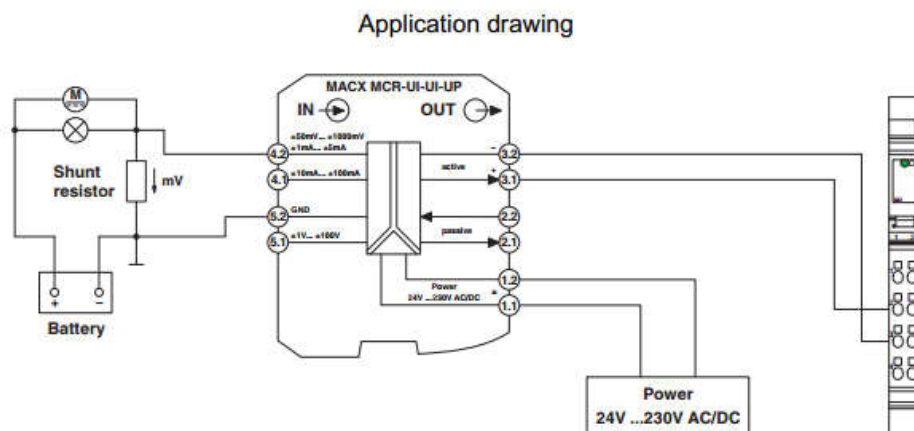
Mivel HART protokollt használó eszközöket is felhasználunk biztonságos, szikramentes környezetben, így a fent említett feszültségismétlő és túlvezetés levezető modulok ebben az esetben is felhasználhatók. Vannak olyan jelszétválasztó rendszerek, melyek önmagukban tudják ezt, ekkor kiemelt szerepe van a jeladó és multiplexer, valamint a multiplexer és a feldolgozó egység közti áramirányoknak. Törekedni kell arra, hogy a jel szétválasztó eszköz, mint egy összeköttetés szerepeljen az áramkörben, azaz úgy kell megtervezni, mintha bemenet közvetlen rá lenne kötve a kimenetre. Fontos megfigyelni a távadó típusát. Abban az esetben, ha rendelkezik saját tápellátással, mint egy áramgenerátor szerepeltethető a sematikus rajzban, ha nem akkor a multiplexer megfelelő részén kell

biztosítani a tápellátást (a fellelhető ilyen eszközök csak kivételes esetben nem tartalmaznak tápforrási csatlakozási lehetőséget). Ez a kialakítás kissé megnehezíti a hibakeresést, hisz a jelforrás nélkül is a jelfeldolgozó egység zárt áramkört érzékelhet. További kérdést vet fel, hogy általában a feldolgozó egység maga is képes kiadni a távadó tápellátását szolgáló feszültséget, így annak bekötésének szükségessége megalapozott, ám megvalósulása tervező és projekt függő.

3.1.3.4 Egyéb a jelfeldolgozásban részt nem vevő, de jelalakot befolyásoló eszközök

Megemlítendő olyan esetek is, mikor egy szenzor egy jelét több, egymástól eltérő architektúrával rendelkező jelfeldolgozó egység is felhasználja. Ilyenkor megoldást jelent a belső hálózaton való kommunikáción túl a jel többszörös felhasználása. Esetenként előfordulhat, hogy ezen perifériák nem képesek ugyanazt a jelet feldolgozni, így jelátalakítót használandó.

Példaként tekinthető az alábbi elrendezés. Tekintsünk egy tengelyt, melyen egy dedikált pontot vagyunk képesek érzékelni, így meg tudjuk számlálni a körül fordulások számát. Ezt a fajta szenzort angol néven keyphaser-ként ismerjük, tulajdonsága, hogy impulzusok kiadásával tudja nyomon követni a fent említett dedikált pontot. Ezen impulzusok számlálásával, majd időbeli elosztásával megkapjuk a forgórész sebességét (a gyakorlatban elterjedt módszer ennek mérése, a jelminta tárolása, majd mikor elég információ – impulzus- összegyűlt, az idővel való leosztás után kapunk pontos eredményt -rendszerint fordulat/perc mértékegységben-). Tekintsünk egy olyan elrendezést, melyben szerepel egy, a fent vázolt szenzor által kibocsátott jelet feldolgozni képes vibrációs jelek feldolgozására alkalmas rack, valamint egy PLC modul. Tételezzük fel, hogy előbbi és utóbbi eszköznek is szüksége van az említett keyphasor jelre, ámde utóbbi csak szinuszos, 1-3 V amplitúdójú, eltolás (offset) nélküli jelet képes feldolgozni. Ehhez szükség van egy átalakító áramkörre. Tekintsünk egy angol nevén signal conditioner-nek (jel átalakító) nevezett eszközt, mely a Phoenix Contact MACX MCR-UI-UI-UP-NC – 2811297 típusszámot viseli, vázlatos képe a 2.ábrán látható. Ezen összetett eszköz a változtatható tápellátásától függően képes a jel erősítésére, jelalak megváltoztatására.



3.2 ábra, MACX kapcsolási rajza

3.1.3.5 További eszközök, melyek az önálló feldolgozásra is képesek

Külön kategóriaként kezelendő az önálló jelfeldolgozásra is alkalmas eszközök. Ezek azon túl, hogy egy előre definiált skálának megfelelően tudják értelmezni a jelet, valamint veszély helyzetre utaló érték esetén képesek figyelmeztető jelzést adni, továbbítani is tudják azt, akár annak paramétereinek (jelalak, protokollok közti konverzió) megváltoztatásával is.

Tekintsük az iménti fejezetben már érintőlegesen tárgyalt vibrációs racket. Vizsgáljunk egy sebességmérő szenzort és a hozzá tartozó feldolgozó modult. Mint azt korábban taglaltam, az ehhez tartozó szenzor egy eltolt, váltakozó frekvenciájú és amplitúdójú jelet bocsát ki. Egy konkrét megvalósítás lehet a rezgésdiagnosztikai jelek feldolgozására specializált Bently Nevada által gyártott rack. Ha jobban szemügyre vesszük a 3500/42M típusú kártyát, felfedezhetők, hogy négy darab, a fent leírt jelalaknak megfelelő csatornát képes kezelni, továbbá minden jelhez képes egy további kimeneti csatornát rendelni, mely a bemeneti jelnek megfelelően, a HART protokollban leírt 4-20 mA-es analóg áramforrást képes meghajtani, vagy a rákapcsolt feszültségforrásnak függvényében belső ellenállását változtatni. (Érdekesség, hogy ez az eszköz jellemzően nem az elterjedt 24 VDC, hanem -10 VDC és a körüli rákapcsolt feszültség hatására képes optimálisan üzemelni - erre mérés pontosság miatt van szükség, ugyanis a tranzisztoros áramkörök csak egy bizonyos tartományban tudják a szükséges torzításmentességet biztosítani, ezért a jelünket ebbe a tartományba kell tolni-) Ezeket a kimeneti egységeket recorder kimeneteknek nevezzük, és ezzel a megoldással egy közvetlen vezetékkel kommunikációs megoldást valósítunk meg. Megemlíteném, hogy a recorder kimenet a

bemeneti zavarokra, például a szenzor és a rack közötti vezetékszakadásra nem reagál, ezt a rack egy másik kommunikációs csatornán képes közölni (egy másik kártyán keresztül, TCP/IP közeli vagy modbus protokoll használatával).

Itt érdemes megemlíteni az öndiagnosztikával rendelkező eszközök hibajelének feldolgozását, ami habár nem egy külső impulzus, de a feldolgozása ugyanazon csatornákon keresztül történik. Az egyszerű hibajelző kontaktusoktól, mint például a kismegszakítók lekapcsolt állapotát jelző hibakör, mely a megemelkedett átfolyó áram miatt leoldó kismegszakító kapcsolásakor aktiválódik, egészen a beépített tápforrást monitorozó, valamint a belső hálózat figyelő eszközökig terjed.

3.1.4 További jelfeldolgozó eszközök, rackek

A korábbi pontokban már megemlített, jelfeldolgozásban résztvevő eszközök az úgy nevezett rackek. Ezek önmagukban is képesek lehetnek teljes értékű szabályzásra, egyszerűbb rendszerekben így is használjuk. A turbinavezérléssel kapcsolatban kettő fajta ilyen rack-et fontos megnevezni, Az egyik a vibrációs, a másik a tűzoltó rendszereket szabályzó egység. Megjegyzendő, hogy funkcionálisan, jelátalakítók használatával ezeket ki lehet váltani megfelelő PLC-k használatával, ám a rendszerek függetlenítése és specializálódása miatt létjogosultságuk megalapozott. Ezen rackek felépítése mindig egy sémára épül, a racken belül úgy nevezett slotok (kártya) helyezkednek el, melyeket a végső felhasználás céljának megfelelően, egyesével kiválaszthatók. Az általános felépítés alapján tartalmaznak egy kommunikációs vagy vezérlő kártyát, mely egy belső sínen vagy buszon képes elérni a többi slotot. Igény esetén ezen felül alkalmazható más kommunikációs csatorna is, például, ha a fent említett kártya az úgy nevezett Ethernet Global Data (EGD) protokollt használja, de egyes további feldolgozó vagy archiváló egységnek szüksége van mondjuk modbus kapcsolatra, vagy egyszerűen a redundáns adatkezelés miatt, alkalmazható egyéb kiegészítő kommunikációs kártya is, a belső sínt ezek a kártyák azonban nem vezérelhetik, csak az adatforgalmat figyelhetik.

Tekintsünk két konkrét eszközt. Az egyik legyen a már említett Bently Nevada 3500 vibrációs rack, továbbá a Promel gyártó FGP-05s típusú fire fighting (tűzoltó) berendezését. (Megemlítendő egy harmadik fajta rack is, melyet a Compressor Controls Corporation készít és kizárólag kompresszor vezérlést hajt végre, ám ezen rackek tesztjét és beállítását kizárólag a cég alkalmazásában álló személy hajthat végre, így ezzel mélyebben foglalkozni nem érdemes).

3.1.4.1 Bently Nevada 3500 ipari diagnosztikai rendszer

A Bently Nevada általános felépítése két tápegységből (redundancia miatt; ezek akár egymástól eltérő mögöttes hálózatról is képesek üzemelni, azaz míg egyiket például egy 24V-os egyenfeszültségű kör táplál, addig másik akár 230 V váltakozó forrásról is képes működni), egy fent említett nélkülözhetetlen kommunikációs kártyából (TDI, azaz transfer data interface megnevezéssel) és tetszőleges további slotokból épülhet fel. Ez az egység az általános kommunikáción túl, hivatott kezelni a beérkező felhasználói parancsokat, mint a rack újraindítása (reset). Bizonyos helyzetekben, elsősorban nem normális üzemi körülmények között, mint például turbina indítás/leállítás, szükség lehet egy olyan jelre, mely hatására a veszélyt jelző áramkörök csak nagyobb deviancia esetén, vagy egyáltalán nem is aktiválódnak. Ez olyan körülmények között képzelhető el, mikor valamely ilyen műveletet működés közben hajtunk végre. Ezt trip multiply névvel illetik és a TDI kártyához kapcsolódik, ez adja ki a veszélyhelyzetet jelző szint megemelését, a további slotoknak. Fontos megemlíteni, hogy ez a két hardveres, vezetékezhető bemenet található rajta (ezeket szoftveresen is lehet aktiválni). Rendelkezik továbbá egy huzalozott relé kimenettel, mely a rack státuszát hivatott reflektálni. Az összes slot, összes aktivizált jelét figyeli és nem megfelelő állapot esetén változtatja kimenetét. Habár állapota változtatható, az alapértelmezett beállítása a rendeltetésszerű működés közben zárt, azaz, ha nyitott állapotot érzékelünk, akkor vagy a TDI kártya érzékelt valamilyen hibát (például, hogy megszűnik a redundáns tápellátás), vagy a vezetéken keresztüli fizikai összeköttetés megszűnt, ami szakadásra utal. Természetesen ezen információkat ki lehet nyerni, ha valamely kommunikációs csatornáján keresztül vizsgáljuk a státuszokat (még többet is), de csak ezen jeleknek van annyira kiemelt szerepük, hogy olvashatóságuk több féle képen is biztosított.

