

Decsi Gábor, Gaál Róbert, Dr. Kovács Attila

A tréningsszimuláció szerepe és eszköztendszere a magyar villamosenergia-rendszer üzemirányításában

Általában olyan tevékenységek gyakoroltatásánál szoktak szimulátorokat használni, ahol az emberi beavatkozásnak közvetlen és lényeges hatása van a folyamatra. Legismertebbek a közlekedési szimulátorok (autó, mozdony, repülő), amelyeknél a vezető akciói azonnal hatnak a jármű viselkedésére, mozgására. A tréningsszimulátornak a valóság élményét kell nyújtania azért, hogy a tanuló minél pontosabban be tudja gyakorolni a valóságos folyamat irányításához szükséges műveleteket. A tréningsszimulátorok előnye, hogy a tanulók biztonságos környezetben sajátíthatják el valamely folyamat irányítását, és olyan helyzetek kezelését is megtanulhatják, amelyek a valóságban csak nagyon ritkán fordulnak elő, viszont nagy károkat vagy akár életvesztést is okozhatnak.

A villamosenergia-rendszer üzemirányítására is igaz, hogy az üzemirányító diszpécser beavatkozásai, reakciói közvetlenül és lényegesen befolyásolják a villamos hálózat működését. Például, egy hálózati ág kikapcsolásakor ott azonnal (gyakorlatilag fénysebességgel) megszűnik az energiaáramlás, és ha vannak párhuzamos utak a hálózatban, akkor ezeken is azonnal megváltozik az átfolyó villamos teljesítmény. A középfeszültségű sugaras hálózatok esetében pedig egy ilyen kikapcsolást a fogyasztók azonnal áramszünetként érzékelnek. A diszpécserék és hálózatkezelők kulcsszerepet játszanak a villamos hálózatok üzemirányításában, különösen az üzemzavarok elhárításában. Sok múlik azon, hogy milyen rutinosan tudják kezelni a hálózati hibákat, üzemzavarokat. Tréningsszimulációval ez a döntésekből, közvetlen beavatkozásból, kommunikációból, szervezésből és dokumentálásból felépülő összetett tevékenység készségszintre emelhető.

A TRÉNINGSSZIMULÁCIÓ ELŐFELTÉTELEINEK KIALAKULÁSA

A '90-es évek végéig hazánkban még nem voltak meg a tréningsszimulátorok létrehozásának műszaki feltételei. A telemechanizáltság foka ekkor még alacsony volt, az üzemirányítók, kezelők segédeszközei a falisémák, a vezénylőtáblák, és gyakran csak papír alapú sémaképek voltak. A kapcsolattartást vonalas telefonok, ill. a terepi személyzettel rádió biztosította. Az informatika ekkor még nem tört be a villamos hálózatok üzemirányításába, így bármilyen tréning célú szimulátort csak kapcsolók, mérőeszközök és relék összehuzalozott konglomerátumból lehetett volna létrehozni. Akár csak egy alállomás-kezelés gyakoroltatását lehetővé tevő tréningsszimulátor felépítése is az alállomási vezénylőterem újraépítését jelentette volna, ami rendkívül költséges és rugalmatlan megoldás. Az országban egyedül

a Paksi Atomerőműben épült meg a 80-as évek végén egy blokk kezelésének gyakoroltatására alkalmas blokki tréningsszimulátor, de ezt az erőmű biztonsági követelményei és a nemzetközi előírások is megkövetelték.

A '90-es évek elején indult el az ÜRIK (Üzemirányítási Rendszer Irányítástechnikai Korszerűsítése) projekt, amely a magyar átviteli és főelosztó hálózat telemechanizáltsági szintjének drasztikus növelését, valamint a rendszerirányítóban (MAVIR) és a körzeti diszpécser szolgálatoknál (KDSZ) modern üzemirányító központok (SCADA-k) üzembe helyezését célozta meg. Ezzel párhuzamosan zajlottak az alállomási vezénylőtáblák számítógép alapú eszközökkel való kiváltását célzó kísérletek. Az első alállomási megjelenítő az OVIT nagybányai, a második pedig a debreceni alállomásában került üzembe.