Leggyakrabban ezek után egy, a tengely forgási sebességét monitorozó modult tartalmaz, mely már a korábban említett keyphasor jelet dolgozza fel. Egyéb forgássebesség szenzorok jeleit is képes értelmezni. Ezek leggyakrabban néhány V amplitúdójú tisztán szinuszos, valamint a korábban taglalt impulzus alapú jelalak. Azért kiemelkedően fontos ez a fajta jel szegregációja, mert a többi szenzor jelét ennek megfelelően lehet vizsgálni, ez szolgálhat viszonyítási alapként több jeltípus megfelelő alakjához.

Tekintsük újra a korábban már érintőlegesen vizsgált 3500 42M kártyát. Észrevehető, hogy a szenzorok bemeneti és kimeneti, továbbá a recorder kimeneti csatornákon túl található rajta egy engedélyező (inhibit) bemeneti csatlakozási pont,

mellyel a szenzorok jelét érvényteleníteni lehet, azok feldolgozásra nem kerülnek (habár a szenzor jelét fogadja az eszköz). Ilyen esetre jó példa, a már egy korábbi fejezetben taglalt, olyan forgássebesség jel, mely egyszerre több jelfeldolgozó pontra is rá van kötve. Ilyenkor egy elképzelhető megoldás, hogy a pontosabb mérés érdekében kettő vagy több szenzor jelét használjuk, amik ugyanazt a folyamatot figyelik (a tengely bármely pontján ugyanazt a sebességet kell tudnunk mérni). Ha például egy PLC egységgel figyelem a devianciát, akkor egyazon kialakított logikai vezérléssel irányítható az inhibit jel. A teszt során akár közvetlenül, a sebesség szenzorok jeleinek befolyásolása nélkül vezérelhető ez a jel, sőt, egyéb szenzorok információi is felhasználhatók, vagy több szenzoros mérés esetén, egy esetlegesen rosszul működő (de mérési tartományon belüli jelet adó) érzékelő is kiszűrhető. Természetesen, ha ez az engedélyező jel, figyelmen kívül hagyásra szólít fel, a TDI kártya sem veszi figyelembe az adott szenzorok beolvasott értékeit, nem aktiválja a hibajelző áramköröit. További fontos tulajdonsága, hogy (amennyiben ez elvárt), egy szenzortól (például lineáris gyorsulásmérő) kapott jelformát összeveti a tengely forgássebességével (keyphasor), és ha a kettő összeegyeztethetetlen, nem veszi figyelembe az adott érzékelőtől származó információkat. Az ilyen eljárás alól egyedül a pozíció mérés kivétel, ez esetben csak DC jel áll rendelkezésre.

Egyszerűbb szenzorrendszerek esetén is felmerülhet az igény több, huzalozott hiba, illetve veszélyjelző áramkörre, a TDI kártya által biztosított általános hibakontaktuson felül. Ez relékből álló slottal biztosított, melyek beállíthatók egy vagy több szenzor veszélyhelyzet jelzőjének megfelelően (akár szakadásra is). Ügyelni kell a relék megfelelő meghúztatására, hasonlóan a TDI kártya kimeneti jeléhez. Redundanciai és biztonsági megfontolások miatt általában legalább kettő ilyen kártya alkalmazandó, melynek reléi ugyanazon eseményekre, ugyanúgy reagálnak. Fontos különbség azonban, hogy míg a TDI kártya hibareléje a kiváltó jelenség hatására elműlik, addig a relékártyák beállíthatósága lehetővé teszi azok jelzési állapotának megtartását. Az effajta reléket működést a latch szóval illetik. Ezek mindaddig nem szüntetik meg a figyelmeztető jelzés adását, amíg a kiváltó ok normalizálódása és az egész rackre együttesen vonatkozó reset jel együttes kiadása nem teljesül.

A rack szinte minden esetben tartalmaz további kommunikációs kártyát, mely jellemzően valamilyen másfajta protokollt használ a TDI kártyához képest. Elterjedt ipari kommunikációs protokoll a modbus. A kommunikációs kártya képes beolvasni minden jelhez tartozóan annak értékét, skálájának kiterjedtségét (legkisebb és legnagyobb

felvehető értékét), státuszát (az összeköttetés megfelelőségét – szakadás, illetve rövidzármentességét – valamint aktív veszélyt jelző állapotát), valamint további az állapotát leíró tulajdonságokat, majd ezekhez regisztercímekeket hozzárendelve elérhetővé teszi azt, a külső zavaroktól megfelelően védett, belső hálózaton. A relékártyához hasonlóan, ezt is érdemes duplikálni.

Széleskörben elterjedt, habár az eddig taglaltakhoz képest eltérő felhasználási terület, a hőmérsékletmérés. Ritkább, de jelentős számban használ az ipar Bently Nevada rackeket ilyen célra, és azok elemzésére, vizsgálatára. Hogy minden felmerülő követelményt kielégítsenek alkalmasak kell legyenek kettő, három, valamint négy vezetékes mérésre, valamint tartalmazniuk kell kompenzáló áramköri elemet is. Ebben az esetben azonban gyakran nem közvetlen a turbinát (sőt, attól teljes mértékben eltérő) berendezést, folyamat vizsgálatára használt az eszköz, így nem lehet vibrációról beszélni, nincs szükség forgó, gyorsuló mozgást elemző kártyákra sem, így a kommunikációs kártyán(kon), és veszélyhelyzetet jelző relékártyán(kon) kívül nincs szükség másra.

3.1.4.2 Promel FGP-05s

Egy nagyteljesítményű turbina és annak környezete kiemelt figyelmet érdemel. Vannak azonban olyan területek, melyek ezen túlmenően is biztosítani kell, ilyenek az olyan vészhelyzeteket megfékezni hivatott eszközök, mint a tűzoltó berendezések.

A címben szereplő Promel FGP-05s egy ilyen rack. A vibrációs rackhez hasonlóan, logikai szempontból ennek a működését is ki lehet váltani, de kiemelt kockázati szerepe miatt használata indokolt. Az eszköz a biztonságra való törekvés miatt egyszerűbb, mint a fent leírt egyéb fajta rackek. A tápellátást biztosító, valamint kommunikációs egységen túl, négy fajta kártya szerelhető be, melyek 4-20 mA-es analóg, valamint digitális inputok lehetnek, továbbá digitális kimenetek, amiket ki lehet egészíteni egy relé modullal. Látható tehát, hogy nincs dedikált relé kimenet, a választott relékártya egy csatornáját lehet felhasználni egy általános hibára. Általános bekötési mód, hogy egy adott jelet sorba kötnek több csatormán keresztül, így bármelyik kontaktus megszakadása esetén hibaeseményt lát minden azon a buszon lévő feldolgozóegység, vagy egy parancs kiadására egyszerre több kontaktusnak is záródnia kell, hogy a végcél számára biztosítva legyen a kellő tápellátás.

Legfőbb különbség, hogy míg a Bently rack csak relékimenetivel képes visszahatni a megfigyelt folyamatra, addig a Promel rack egy komplex szabályzást hajt végre, programozásától függően egy analóg kimenet pontosan tud vezérelni egy szelepet,

valamint állapotának megfelelően az egyéb kimeneti jeleit is változtatja, tehát kiegészítő rendszer nélkül is teljes.

3.1.5 Különböző jelfeldolgozó rendszerek együttes működése

Az eddigiekben több, sajátos feldolgozási eljárással rendelkező eszköz került leírásra. Ezek azonban gyakran kell, hogy együtt dolgozzanak, egymás közt információt cseréljenek.

Egy vezérlőszekrény hálózatát két nagy, egymástól függetlenül is működni képes egységre szokás szétbontani, melyek közül az egyik a biztonsági rendszerekre kapcsolódik, másik minden egyébre. A hálózatok, hálózati felépítése azonos, csupán a hozzájuk tartozó jelek forrása különbözteti meg őket. Ezen a szinten biztonsági vagy nem biztonsági vezérlőegységekkel tudunk kommunikálni, felépítéstől függően részenként akár többel is. Ez a redundancia miatt, továbbá az elterjedt R-S-T felbontás miatt alakulhat ki. A vezérlőszekrény belső hálózatára, valamint az egyes benne talált eszközökre, ezen vezérlőegységen keresztül lehet csatlakozni, programozása itt érhető el.

4 Tesztkörnyezet és használt eszközök

4.1 Bevezetés

A vezérlőrendszer tesztelése során minden egyes szenzor, érzékelő, relé, kapcsoló és egyéb be és kimeneti eszköz csatornát ellenőrizni kell. Ehhez szimulálni kell a teljes mögöttes rendszert. Mivel a fizikai összeköttetésen túl, funkcionálisan is ellenőrizni kell a jeleket és hatásukat, a szenzorok jeleit pontosan kell szimulálni, gyakran egyszerre többet, vagy akár egy-egy csoporthoz tartozóan az összest.

4.2 Tesztkörnyezet általános kiépítésének lépesei, formai követelményei

Egy turbinavezérlőrendszer első felkapcsolása előtt meg kell győződni annak biztonságosságáról. Ehhez egy többlépéses, összetett ellenőrzőlista áll használatban, melynek pontjai a teljesség igénye nélkül kiterjednek a különböző földelések (PE, FE stb.) egymástól való elszigetelésének vizsgálatára, valamint az egymáshoz kapcsolódó földelések folyamatosságának ellenőrzésére (különös tekintettel az érintésvédelmi előírásokra). A rendszer kialakítása szempontjából, a betáplálási pontok után a feszültséget buszbárokra vezeti, ahonnan további megszakító(k)on keresztül érjük el az egyes eszközöket. Habár minden betáplálási ponton tervezendő megszakító áramkör, melynek feladata a túláram védelem, mégsem érdemes csak ezekre hagyatkozni, felkapcsolás előtt legalább a táplálni kívánt eszközöket ellenőrizni kell a betáplálási összeköttetéseket.

Ezek után, a hozzáférhetőség és botlásveszélyt figyelembe véve alakítandó ki az összeköttetés a tápellátó szekrény és a turbinavezérlőrendszer között. Egy működő megoldás, a szekrények, valamint a tesztkörnyezet megemelése, felszedhető álpadlóra emelése. (A vezérlőszekrények kialakítása szempontjából előnyös ilyen szempontból, azok emeltsége miatt – többek között mechanikai, földrengésvédelmi megoldások-.)

4.3 Általános eszközök

Annak ellenére, hogy mennyire összetett rendszerről van szó, mikor egy turbinavezérlőrendszerrel beszélünk, a szenzorok jeleinek döntő többségét könnyű szimulálni, az információk közel fele valamilyen kontaktus alapú jelzés, amit nagyrészt egyszerű rövidzárral lehet aktiválni, másik nagy csoportját pedig akár megfelelő

ellenállással. Ily módon érdemes röviden bemutatni két könnyen használható összetett eszközt, a multimétert és a process calibrator-t.

4.3.1 Multiméter

A multiméter talán a villamosságban legelterjedtebben használt műszer. Általános funkciói, mint a feszültség-, valamint árammérés, továbbá ellenállás és folytonosság figyelő tulajdonsága és méreti előnyei miatt közel nélkülözhetetlen.

Fontos tulajdonsága, hogy feszültség mérési tartománya, összeegyeztethető a turbinavezérlő jelszintjeivel. (Az árammérés esetén előre elkészített kalkulációk alapján legrosszabb eset - worst case – méretezés van érvényben, ennek megfelelően használunk kismegszakítókat, olvadó biztosítékokat, így a valódi árammérésnek kisebb a jelentősége, amennyiben a táplálási feszültség megfelelő.)

4.3.2 Process calibrator

A process calibrator egy, az iparban használt olyan műszer, mely azon túl, hogy alacsony feszültségű és áramú jelek mérésére képes, egyszerűbb jelalakok szimulációját is végre tudja hajtani. Áram- és feszültséggenerátort, valamint változtatható ellenállást képes a kimeneteire kapcsolni.

Könnyű és praktikus a használata, mivel azontúl, hogy a kimeneteit potméterként lehet használni, az átfolyó áram alapján képes változtatni azt, így szimulálva egy, a feldolgozó egység felől tápellátást igénylő távadót.

A multiméter, valamint a process calibrator használatával a jelek körülbelül 80 százalékát tesztelni tudjuk. Előnyük, hogy a mérés technikában elterjedt eszközök, rengetek módszer, eljárás foglalkozik a műszerek kialakításával, továbbá kalibrációjával. Hátrányuk azonban az, hogy egy adott időben, csak egy csatornára képesek csatlakozni, valamint érzékenyek a nagy átfolyó áramra, magas frekvenciára (kiváltképp a process calibrator, típus függően 100 mA feletti lekérdezőáram hatására, a belső védelmi egység letiltja a kimenetet; további érdekesség, hogy multiplexelt lekérdező egység esetén, a feszültség hirtelen ugrásai miatt, egy bizonyos ilyen váltássebesség felett, a process calibrator nem képes azt követni, így pontatlan lesz értéke – ez jellemzően RTD jeleknél fordulhat elő-).

Általában egy kalibrátor képes szimulálni és mérni az elterjedt fajta, összetételű TC, kettő, három, négy vezetékes RTD, nyomás (PSI) szenzorok jeleit. Képes továbbá egy

váltakozó, 5-10 V amplitúdójú tisztán szinuszos jelet kiadni, akár több kHz-es frekvencián is. Ez azonban összetettebb jelek szimulálására nem elegendő, egy gyorsulásmérő szenzor jele például már nem, vagy csak körülményesen (ha ezt, mint egy váltakozó forrást, sorba kötünk egy másik, egyen feszültségű forrással, mint eltolás, akkor a kialakuló jelalakokkal képesek vagyunk elérni a kívánt jelet, ám a kalibrátor esetleges belső földje és a maximális teljesítmény korlátozása miatt igen szűk a szimulálható jeltartomány). Esetenként a korábban taglalt jelalakot is befolyásolni, módosítani képes egyéb áramköri elemekkel lehetséges bővíteni a szimulálható jelek listáját. Ezen felül más jellegű, például impulzusokat feldolgozó egység bemenetének helyes jelformával való megtáplálására alkalmatlan.

Ennek okán használatos egy kevésbé specifikus, de szélesebb spektrumú jelgenerálásra alkalmas eszköz, a függvénygenerátor. Ez az eszköz, főleg a vibráció szenzorok jelének szimulálására használatos. A process calibratorokhoz képest, képes kiadni magasabb frekvenciát, négyszögjelet (melynek kitöltési tényezőjének és középszintjének eltolásával impulzusokat alakíthatunk ki, mellyel a keyphasor szenzor jele helyettesíthető), ezzel lefedve a maradék jelek nagyrészét. Ha a fejezetben taglalt eszközök sorát kibővítjük egy állítható ellenállással (potméter), melynek értékét nem befolyásolja sem az átfolyó áram nagysága, sem a multiplixeltsége, akkor könnyen kalibrálható eszközökkel a jelek túlnyomó részét szimulálni tudjuk.

5 Csatornaszimuláció és jelteszt összetett, többszenzoros mérés esetére

5.1 Bevezetés

A különböző érzékelők, szenzorok jeleinek szimulációja történhet egyesével, amikor egy időben csak egy jelet vizsgálunk, jelcsoportokban vagy akár kiterjesztve a vezérlőegységre, mindent azonos időben tesztelve.

Az eddig taglalt eszközök használatával ugyan képesek vagyunk elvégezni a teljes tesztet (csak kivételes, ritka szenzorok esetében nem, ilyenkor rendszerint csak a bekötés pontosságát ellenőrizzük, a funkcionális tesztre az érzékelő jelenlétében kerülhet sor), ámde mindegyik eszköz egyszerre csak igen ritkán képes több csatorna jelét szimulálni. Ennek érdekében, amennyiben annak időigényessége kifizetődő (egy ilyen rendszer felállításának és összekötésének ideje néhány naptól, akár egy hétig is tarthat, kisebb projektek, egységek, például egy önálló rezgésdiagnosztikai rack tesztelésére irracionális), összetett jelszimuláló rendszert alkalmazunk. A jelfeldolgozó egységek gyakori tulajdonsága, hogy az egyes egységek (kártyák) rendelkeznek ki- és bemeneti csatornákkal, mely egy adott jeltípus esetén formailag meg kell egyezzen. Ebből adódóan, ha két azonos típusú ilyen kártyát egymással összekötünk, oly módon, hogy egyik, dedikált kimeneti csatornája a másik, szintén dedikált kimeneti csatornájára csatlakoztatunk, akkor képesek vagyunk szimulálni az adott szenzort. Mivel egy ilyen kártyának jellemzően több tucat, a konfigurációban használt (ezért tesztelendő) csatornája van, hasznos lehet ez az elképzelés. Figyelembe kell azonban venni, hogy ily módon tulajdonképpen egy tükör vezérlőrendszert hozunk létre, annak minden tulajdonságával, így gondolni kell annak összetettségére (ugyanolyan hálózati és vezérlési eszközök telepítése), méreteire (a vezérlőrendszer fizikai méretén túl, a melegedés is fontos szempont), tápellátására, valamint az beépített eszközökből adódóan az árra is. Ez az oka annak, hogy mindkét tesztelési módszer létjogosult.

Megemlítendő, hogy egyes alrendszereket gyártó cégek, a tesztelésre is kidolgoztak különböző eljárásokat. Jellemzően a vibrációs rack-ekhez készül szimuláló eszköz, mely sokszor kalibrált, kifejezetten azt a célt szolgálja, hogy az adott berendezést teszteljük (másra ritkán alkalmas).

5.2 Mérési elrendezés kialakítása, szimuláció

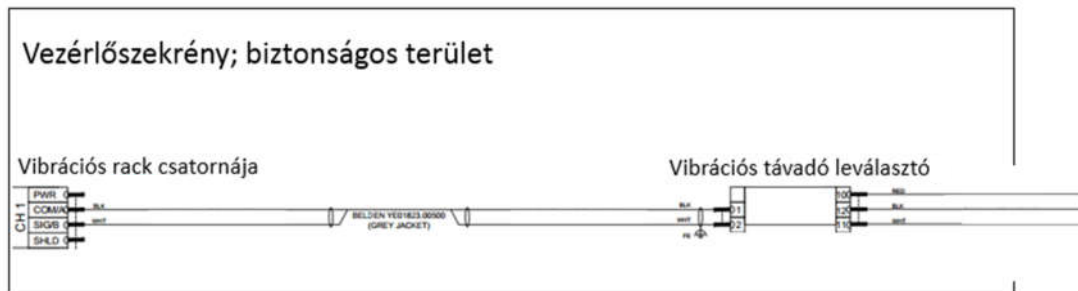
A mérés célja, hogy a végső felhasználó, vevő felé bebizonyítsuk a tervezett áramkör, megvalósítások, valamint a beépített eszközök megfelelő működését. Ennek feltétele, hogy egy előre meghatározott pontosságú mérési eredményt kapjunk. A betáplált jelnek megfelelő mérési értékhez képest, a feldolgozási oldalon a szenzor teljes mérési tartományának 1-3 százaléknyi eltérés megengedhető (ez érzékelő és kivitelezés függő, akár szenzoronként is változhat).

Első lépésben felkapcsoltam a vezérlőrendszert, mely szekrény kialakítású, első és hátsó ajtaja van, egy szekciós. Ehhez a gyártó részlegtől való átvétel után alapos vizuális és műszeres ellenőrzés szükséges, mellyel megállapítottam, a vezérlőrendszer tartalmaz minden előírt eszközt (hozzátartozó tervezési és bekötési, valamint külső rajzok, dokumentumok alapján), a betáplálási kör hiánytalanságát és logikus összeköttetését. Miután ennek megfelelt a szekrény, a betáplálási valamint a földelési pontokat vizsgáltam meg. Az elrendezés három ponton kapcsolódik a hálózatra, melyek mindegyike 230 VAC feszültséget igényel. A felvett teljesítmény előzetesen számított értéke alapján, négy négyzetmilliméter átmérőjű vezetékkel kötöttem össze a konverziós szekrényvel (mivel a tervekben is egy darab vezetékpár csatlakozik a táppontokra, melyek keresztmetszete nem nagyobb az általam használt vezetékkel, így külön erre vonatkozó számítást nem végeztem, továbbá minden ághoz 16 A maximális áram átfolyását engedő kismegszakító tartozik, míg a konverziós szekrényben 20 A értékű, így a külső betáplálás megfelelő). A földelést (külön ellenőrizve a biztonsági, valamint a műszerföld folytonosságát – ezt a műveletet a szekrény összeszerelése során is el kell végezni, ahol előírt időtartamon át kell vizsgálni az egyes elemek átütőszilárdságát és ellenállását, de a felkapcsolást végző személynek is meg kell győződnie a kötések minőségéről -) egy tizenhat négyzetmilliméter vastag földelővezetékkel csatlakoztattam a mérőhely EPH pontjához.

A betáplálási pontok és a hozzájuk tartozó megszakítók között, egy 40 °C mellett 20 amperes aluláteresztő szűrő került beszerelésre, melyet kifejezetten 250 VAC és 50-60 Hz jelek áteresztése terveztek (érintésvédelmi szempontból fontos, hogy minden eszköznek a megfelelő IP szabvány álltati védettséggel kell rendelkeznie, ha ez nem teljesül önmagában az eszközön, úgy hozzáférhetetlenné kell tenni, mint például plexivel körül kell venni azt).

A szekrény három betáplálási pontja közül kettő a redundáns működés biztosításáért, harmadik a kiegészítő (utility) rendszerért felelős, mely ellát egy szerviz hálózati csatlakozót, valamint a beépített háromkapcsolású lámpákat.

A fő és melléktápkörre kismegszakítókön keresztül kapcsolódnak a meghajtani kívánt eszközök. Az általam tesztelt szekrényben körönként hat ilyen eszköz üzemel, szimmetrikusan táplálva a két egyenértékű sínről. A vezérlőrendszer két rezgésdiagnosztikai racket tartalmaz, melyek önmagukban is redundánsak (kettő-kettő tápegységgel vannak felszerelve, melyeket külön táplálunk), így minden sínről, minden rack meg van táplálva (így sinenként kettő kismegszakítón keresztül kapcsolódik hozzájuk). A rendszer egy pumpa és egy motor működését monitorozza, szeizmikus és úgy nevezett proximitor (olyan rendszer, mely kimeneti feszültségét változtatja egyenes arányban a próbafej és a vizsgált konduktív felület közti távolsággal, és képes mind a sztatikus – pozíció - mind a dinamikus – vibráció - értékeket mérni) szenzorok jelének feldolgozásával. Ezen jelek mindegyike egy-egy vibrációs távadó leválasztón keresztül kapcsolódik, az 5.1 számozású ábra szerint.