Az üzemirányítás területén az informatikai eszközök ugrásszerű elterjedése megnyitotta az utat a tréningsszimulátorok előtt. Az adatgyűjtés, a beavatkozás és az adatok megjelenítése a grafikus diszpécseri kezelőfelületeken általános célú hardvereken (pl. PC-ken) futó szoftverekkel valósult meg. Ezzel elhárult a valóság-hű diszpécseri (tanulói) felületek létrehozásának nehézsége, hiszen ettől kezdve erre a célra az éles üzemi adatgyűjtő eszközök (SCADA-k) másolatát (emulációját) lehetett felhasználni.

TRÉNINGSSZIMULÁTOROK HASZNÁLATA AZ ÁTVITELI HÁLÓZAT ÜZEMIRÁNYÍTÁSÁBAN

Ahogy Magyarországon az üzemirányító rendszerek korszerűsítése is párhuzamosan zajlott alállomási és üzemirányító központi (MAVIR, KDSZ) szinten, úgy a tréningsszimulátorok elterjedésénél is megfigyelhető ez a tendencia.

A rendszerirányítás gyakoroltatása

A 2000-es évek elejére az ÜRIK-projektnek köszönhetőnek a MAVIR-ban és négy áramszolgáltató (ELMŰ, ÉDÁSZ, DÉDÁSZ és TITÁSZ) KDSZ-ében Siemens Empower Spectrum SCADA rendszerek kerültek üzembe. Ezekhez a MAVIR és az ELMŰ megvásárolták a Diszpécseri Tréning Szimulátor (DTS) modult is. A Siemens szimulátora a „felülről lefelé” módszer jegyében készült. A hálózatot csomópontokból és hálózati ágakból felépülő gráfként modellezte (Power System Modell - PSM). A hálózat működését, változásait kvázistacioner állapotok sorozatával szimulálta. Alapja a ciklikusan lefutó load-flow és az „egy csomópontos”, azaz rendszerközi lengésekkel nem kalkuláló frekvenciamodell. Főleg a rendszerirányítási feladatok gyakoroltatását célozta meg, emiatt fontos szerepet kapott benne pl. az erőművi szabályzás (AGC) pontos leképezése. A szekunder készülékeket és berendezéseket (kapcsolók hajtásai, védelmek, automatikák stb.) viszont csak elnagyoltan vagy egyáltalán nem modellezte, emiatt az alacsonyabb üzemirányítási szinteken a diszpécseri tevékenységnek csak egy részét lehetett rajta gyakorolni.

A MAVIR részére 2001-ben leszállított szimulátor hangsúlyozottan diszpécseri szimulátor volt, amely a rendszerirányítók képzését célozta meg. A gyakorlati alkalmazása során ez nem jelentett, illetve napjainkban sem jelent korlátot, mert a hálózatszámítás szimulációs

ciklusideje 5 sec, ami a diszpécseri reakcióidőt figyelembe véve (események felismerése és értelmezése) gyorsnak tekinthető. Ha figyelembe vesszük a dinamikus frekvenciaváltozás szimulációját, amely a szimulátor szerverének terhelésétől függően változik, de körülbelül 200 msec körül van, akkor rendkívül valószínű szimulációról beszélhetünk.

A szimulátor üzembe helyezése után el kellett végezni a dinamikus paraméterek meghatározását. Figyelembe kellett venni, hogy a leképzett hálózat mintegy 60 GW teljesítményű volt, de a frekvencia dinamikáját az együttműködő kontinentális rendszer 300-400 GW méretéhez kellett illeszteni.

A szimulátor fokozatosan került használatba, az alábbi lépésekben:

- eszközök kezelése, a rutinszerű használat elsajátíttatása (biztos tájékozódás a felhasználói felületeken),
- diszpécseri helyzetfelismerés és a diszpécserék közötti kommunikáció fejlesztése az EMS/SCADA rendszer által biztosított információk alapján (alarm rávezetés, üzenetek értelmezése),
- kritikus üzemiállapotok felismerése és megoldása.