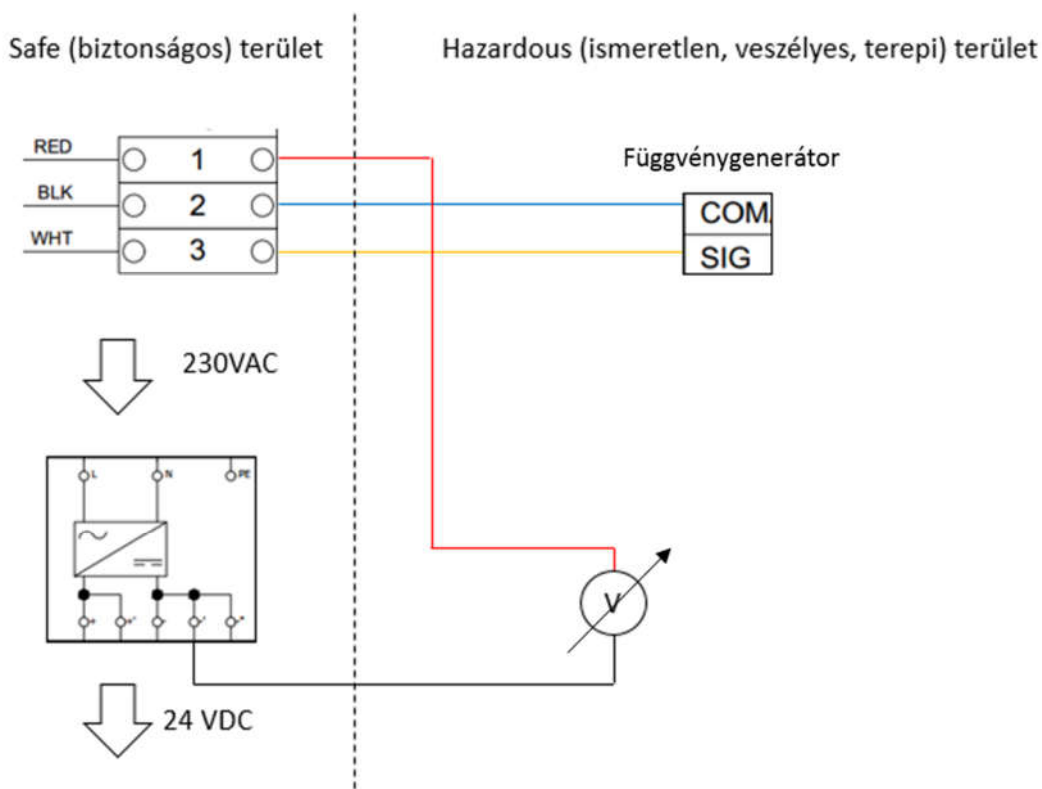


5.1 ábra, egy proximitor / szeizmikus szenzor jelének feldolgozó egységének bekötési sémája

Jól látszik, hogy a leválasztóig kettő, onnantól három vezetékes az elrendezés, valamint, hogy a rack jel (sig) és közös (com) pontjára csatlakozik. Ebből arra következtettem, hogy a távadó számára, a leválasztó biztosít tápot, ha szükség van rá. A végső kivitelezés nem ismert, valamint az eredeti tervekhez képest változhat, ezért saját tápegységgel rendelkező távadónak is kiépítésre kerül a szekrényből való táplálás lehetősége. Ezeknek az eszközöknek 24 VDC tápellátást kell biztosítani, azaz a leválasztók táplálását meg kell oldani. Ehhez mindkét energia ellátó sínről egy-egy kismegszakítón keresztül egy-egy 24 VDC tápegységet hajtunk meg, majd kimenetüket összekötvé egy diódán juttatjuk a kellő feszültség a leválasztókhoz. A síneken helyet kapott továbbá egy-egy, a szekrény hűtését biztosító ventilátor tápellátását biztosító áramkör, kettő kimenettel

nem rendelkező (úgy nevezett spare – későbbi felhasználásra vagy pótlásra szánt anyag-), továbbá olvadóbiztosítékokon keresztül három feszültségfigyelő relé.

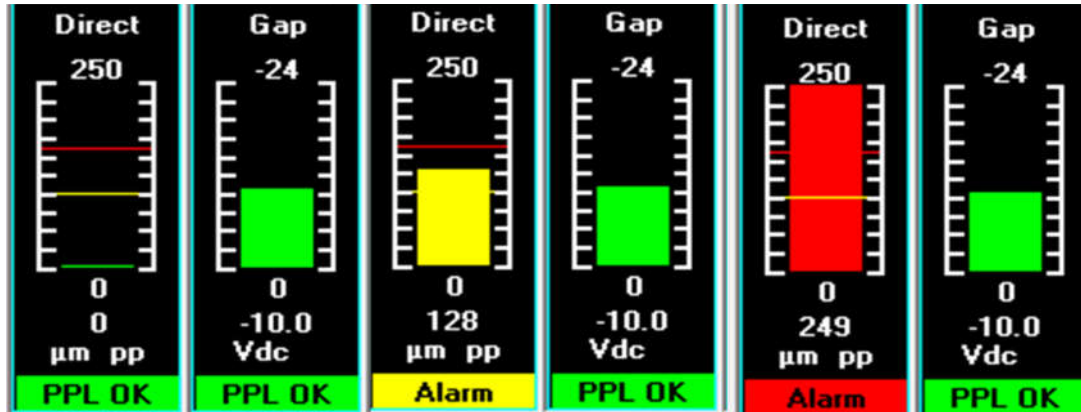
A rack csatornáinak tesztelésére függvénygenerátort, valamint multimétert használtam. A szenzorokat megvizsgálva, úgy döntöttem, hogy 10VDC eltolású és 5 kHz frekvenciájú szinuszos jelet állítok be, ügyelve arra, hogy 5.1 ábrán látható bekötésen, a rack és a leválasztó között futó fekete (com, azaz közös pont) vezetékhez képest a fehér (sig, azaz jel) vezetéken alacsonyabb feszültség szintnek kell megjelennie, azaz a com a sig ponthoz képest 10 Volttal magasabb potenciálon kell legyen. Ezt figyelembe véve alakítottam ki a mérési elrendezést, az 5.2 ábrán látható módon



5.2 ábra, az összeállított mérés sematikus felépítése

A feldolgozó egység és a terepi eszköz vizsgálata során megállapítottam, hogy az amplitúdófüggő, mégpedig 200 mV/mil (1 mil = 0,0254 milliméter). A szenzor a vibráció mértékét méri. Az előírt jelzési szintek 102 mikrométer csúcstól csúcsig (a gyakorlatban használt, angol terminológia a peak to peak – rövidítve pp-) figyelmeztető, 163 mikrométer pp, maximális értéke 250 mikrométer pp. Ezeket figyelembe véve, először csak egyen, majd 1, végül 1,97 V effektív értékű szinuszos jelet állítottam be, melyeket átszámítva 0, 127 és 250 μm pp, vagy attól legfeljebb 1 százalékban eltérő (2,5 μm) mérési eredményt

kell kapjunk. A mérési eredmények az 5.3 ábrán feltüntetett grafikonról leolvasva 0, 128, valamint 249. Ennek kvantáltságát figyelembe véve megállapítottam, hogy 7,91 (kerekítve 8) mV eltérést képes a feldolgozó egység látszólag megkülönböztetni.



5.3 ábra, egy szimuláció eredményei; balról jobbra: 0, 127 és 250 μm pp analóg mért érték átszámítva, valamint az aktuális eltolási feszültség értéke

Ezt az eredményt azonban csak a TDI kártya kommunikációján keresztül olvastam ki, ennél pontosabb eredmény kaptam, amikor egy másik kommunikációs csatornán, Ethernet feletti modbus protokollt használó eszközön keresztül értem el az értékeket. Mivel mindkét kártya Ethernet felett kommunikál, így különböző IP (Internet Protocol) címet rendelve hozzájuk, közös hálózatra kötöttem, így egyszerre vizsgálhattam az értékeket. A slot duplaszó hosszúságú (16 bit) regisztereket használ, ami azt jelenti, hogy 65536 féle különböző bináris értéket lehet rajta tárolni. Egy ilyen regiszterhez hozzárendeltem a vizsgált csatornát, ami a működési tartományon belüli értékeket osztja fel egyenletesen az adott jelhez megfelelően (itt: 0 μm pp megfeleltethető a 0 értéknek, 250 μm pp pedig 65535 értéknek). Fontos, hogy habár kívülről a TDI kártya csak viszonylag durva felbontása érhető el, azon keresztül viszont, a racken belüli architektúra lehetővé teszi, hogy a pontosabb értéket lássa a másik kommunikációs kártya. Ennek felbontása azonban olyannyira magas, hogy a generátorral nem lehetséges egy lépésközt szimulálni, multiméterrel mérni. A kialakítás előnye, hogy egy jel státuszait egy-egy dedikált biten is képesek vagyunk tárolni, azt jelezni. Ebben az esetben, az ehhez a jelhez tartozó értékeket az alábbi módon alakítottam ki. Magát az értéket a 45018 sorozatszámmal ellátott regiszterhez kötöttem, státuszai regisztercíme 45030; hozzárendeltem továbbá a 45022 címhez a jelfeldolgozó kártyán tárolt figyelmeztető értéket, valamint a veszélyt jelző szintet a 45026 sorszámú címhez. A beolvasáshoz egy modbus szkennel programot használtam, az eredményeket az 5.4 ábrán tettem elérhetővé. Az ábrán bináris számrendszer látható.

```
45018: <0000000001011000>  
45019: <0000000010100101>  
45020: <0000000010110001>  
45021: <0000000010001011>  
45022: <0110011001100110>  
45023: <0110011001100110>  
45024: <0110011001100110>  
45025: <0110011001100110>  
45026: <1010001111011110>  
45027: <1010001111011110>  
45028: <1010001111011110>  
45029: <1010001111011110>  
45030: <0000000000000000>
```

5.4 ábra, vibrációs rack memóriacímeinek olvasása

Könnyen észrevehető, hogy több azonos sort tartalmaz, ez azért van, mert egy folyamatot, eseményt több szenzor figyel, valamint egy elrendezés, megvalósítás több pontján is meg kell felelni a működési és biztonsági előírásoknak. Ezért az azonos funkcionális csoportokhoz tartozó szintjelző értékeket egymás utáni címekre helyeztem. A kialakítás érdekessége, hogy 8 biten tárolja az értéket, majd azt megismételi, így alakítja ki a duplaszavas memória egységet. Megfigyelve a 45018 címet, az érték decimális számrendszerre átszámítva 88. Figyelembe véve a teljes felbontást, átszámítva ez az érték körülbelül 0.36 μm pp, melyet lefele kerekítve megkapjuk a TDI kártyáról leolvasott 0 μm pp értéket, azaz az eredetileg várt értékhatárok közötti eredményt kaptam. Megfigyelhető, hogy az utolsó feltüntetett regiszter értéke 0. A szenzor szimulált jelének változtatásával itt a megfelelő bit billent, ezzel ellenőriztem a kártya működését. Megemlítendő, hogy ez a kialakítás nem a végleges, a regisztereket itt csak véletlenszerűen választottam a tesztelés idejére. A regiszterek kiosztásának és dedikálásának dokumentálása rendszerint az előzetes egyeztetések során megtörténik, ritka eset amikor ez nem áll rendelkezésre (ebben az esetben a kommunikációs lehetőség utólagos betervezése miatt alakult így).

Az egyes proximotor és szeizmikus slotok csatornái általában több bemenettel rendelkeznek, melyek összeköttetésben állnak egymással. Ebben az esetben a jelek sorkapcsokon voltak bevezetve az egyes csatornában, de BNC csatlakozóval is rendelkeztek. Ezen mérve a feszültséget, a kapott értékeknek megfelelő eredményt kaptam (mivel a mért eredmények az 1 százalékos hibahatáron belül voltak, ezért tovább nem vizsgáloztam, de érdekesnek találom, hogy a második mérés során kissé nagyobb, a harmadik esetben viszont kevéssel kisebb értéket kaptam, véleményem szerint ennek oka

a köztes leválasztó karakterisztikája). Mivel a tervezett rendszerben nem szerepel relékártya, sem egymásra ható jelek, így ennek a jelnek a tesztjét befejezettek tekintem.