A DTS a gyakorló diszpécserék bonyolult, illetve ritkán előforduló üzemiállapotok esetén követendő eljárások begyakorlata mellett további célokra is hatékonyan alkalmazhatóan bizonyult. Az EMS/SCADA rendszer új funkciói használatának elsajátítása és tesztelése mellett a betanuló diszpécserék oktatására, vizsgára történő felkészítésére is kiválóan alkalmas.

A nem oktatási célú felhasználás jellemző területe az energiarendszer viselkedésének elemzése nem szokványos üzemiállapotokban, illetve bemutató előadások tartása. Tipikus alkalmazása az évenkénti black-start próbák előtti hálózatvizsgálatok elvégzése, a feszültségviszonyok és generátorok terhelésváltozásra adott dinamikus viselkedésének tanulmányozása.

A diszpécseri szolgálat feladatai kibővültek az egyközpontú távkezelés bevezetésével. A rendszerirányítási és hálózatkezelési funkciók két független rendszeren valósultak meg. A rendszerirányítói és hálózatkezelői feladatokat szoros együttműködésben kellett elvégezni. Mindkét rendszernek volt saját szimulátora, de a közös szimulátoros gyakorlatokat nem lehetett az elkülönülten üzemiáló szimulátorokkal megoldani. Így merült fel az egyesített szimulátor megvalósításának igénye.

A fejlődés másik irányát az alállomás-kezelői tevékenységek gyakorlataására kifejlesztett tréning-szimulátor képviselte. Az alállomási kezelő az ott található készülékek (nagyfeszültségű hálózati elemek, valamint a szekunder védelmek és automatikák) gazdája, aki folyamatosan felügyeli azok működését és állapotát. Ő a részletekért felelős szakember. Emiatt az alállomási tréning-szimulátor az „alulról felfelé” elvet valószínűtta meg. Részletesen modellezte a készülékek valamennyi, a kezelő számára releváns funkcióját és jelzéseit. Az alállomást pedig ezen készülékek összekapcsolt rendszereként modellezte.

Alállomási és kezelőközponti szimulátorok

Az első alállomási tréning-szimulátor (ATS) 1998-ban az OVIT debreceni alállomását modellezte. Azért esett éppen erre az állomásra a választás, mivel itt „állatorvosi lóként” a 220 kV-os

átviteli hálózati szinttől a 10 kV-os elosztó hálózati kapcsolóberendezésig mindenféle feszültség-szint és kezelési situáció előfordulhatott. A fejlesztés elindításához pedig a közvetlen lökést egy egész Debrecent érintő hálózati üzemzavar adta. Ez a szimulátor még „alig látott túl az alállomás kerítésén”, bár a vezetékek túlsó végén lévő megszakítókat és védelmeket már modellezte. A szimulátor tanulói felületeként az alállomásban ekkor már néhány éve üzem-szerűen működő helyi megjelenítő, ill. annak egy másolata szolgált.

A 2001-ben befejeződő ÜRIK-projektnek köszönhetően már valamennyi átviteli hálózati alállomáson üzembe kerültek a helyi alállomási megjelenítők (HAM-ok), ami elvileg elősegíthette volna az alállomási tréning-szimulátorok terjedését is. Ebben az időszakban azonban megindult az átviteli hálózaton a kezelői munkahelyek koncentrálódási folyamata, ami azt jelentette, hogy régióként 3-7 szomszédos alállomás kezelését az adott régió súlypontjában lévő alállomásba vonták össze. Ezeket nevezték Kezelő Központoknak (KEK-eknek). Az országban 5 ilyen központot hoztak létre (Zugló, Győr, Toponár, Albertirsa, Sajószöged). A KEK-kezelők már egy kiterjedtebb átviteli hálózatrészt kezeléséért voltak felelősek.

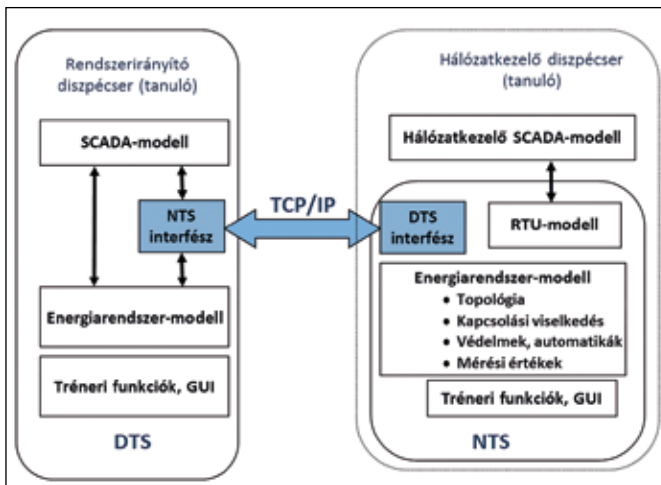
Az alállomási tréning-szimulátornak is igazodnia kellett az új elvárásokhoz. A modellezés immár nem állhatott meg egy-egy alállomás kerítésénél, hiszen a KEK kezelője gyakran egy-egy vezeték mindkét végét felügyelte. A korábbinál relevánsabbá vált a felügyelt hálózatrészt áramlásainak és a távoli tartalék védelmi működések valóság-hű szimulációja is. Az átviteli hálózati kezelés koncentrációjának ütemében 2004 és 2009 között készült el az öt kezelőközponti tréning-szimulátor (KEKTSZ).

Az alállomási kezelési tevékenység összevonása azonban nem állt meg ezen a ponton. Alig, hogy az utolsó KEK és a hozzá tartozó tréning-szimulátor is elkészült a MAVIR úgy döntött, hogy – a paksi alállomás kivételével - valamennyi átviteli hálózati alállomás kezelését egyetlen központba, az ún. Központi Kezelő Központba (KKEK-be) egyesíti. Az üzemirányító rendszer szempontjából ez a korábbi öt KEK SCADA rendszerének összeillesztését jelentette. Az immár KKEK-diszpécserékké avanszált kezelők gyakoroltatásához pedig ki kellett fejleszteni a teljes átviteli hálózatot leképező technológiaszimulátort (KKEKTSZ). Ez nem a korábbi KEK-szimulátorok pusztán mechanikus összeillesztésével valósult meg, mivel a teljes átviteli hálózat szimulációja minőségileg új kihívást jelentett, hanem az öt KEK-szimulátor integrálását, esetenként a modellezési elvek újragondolását is igényelte.

A MAVIR egyesített szimulátora

2010-re tehát már kétféle SCADA-rendszer (Siemens Spectrum és Xgram), valamint kétféle tréning-szimulátor (Spectrum DTS és KKEKTSZ) üzemelt a MAVIR-ban. A Spectrum DTS (mely gyakorlói felhasználói felületként a Spectrum SCADA-t is magában foglalta) a rendszerirányító diszpécserék, az Xgram-KKEKTSZ pedig a hálózatkezelő diszpécserék tréningjét szolgálta. A mindennapi üzemben a rendszerirányító diszpécserék és a hálózatkezelők ugyanabban a helyiségben egymással szoros együttműködésben dolgoznak. Így hamar felmerült a kooperatív tréning igénye, ahol a kétféle diszpécseri team együtt gyakorolhatná az átviteli hálózat irányítását. Mivel a két szimulátor modellezési elvei és képességei gyökeresen eltérnek („fentről lefelé” vs. „alulról felfelé”) egymástól és a funkcionalitásukban is jelentős

különbségek vannak, egyik szimulátorban sem lehetett megvalósítani a kooperatív tréning igényelte összes funkciót és modellt. Megoldásul a két szimulátor összekapcsolása kínálkozott. Az interfész létrehozásakor az egyik legnagyobb kihívást az jelentette, hogy nem csak az adatcserét kellett megoldani, hanem a két szimulátor hálózati modelljének szinkronban tartása érdekében a szimulátorok működési folyamatait is össze kellett hangolni. Ez három lépésben valósult meg. Elsőként 2011-ben a hálózat kapcsolási állapotának és a védelmi működések hatásainak szinkronozott szimulációja készült el. Ez után 2012-ben a mérési értékek összehangolt kalkulációja, 2013-ban pedig a két szimulátor közötti interfész paraméterezését támogató funkciók fejlesztése valósult meg. Jelenleg a MAVIR diszpécserait az összekapcsolás nyomán létrejött „Egyesített szimulátorral” tréningeztetik, amely ötvözi a kétféle szimulátor és a kétféle modellezési filozófia előnyeit (ld. 1. ábra.)