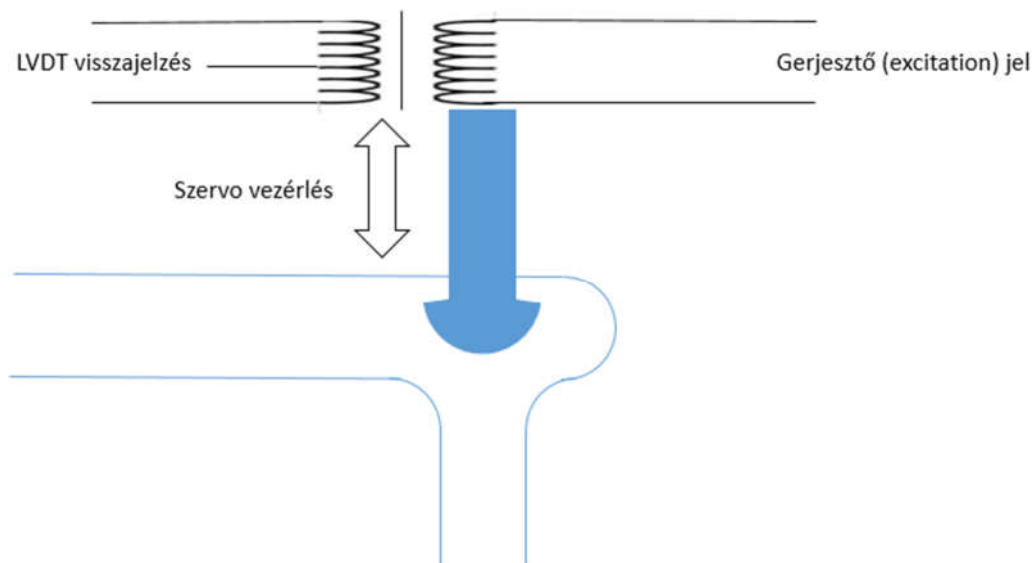
A vibrációs rackhez készült, a gyártó által biztosított szimulációs berendezést használtam a továbbiakban, mely egyszerre akár 52 bemeneti csatorna jelét képes biztosítani, ám nem kalibrált, ezért a kimenetét a mérés előtt és közben is ellenőrizni kell. Mivel a mögöttes hálózat lekapcsolása után, a szimulációs berendezés és a mérőeszköz közti vezetékek hatása, a rajtuk folyó elenyésző áram miatt, figyelmen kívül hagyható, így a kimeneti érték mérhető. A mérés további menete a fent taglalt módon történt.

A szekrényben található egyéb ellenőrizendő csatornák belső jelek, melyek többek közt a ventilátor működésének hibáját, a szekrény túl magas hőmérsékletét, a betáplálási feszültség szintek helyességét, a használt kismegszakítók leoldásmentességét, továbbá a rackek jeleinek szakadás, illetve rövidzárlatosságát vizsgálják. Ezen jelek, a felsorolt eszközökön vagy ahhoz tartozó belső szenzorokon (mint termosztát, levegő áramlás mérő érzékelő) található kontaktus vagy relékimenet hivatott a rendellenes üzemelést jelezni. Ezek előidézése esetenként nehézkes, például egy helységet felfűteni, azért, hogy a termosztát kapcsolási pontját ellenőrizzük nem életszerű. Ez helyett, mivel az eszköz funkcionális működését kell tesztelnem, az aktiválóértéket változtattam (célszerűen csökkentem), amivel a jelzést aktiváltam, és multiméterrel, szakadásállásban mérve működését ellenőriztem.

Az eddigi vizsgálataim, egy vibrációs rack jeleinek szimulálásáig terjedt, amivel a rack saját kommunikációs protokollját használtam, az eredményeket azon keresztül értem el. Egy összetett rendszerben ez csak egy kisebb egység, ámde kisebb feladatokat önállóan is képes ellátni, egymagában is megállja a helyét az iparban.

Egy kevésbé specifikus tesztkörnyezet kialakítási felfogás, hogy a feldolgozó egység mintájára, ugyanolyan jelet kezelő, de azzal ellentétes funkciójú (forrás legyen nyelő és nyelő forrás) eszköz létrehozásával ellenőrizhető a rendszer működése. Ennek megfelelően vizsgáltam egy FPGA kártyákból összeállított összetett rendszert. A jelek igen nagy százalékban áram és kontaktus alapú jelzések, ezért zömmel ilyen csatornákat találtam rajta. Habár a jelek egymásra hatását ezen a rendszeren keresztül is lehet tesztelni, a csatornák egyesével való tesztelésén kívül nem használt, mert az erre használt szoftveres szimuláció (a beolvasott élő érték figyelmen kívül hagyásával) a bevett eljárás (ezt akár egy vagy több egység nélkül is el lehet végezni, míg az előbbihez minden alrendszer működésére szükség van). Érdekesség, hogy a vezérlőszekrényben PLC jelfeldolgozó

egységek működnek. A csatornakiosztása az Ethernet protokollhoz használt kábelekhez illeszkedik, egy csatorna így maximálisan négy szenzort jelét képes szimulálni. Különlegesebb szenzorok esetén azonban ez változhat. A jelek tesztelése során találkoztam a szervo vezérlő jelekkel, valamint a hozzájuk tartozó visszajelzésekkel, melynek elvi felépítését az 5.5 ábra mutatja.

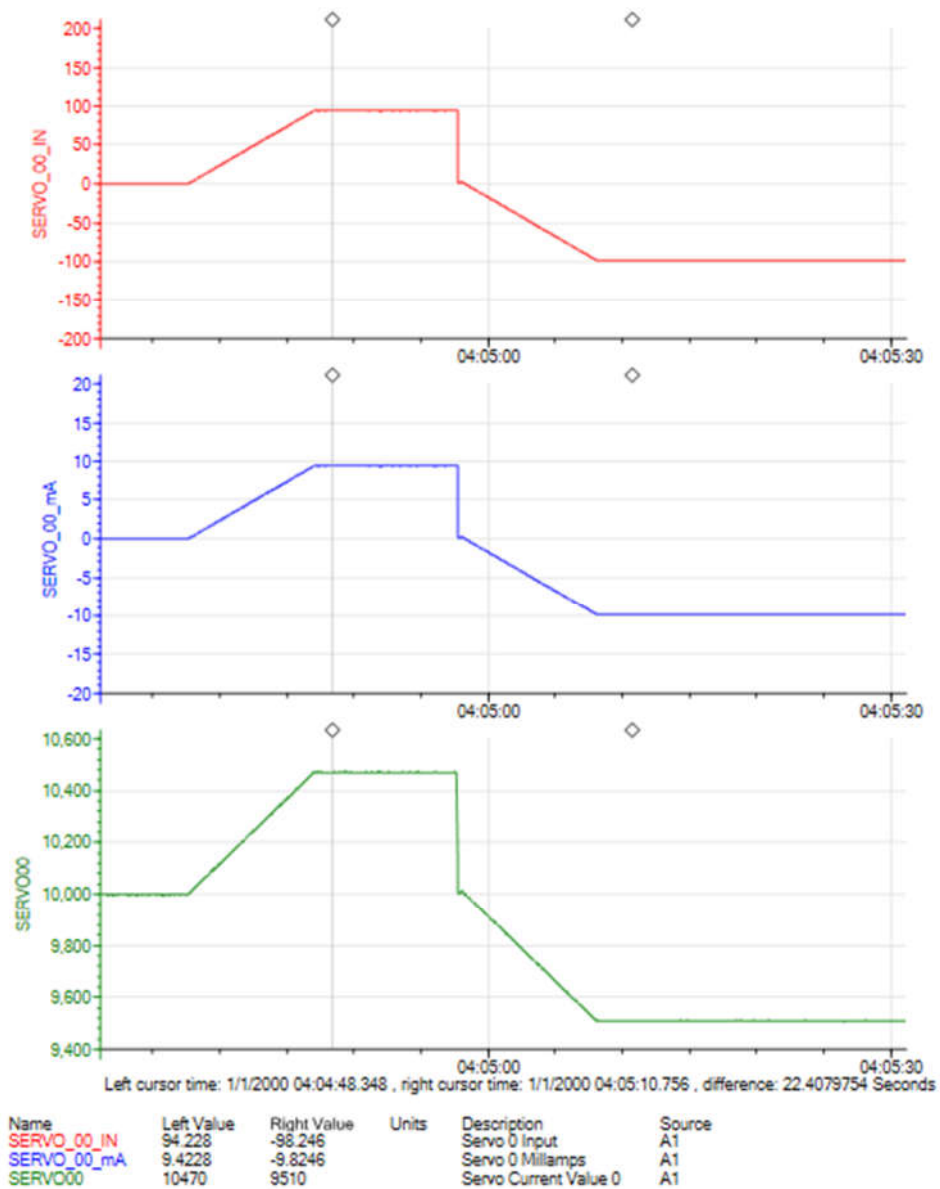


5.5 ábra, egy általános szervoszelep vázlatos rajza, kiegészítve a visszajelző rendszerrel

A vezérlőrendszer kiad egy -10 és 10 mA közötti áramértéket, mellyel vezérel a szelepet. Mint az ábrán is látható, a kialakítás nem teszi lehetővé a teljesen nyitott vagy teljesen zárt állást. A leereszkedő gomba alakú fejjel együtt mozgó fémrúd egy tekercs környezetében mozog, oly mód, hogy annak induktivitását befolyásolja (vagy, ha nem is közvetlen a zárófejre illeszkedő rúddal, de egy azzal együtt mozgó fémmel). Ennek a tekercsnek a gerjesztését általában a vezérlőszekrény látja el. A rendszer neve Linear variable differential transformer (LVDT). A gerjesztés állandó, és habár nem csak ez az egyetlen megoldás, de rendszerint a vezérlőszekrény biztosítja. A szekunder oldali tekercsek különbség jelét azonban mindenképp vissza kell vezetni. Ez egy, a szelep mozgását lineárisan követő visszajelzés (mint azt a neve is mutatja). A gerjesztés és a visszajelzés ilyen elrendezés mellett csak AC lehet. (Létezik DC táplálású LVDT, ám ilyennel munkám során nem találkoztam, annak felépítése ettől eltér.) Az általam vizsgált esetben 7,10 és 7,17 V effektív értékű 3200 hertzes szinuszos gerjesztés állt rendelkezésre.

A szervo vezérlő kimenet típustól függően -200 és 200 mA közötti értékek lehetnek, 0 mA középszínttel. Az általam vizsgált kimenet maximális kitérés esetén -10; minimális kitérés esetén 10 mA. Mivel a szelep nem képes teljesen kitérni, továbbá beüzemelési

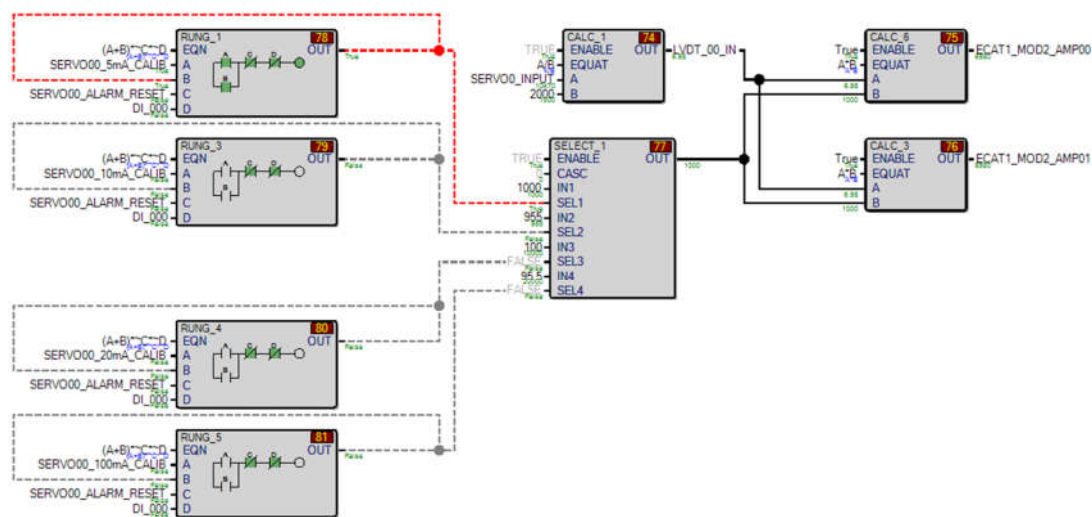
előírása a szelep kalibrálása, így csak hozzávetőleges mérést végeztem, még hozzá a kalibrálási folyamat lefutásával, mely középállásból indulva kitér az egyik majd a másik végállás közeli pozícióba (mint az az 5.6 ábrán is látható, a teszt során előbb a minimum, majd a maximum pozíciót állítottam be). A feltüntetett értékek a következők. A piros és kék színnel jelölt grafikon a közvetlen bemenet, valamint az ahhoz tartozó tízszeres értékű értékék. Jól megfigyelhető az egyenes arányú emelkedés, mielőtt elérné a minimumhoz tartozó közel 10 mA értéket. A mérés során elért legnagyobb érték 9,4228, a -9,8246 a legkisebb.



5.6 ábra, szervo vezérlő kimenetei és feldolgozási adatai

A zöld színnel ábrázolt SERVO00 egy eltolt leképezés, ahol a 10000-res érték felel meg a 0 mA szintnek, 0 a -200; 20000 a 200-nak, ezt az értéket tudom egy kis átalakítás után felhasználni az LVDT visszajelzés kialakításában.

A Bemeneti vezérlőjel értelmezése és mérése után, azt fel is kell dolgoznom. A SERVO00 nevű változót ehhez először csatlakoztatom egy globális változóhoz, így elérem azt más programcsoportból is (az eszköz kialakítása miatt fontos ez, ahol a be – valamint kimeneti jelek egymástól gondosan elválasztva működnek). Ennek a SERVO_INPUT nevet adtam, melyet az 5.7 ábrán látható funkció blokkokkal valósítottam meg. Szoftverkezelési megfontolások, valamint a korábbi megoldások miatt használtam az LVDT_00_IN változót, melynek előírt értéke kétezerde a SERVO_INPUT értékének, majd ezt felszorozva hajtom meg a közvetlen a kimenetre kapcsolt kimeneteket (egy teljes szervorendszerhez jellemzően kettő LVDT visszajelző szenzor használt, ennek okán több LVDT kimenet meghajtását állítottam be). A felszorozott jel értéke nem függhet a vezérlő áramjel működési tartományától, azaz például a -10, 10 mA maximális kitérésű, valamint a -100, 100 mA maximális kitérésű jel visszajelzésének ugyanazon határok közt kell mozogniuk. Ennek megfelelően konstans szorzóértéket adtam a programhoz, melyek kiválasztási mechanizmusának programozása során ügyelnem kellett, hogy egyszerre csak egy érték kiválasztójele lehet aktív (ennek biztosítását az 5.8 ábrán mutatom be), mint azt a 5.7 ábrán bemutatok. Fontos továbbá, hogy a szorzó értéke folyamatosan rendelkezésre álljon, ezért az egyes RUNG blokkok kimenetét visszakötöttem a bemenetre, így annak értéke újra kalibrálásig aktív.

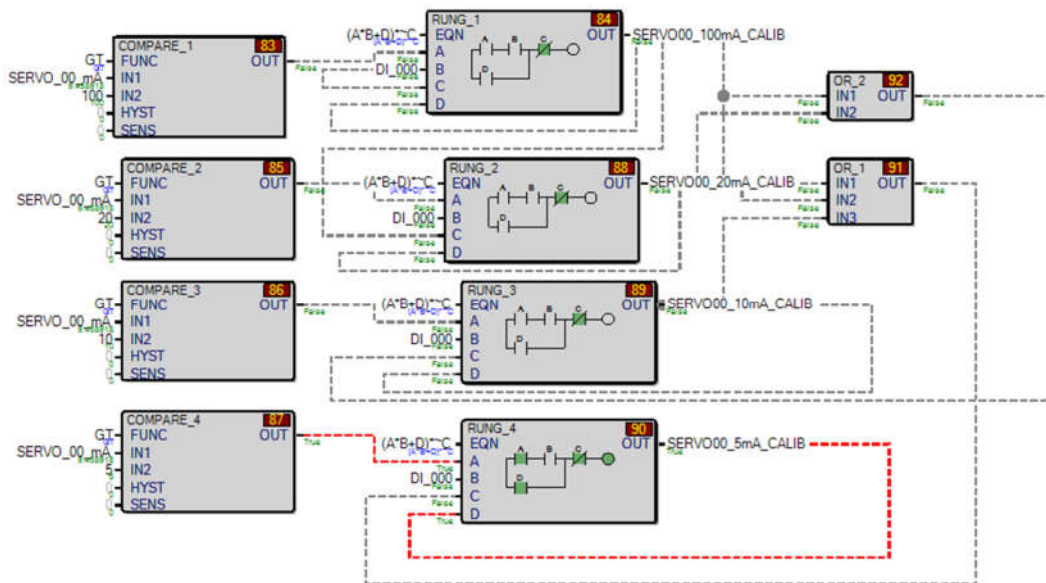


5.7 ábra, a Szervo bemenet és LVDT kimenet összekötésének programozása

A kimenet a reset jel hatására is állapotot vált, ám megszűnésével, mivel a szervó típusa ekkor már meghatározott, újra aktívvá válik (a reset jel impulzus jellege miatt ez az elvárt működés).

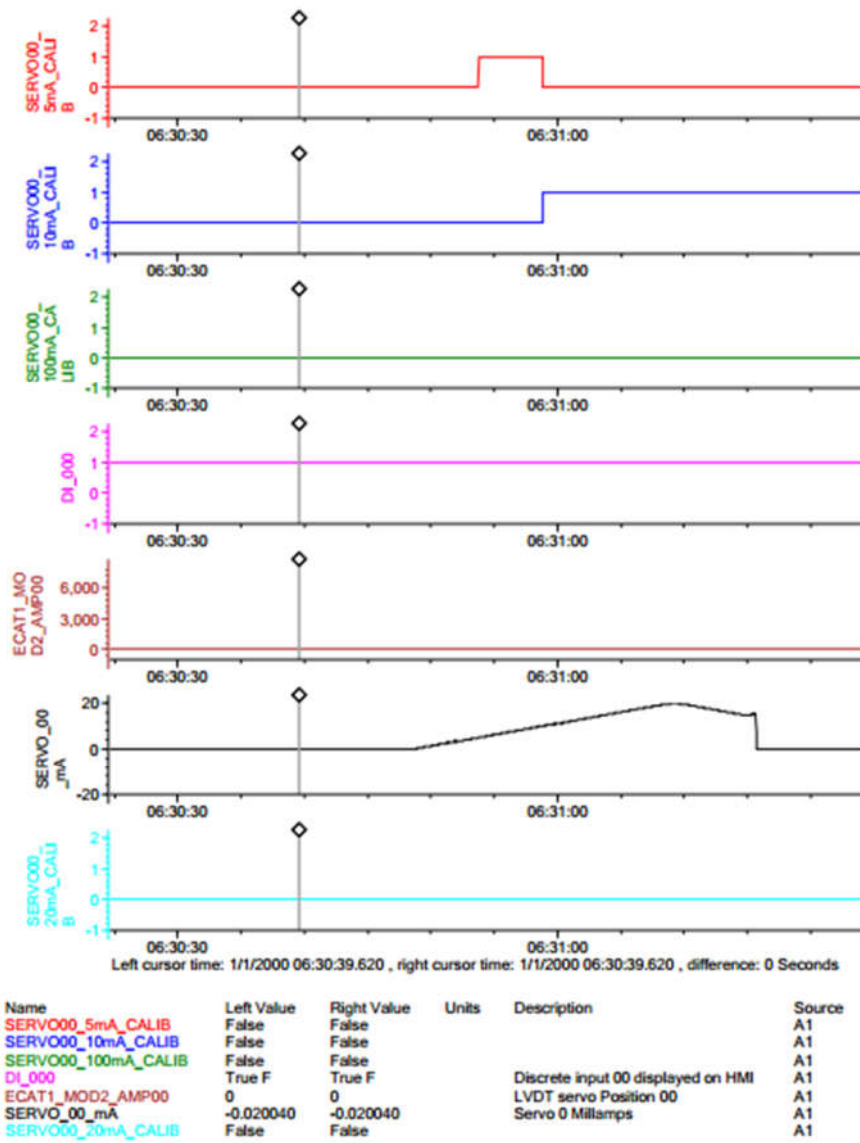
Az ábrán látható DI_000 egy fizikálisan kivezetett kontaktus alapú bemenet (a rendszer szempontjából), melyet az eszköz típusának meghatározására használtam fel. Leolvasható, hogy amikor zárt a kontaktus, a kiválasztó blokk az alapértelmezett értékét adja ki, amely nulla, így a szorzó értéke és ezáltal a kimeneti változó is zérus lesz, azaz a fizikai visszajelző jelet megszünteti.

A kalibrációs folyamat során, a szervoszelep először a minimum irány felé térítendő ki, ami fizikailag (helyes bekötés esetén) pozitív maximális átáramló áramot idéz elő, ezért, ahogy az az 5.8 ábrán is látható, 5, 10, 20 és 100 mA határokat állítottam be, melyek, ha a jel értéke meghaladja azt, aktivizálják a vonatkozó kimenetet. Mint az leolvasható, a nagyobb határértékű jel által meghajtott kimenetet úgy programoztam, hogy annak hatására a többi kimenet deaktivizálódjon, melyet az 5.9 ábrán ábrázoltam.



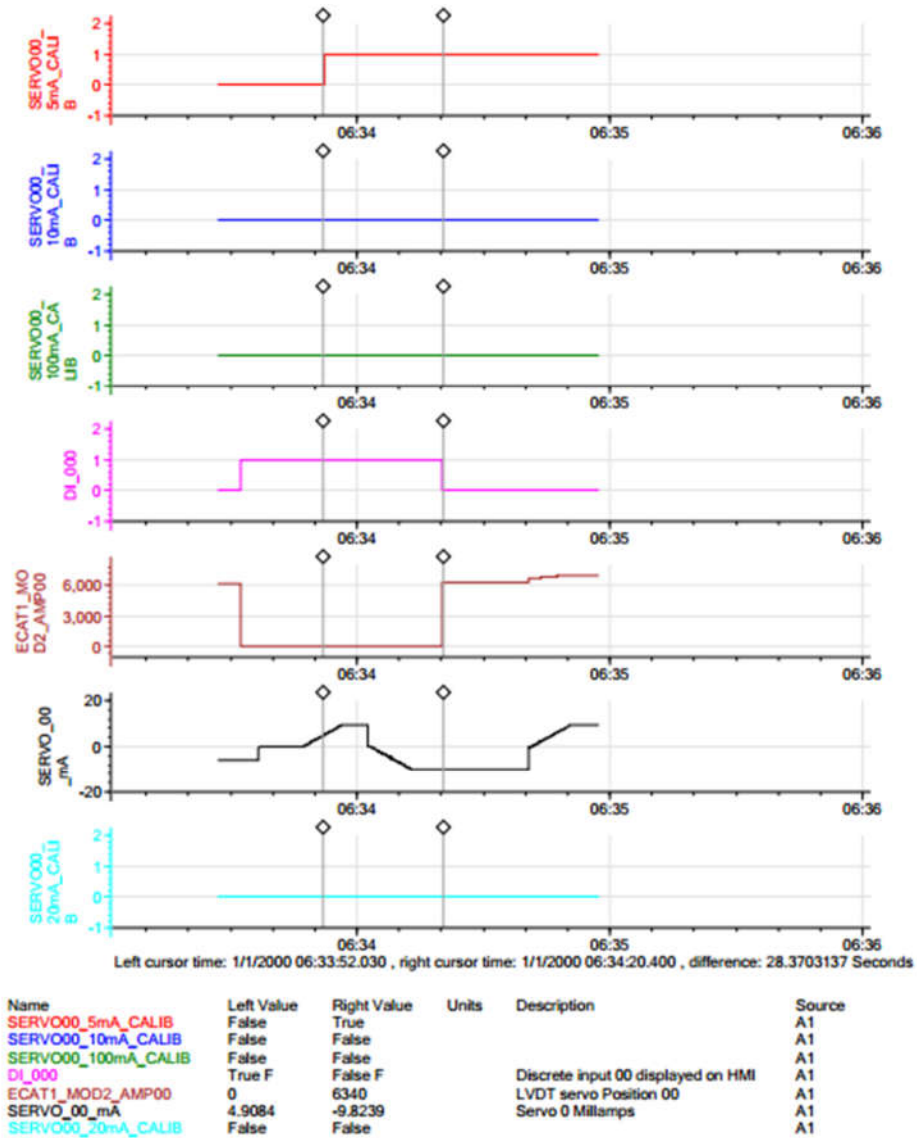
5.8 ábra, a jeltípus meghatározása, valamint a kimeneti jel szorzójának meghatározásához szükséges kizáró logika

Az 5.9 ábráról leolvasható, hogy a lila színnel jelölt bemeneti kontaktus mindvégig aktív, melynek hatására a barna színű kimenet zérus. A fekete gerjesztőjel hatására előbb az 5, később a 10 mA méréshatárú kimenet vált (piros, illetve kék).