1. ábra

A MAVIR Egyesített tréning-szimulátora

A kezelőközponti tréning-szimulátor fejlődése – részben a később bemutatandó elosztó hálózati szimulációhoz kapcsolódó fejlesztések miatt – nem állt meg. Az új alapfunkciók – amelyek közül a legjelentősebb a hálózatszámítás és a rugalmas, felhasználó által is elvégezhető készülékmodellezés –, 2015 végén, a KKEKTSZ upgrade-je során (KKEK NTS kialakítása) kerültek a MAVIR birtokába.

A két szimulátor együttműködése egyedülálló szimulációs környezetet jelent. A DTS szolgáltatja a valósághű teljesítményeloszlást, feszültségeket, az erőművek szabályozását, míg a KKEK NTS az alállomási reteszeket, és a pontos (és kiemelő, fázishelyes) védelmi modellt. A védelmi működések üzenetei mind a hálózatkezelők Xgram felületén, mind a rendszerirányítók SPECTRUM felületén az éles üzemmellel megegyező formában és tartalommal jelennek meg. Az egyesített szimulátor – a KKEK NTS fejlett funkcionalitásának is köszönhetően – gyakorlatilag kompromisszummentes gyakorlatozást tesz lehetővé. Ezzel a kialakítással rendkívül bonyolult üzemzavarokat lehet modellezni úgy, hogy minden gyakorlatozó folyamatosan terhelve van.

ERŐMŰVI TRÉNINGSZIMULÁCIÓ

Bár a 2000-es években a fejlesztések fő irányát az átviteli hálózati alállomási szimuláció determinálta, nem hagyható említés nélkül az erőművi villamos specialitásokat is modellező *Paksi alállomási és háziüzemi tréning-szimulátor*. A PA Zrt. villamos üzemviteléért felelős vezetők felismerték az erőmű átviteli hálózati kapcsolatának fontosságát. A kapcsolat részleges vagy teljes elvesztése kritikus az erőmű teljes üzemének szempontjából és komoly gazdasági károkat is okozhat. Az alállomási személyzetnek – mint ahogy korábban a MAVIR-nál is láttuk – kulcsszerepe van az üzem folytonosságának fenntartásában. Emellett a PA Zrt. nagyfeszültségű és háziüzemi (6 és 0,4 kV) hálózata, köszönhetően a relatíve nagy számú generátornak (8 db), meglehetősen összetett, és nem is tekinthető át minden aspektusa egyetlen kezelési helyszínről. A tréning-szimulációval a kezelők rutinját és áttekintő képességét kívánták erősíteni. Elsőként 2007-ben elkészült a Paks 400/120 kV-os alállomás tréning-szimulátora, melynek tanulói felületét egy Intellution SCADA keretrendszerben fejlesztett megjelenítő szolgáltatta. A fejlesztés specialitása volt, hogy a szimulátorral kívánták tesztelni a SCADA rendszerhez kapcsolódó, védelmi eseményeket kiértékelő szakértői funkciót is. Emiatt különösen fontosá vált a pontos és valósághű védelem-automatika modellezés. Az ezt követő 2008-2018 közötti időszakban a paksi alállomási szimulátor modellje fokozatosan kibővült a blokki házi üzemi hálózattal, amely lehetővé teszi a blokkok közötti bonyolult áttáplálási utak kialakításának gyakoroltatását is.