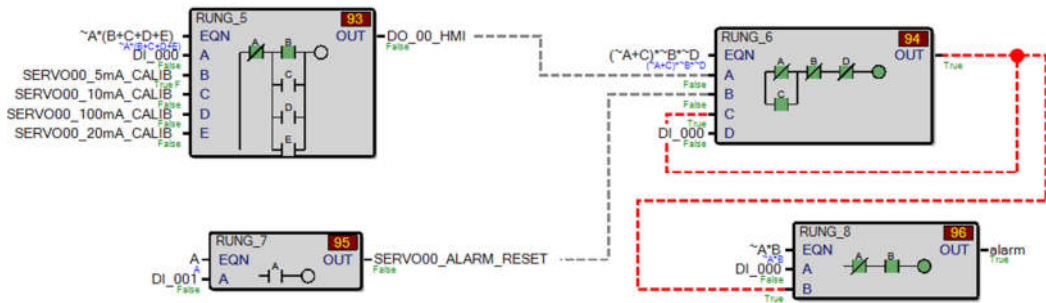
5.9 ábra, szervobemenet gerjesztése 0-20 mA egyenletesen emelkedő áramjellel

Egy teljes kalibrációs ciklust az 5.10 ábrán mutatok be. Jól látható, hogy a kalibrációs kontaktus deaktiválása után, mivel a gerjesztés meghatározása megtörtént és minden rendben ment, a bemenet újbóli változtatása hatására a kimenet is változik, azzal egyenes arányosságban. Ezek után, amennyiben újabb kalibrációra nincs szükség, a digitális jelek változtatása indokolatlan, a kimenet megfelelően (lineárisan) követi a bemeneti változásokat.

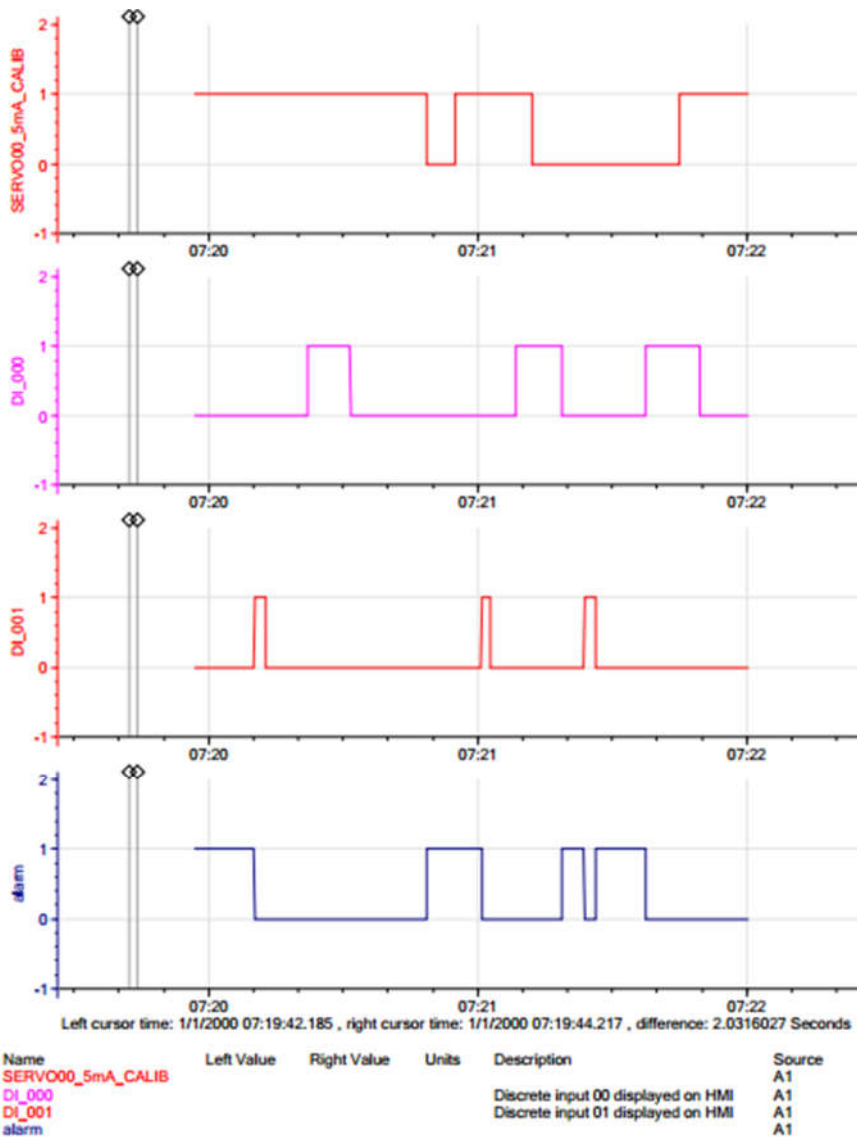


5.10 ábra, a teljes kalibrációs ciklus

Abban az esetben, ha a kalibráció során a jel értéke nem éri el, az általam elvárt minimum 5 mA értéket, úgy a kezdeti beállítás sikertelennek bizonyul. Ezt az 5.11 ábrán látható módon, egy veszélyhelyzetre figyelmeztető változó állapotának változtatásával jelzem egy úgy nevezett alarm szerver felé. A működése az 5.12 ábráról olvasható le.



5.11 ábra, sikertelen kalibrációra aktivizálódó, veszélyhelyzetet jelző logika

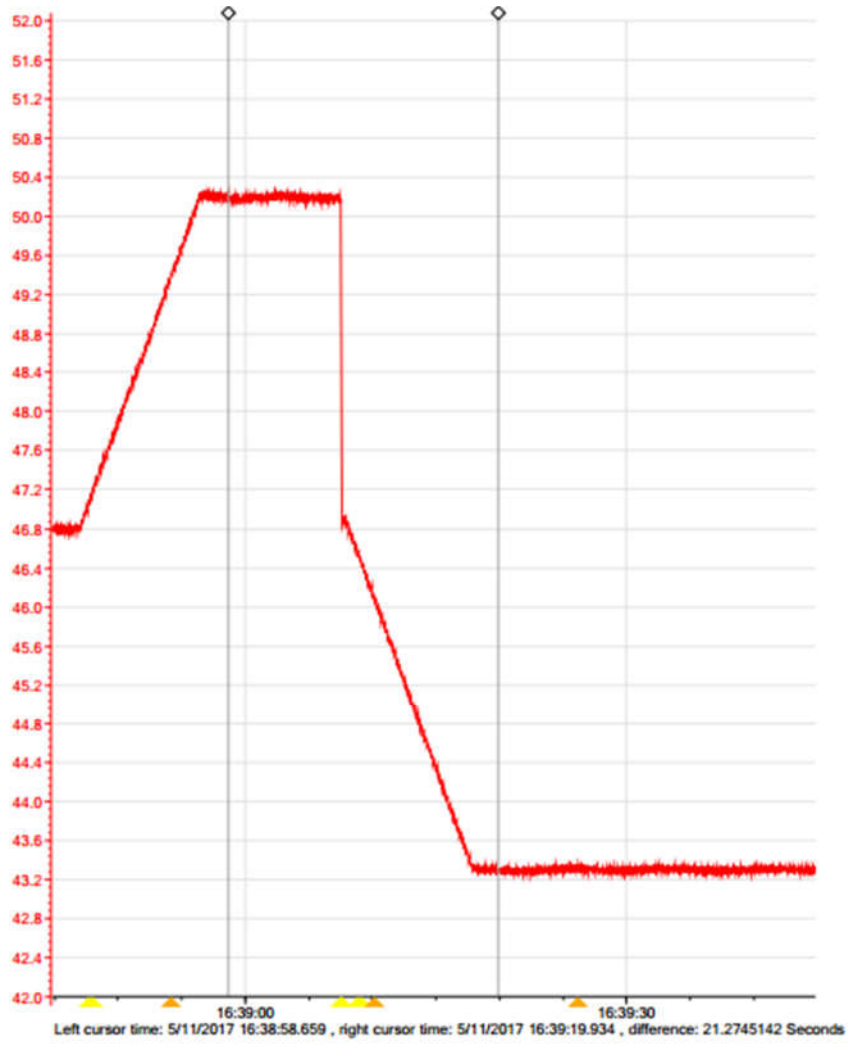


5.12 ábra, veszélyhelyzetet jelző logika szimulációja

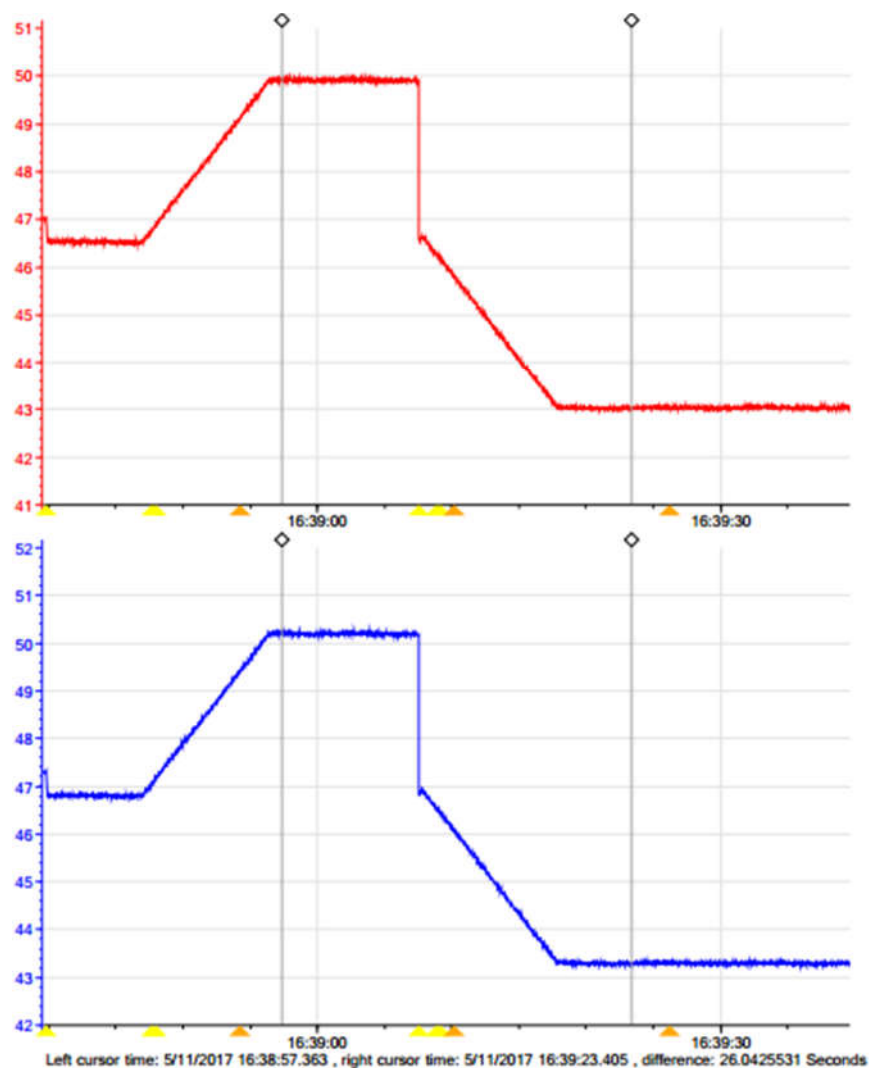
Az 5.12 ábra állapotait, egy aktív alarm jelzéssel indítottam, mialatt minden egyéb jel a normál működésnek megfelelő. Ebben az állapotban, egy aktivált reset jellel ezt is normál állapotba hoztam. Ez után a kalibrációt szimuláltam (DI_000), mely eredményesen zárult, így az alarm nem változott. Ez után egy működés közbeni hibaszituációt indikáltam, a felső vörös jel deaktiválásával, melynek hatására a hibajelzés aktivizálódik és csak normalizáció majd reset után áll helyre. Ezek után sikertelen kalibrációt idéztem elő, mely a reset jel kiadása után is aktív hiba jelet produkál, ez csak egy újabb (sikeres) kalibrációs ciklus után normalizálódik.

A tesztrendszer felprogramozása után, az egység készen áll a tesztelésre (a korábban említett excitation jel állandó és a vizsgált rendszerektől – turbinavezérlő és szenzorok-független táplálása is lehet, ezért ezt külön, multiméterrel ellenőriztem). Mivel időszinkronizáló szervert nem használtam, így a teszteszköz és a vezérlőrendszer időben egymástól független. Egy kalibrációs ciklus során, a szenzor jele a két végállás közt változik, ezért azt megismételve teljes csatormatesztet végeztem. Az 5.13 és 5.14 ábra a turbinavezérlőrendszer által mért LVDT visszajelző jelét mutatja be, előbbi egy átlagolt (voted) értéket, utóbbi a két szenzor jelét külön. A kurzorok helyén mért értékek a következők:

5.13 bal	50,259%
5.13 jobb	43,273%
5.14/1 (vörös) bal	49,890%
5.14/1 (kék) jobb	42,993%
5.14/2 (vörös) bal	50,188%
5.14/2 (kék) jobb	43,273%



5.13 ábra, LVDT visszajelző, vezérlőrendszerben mért, átlagolt értéke, százalékban



5.14 ábra, LVDT visszajelző, vezérlőrendszerben mért, szenzoronkénti értéke, százalékban

Az LVDT visszajelző jel, az excitation jelnek megfelelő 3.2 kHz, tisztán szinuszos, amplitúdójának effektív értéke 3 és 4 V közti érték lehet (a feldolgozó kártya 1,1 és 5,5 V effektív értékű jelet képes fogadni). A feszültségérték szoftveresen változtatható, ezt az értéket választottam, mivel ez biztosan nem tesz kárt a vezérlőrendszerben, továbbá a kalibrációs ciklust a valódi eszközzel is el kell végezni, az általam készült program csak funkcionálisan ellenőrzi az eszközt. Ezen terepi eszközök telepítése során, azokra egyesével el kell végezni, figyelembe véve, hogy teljesen nyitott és teljesen zárt állapot nem érhető el a kialakítás miatt (felhasználó és kivitelezés függő, hogy a visszajelzés a szelep állapotának, vagy az elérhető működési tartományának százalékos visszajelzése).

Ezzel a vizsgált szervó szelep vezérlését és a hozzátartozó, lineáris visszajelző jelek tesztjét elvégzettnek tekintem.

5.3 Eredmények értelmezése

Az összetett szimulációs rendszerrel sikeres tesztet hajtottam végre, mely a további, mindennapi munka során felhasználható. Az eszköz használata azonban összetett, általános eljárást nem sikerült találnom. Nehézséget okozott a dokumentáció hiánya, a jelek szimulálásához használt Ethernet kábelek felhasználása, mivel annak megvalósított rendszerében nem a szabványos színséma használt, valamint a csatornakiosztás következetlensége. Egy, a teszteközön található szervo bemeneti csatlakozó három áramforrást tud kezelni, melyek sorrendben az egyes (fehér-barna), kettes(sárga-fekete) és hármas(narancssárga-kék) Ethernet csatornát használják, a negyedik(piros-zöld) nincs bekötve. Az LVDT első két csatornája változtatható kimenet, második kettőre excitation jel köthető. A célként kitűzött, összetett szenzorrendszer vezérlő jelének értelmezése, feldolgozása, továbbá a visszajelző jelének szimulációja sikeresen lezajlott. Habár a felhasználása kissé körülményes, a megoldás fontossága kiemelendő. A tesztelt PLC kártya tulajdonsága, hogy saját firmware működik rajta és az figyel a kiadott és a mért jelek egymáshoz képesti alakulását, amelynek programozása a felhasználónak nem megengedett. Ezért a szokásos szimulációs módszerek nem működnek, csak valamilyen hardverrel együtt. Az általam továbbfejlesztett megoldás azonban képes további beavatkozás nélkül tesztelni az eszközt, mely eddig hiány volt.

6 Összefoglalás

A szakdolgozatírás során, a munkám kapcsán értékes tapasztalatokat szereztem, melyeket sikeresen fel is tudtam használni.

Ez idő alatt találkoztam és megismertem olyan különleges szenzortípusokat, amikkel tanulmányaim során nem találkoztam, mint a szeizmikus vagy proximotor érzékelők. Továbbá elmélyítettem tudásom, és gyakorlatban is használtam olyan műszereket, melyekről tanultam, mint például RTD szenzor vagy nyomásmérő távadó.

Megismertem a szenzorjeleket szimuláló eszközöket, majd részt vettem a feldolgozóegységek tesztelésében, mely során olyan tapasztalatokat szereztem, hogy ezek után képes voltam önállóan letesztelni egy vibrációs rackkel ellátott megfigyelő és vezérlő szekrényt. Itt találkoztam olyan szabványokkal, mint az IP (érintésvédelem) vagy SIL (biztonságtechnika). Láthattam, hogy épül fel egy szabályzási rendszer, milyen kialakítási követelményei vannak, hogy oldhatóak meg az egyes rendszerek, eszközök redundáns táplálása. Ezen előírások teljesülését ellenőriznem is kellett.

A jelteszt során első körben kalibrált függvénygenerátorral végeztem a szenzorok szimulációját. Ez az eszköz maradéktalanul képes az összes rezgésdiagnosztikában előforduló érzékelőt helyettesíteni, ámde kialakítása miatt (általában egy, de legfeljebb néhány kimeneti csatornája végett) használata nehézkes. A gyártó által biztosított, több csatornás eszközzel dolgoztam ezért, hogy a többi csatornát leteszteljem, amihez meg kellett ismernem egyedi felhasználói felületét, valamint le kellett mérnem a kimeneti jelalakokat (már csak azért is, mert az eszköz nem kalibrált). Ellenőriznem kellett ezeken felül a kommunikációs csatornákat, hogy a külső, visszajelző és beavatkozó rendszerek megfelelő információt kapjanak. Egy ipari, internet feletti protokollt, az úgy nevezett EGD kommunikációt kellett ehhez megismernem, valamint használnom, továbbá modbus protokollt.

További feladatomból volt, egy összetett, FPGA kártyákkal felszerelt eszköz megismerése és használata. Kiemelt fontosságú volt, egy különleges szenzortípus, a szervó szelep vezérlő és visszajelző áramkörökét használó, úgy nevezett LVDT szimulálása. Az ismerkedés során kiderült, hogy a feldolgozó egység védett programozása (firmware) miatt, a szoftveres szimuláció nem lehetséges, így alternatíva nélkül, valamilyen valós, hardveres szenzorhelyettesítésre van szükség. Ehhez szoftveresen átalakítottam az FPGA kártya vett

jelét és átalakítottam oly módon, hogy egy másik FPGA kártya kimenetét meghajthassam vele. A megvalósítás során az általános kialakításokat vettem alapul, például elterjedt módon két visszajelző egység csatlakozik ugyanazon szelephez, így két kimeneti csatornát hajtottam meg, figyelembe véve a csatornakiosztást. Az FPGA kártya programját úgy alakítottam ki, hogy az egy kalibrációs ciklus után engedélyezze a kimenetet, valamint sikertelenség esetén erről fizikai jelzést is adjon (egy harmadik FPGA kártya egy kimeneti kontaktus alapú csatornáját köttem rá, mely sorba kötve egy megfelelő tápegységgel egy relét aktivál, így képes jelezni).

Tapasztalataim és vizsgálódásaim alapján, egy turbina-vezérlőrendszer teljes funkcionális tesztje elvégezhető egy ilyen eszközzel. Néhány ki- és bemenetet, összefüggő jelet összekapcsoltam és szimuláltam egymásra hatásukat sikeresen (nem csak az LVDT jeleket), viszont az általános következtetésem és véleményem, hogy az egyszerűbb összefüggések, melyek szoftveresen a vezérlőrendszer programjában szimulálhatóak, a vezérlőrendszer programjában szimulálандók.

Az önállóan, általam megtervezett, majd implementált szervó szeleplevezérlő tesztelő és LVDT visszajelző szoftver tehát kifogástalanul működik. A meglévő, összetett FPGA kártyákat tartalmazó teszteköz csak az egyes be- illetve kimeneti pontok egyesével való érzékelését és szimulálását tudta végrehajtani, ezt alakítottam úgy át, hogy most már képes egymásra ható jelek szimulálására, külső, emberi beavatkozás nélkül.

A kiírásnak megfelelően tehát, megvizsgáltam és megértettem különböző jeladók, szenzortípusok által generált jelek működési módját; a szimulálásra használt eszközöket megismertem, működésüket megértettem; alaposan megvizsgáltam egy összetett, egyszerre több jel generálására alkalmas eszközt, valamint szimulációs szoftvert készítettem hozzá; készítettem egy programot mely képes olyan szenzorcsaládok jeleinek mérésére és szimulálására, amelyek több be- és kimeneti csatornát használnak. Az utolsó pontban leírtakhoz rendelkezésemmre állt a teszteköz, ám annak átprogramozására volt szükség, melyet sikeresen megtettem, ezzel teljesítettem a feladatot.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a szakdolgozat létrejöttében segítő személyeknek, kiemelve a konzulenseim, Molnár Gábor, valamint Dr Sujbert László munkáját, szakmailag és tartalmilag Somorai Krisztián, Csányi Cecília, Takács István és Banka Livia segítségét, továbbá szüleim támogatását!

Irodalomjegyzék

- [1] GE Measurement & Control: *3500 System Datasheet*
- [2] TE Connectivity Corporation: *LVDT Tutorial*, <http://www.te.com/> (revision 10:07, 01 Mar 2017)
- [3] Wikipedia: *Highway Addressable Remote Transducer Protocol*, https://en.wikipedia.org/wiki/Highway_Addressable_Remote_Transducer_Protocol (revision 17:35, 08 May 2017)
- [4] Wikipedia: *Field-programmable gate array*, https://hu.wikipedia.org/wiki/Field-programmable_gate_array (revision 18:11, 08 May 2017)
- [5] Wikipedia: *Programmable logic controller*, https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller
- [6] GE Measurement & Control: *3500 Series Machinery Protection System*
- [7] GE Measurement & Control: *3500/25 Enhanced Keyphasor*Module*
- [8] Ge Energy: *3500/22M Transient Data Interface*
- [9] GE Measurement & Control: *3500/42M Proximito*/Seismic Monitor Product Datasheet*
- [10] HSE (Health & Safety Executive): *A methodology for the assignment of safety integrity levels (SILs) to safety-related control functions implemented by safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems of machines*
- [11] SAE: *J1908_201302*, <http://standards.sae.org>
- [12] IEC: *60364-1 (Low-voltage electrical installations)*
- [13] Modicon: *Modicon Modbus Protocol Reference Guide*
- [14] Wikipedia: *Safety Integrity Level*, https://en.wikipedia.org/wiki/Safety_integrity_level
- [15] The IEC Functional safety zone: *IEC Safety Zone*, <http://www.iec.ch/functionalsafety>
- [16] Phoenix Contact: *Relay Module: PLC-RSC- 24DC/21 – 296617*, <https://www.phoenixcontact.com/us/products/2966171>
- [17] Pepperl+Fuchs: *Surge Protection Barrier K-LB-2.30 Datasheet*
- [18] Pepperl+Fuchs: *kfd2-vr4-ex1.26 Datasheet*

- [19] Phoenix Contact: *maxx mcr-ui-ui-up-nc Datasheet*
- [20] Promel: *FGP-05 Fire & Gas Controller*
- [21] FLUKE: *725 Multifunction Process Calibrator Users Manual*
- [22] FLUKE: *179 True RMS Multimeter Users Manual*