Az atomerőmű külső villamos kapcsolatainak elvesztése esetén – az itt nem részletezendő bonyolult reaktorfizikai folyamatok miatt - csak viszonylag rövid ideig képes ellátni önmagát villamos energiával. Hosszabb kiesés esetén teljesen le kell állítani a blokkokat, és utána már csak külső tápfeszültségről lehet egy meglehetősen összetett és hosszadalmas procedúrával ismét elindítani őket. Ehhez a külső tápfeszültséget általában egy másik erőmű (pl. a Dunamenti Erőmű vagy a litéri gázturbina) szolgáltathatja, amelyet az átviteli és a főelosztó hálózaton keresztül kell eljuttatni az atomerőműbe. Ezen bonyolult és sokszereplős folyamat tréning-szimulációját szervezte meg a Paksi Atomerőmű a MAVIR támogatásával 2011 nyarán. A kooperatív tréninghez több szimulátorrendszer bevezetésére is szükség volt. A szimuláció a magyar hálózat teljes black-out állapotából indult. A MAVIR DTS szimulátorában a MAVIR és az E.ON diszpécserének létre kellett hozniuk egy viszonylag stabil fogyasztói szigetet, amelyet a Dunamenti Erőmű gázturbinája táplált. Ezt a feszültséget azután el kellett vezetni az átviteli és a 120 kV-os főelosztó hálózaton keresztül a paksi alállomásba, ahol a paksi alállomási szimulátoron (ATS) kellett az alállomási kezelőnek elvégezni mindazokat a műveleteket, amelyek az egyik blokk házi üzemének feszültség alá helyezéséhez voltak szükségesek. A folyamat végén a blokki operátoroknak kellett elvégezni a blokk újraindítását a blokk-szimulátor segítségével. Mivel a szimulátorok között (DTS, Paks ATS, blokk szimulátor) közvetlen adatcsere nem volt, a különböző szimulátorok modelljeinek folyamatos konzisztenciáját a trénereknek és segítőiknek kellett biztosítani. A teljes gyakorlatot filmfelvételekkel, hangrögzítéssel és

természetesen a szimulátorok naplóival dokumentálták. Ezek elemzése kimutatta, hogy a szereplők közötti kommunikáció minősége befolyásolja legerősebben a folyamat sebességét és eredményét.

ELOSZTÓHÁLÓZATI TRÉNINGSSZIMULÁCIÓ

Ahogykorábban említettük, az ÜRIK-projektbenegyedül az ELMŰ vásárolt tréningsszimulátort. Ennek használatakor azonban hamar kiderült, hogy a rendszerirányítók számára kifejlesztett DTS csak minimálisan felel meg egy KDSZ szintű diszpécseri tréning igényeinek. Még kevésbé alkalmazható az üzemirányítás alsóbb szintjein (ÜIK-kban). Ennek fő oka, hogy a DTS-ből a védelmi és részletes készülékmodellek teljesen hiányoztak.

A piac liberalizálása magával hozta a fogyasztók magasabb minőségi elvárásait, sőt ezek a törvényi, jogszabályi szintű szabályozásba is bekerültek. A fogyasztói zavartatás a szabályozás kiemelt területe, amelyet a regulátor (MEKH) szigorúan felügyel, és a korlátok (SAIDI, SAIFI) átlépése esetén súlyos pénzbüntetéseket szabhat ki a szolgáltatóra. Az elosztó hálózatot üzemirányító diszpécser kiemelt szerepet játszik a fogyasztókat legjobban zavaró hálózati hibák elhárításában, valamint a normál üzem helyreállításában. Bár a napi üzemvitel során a diszpécserek gyorsan megtanulják a lokális hibák optimális kezelését, a nagy kiterjedésű üzemzavarok igencsak próbára teszi képességeiket. Viszont éppen ezek a havariák okozzák a legsúlyosabb fogyasztói zavartatásokat. Ezekre a helyzetekre csak tréningsszimulációval lehet felkészíteni a diszpécsereket. Magyarországon egyre több áramszolgáltató éri el azt a technológiai fejlettségi szintet, amikor megfelelő minőségi mutatókat - a hálózat és az üzemirányító rendszer fejlesztésén túlmenően - már csak a diszpécser-tréningjével tudja produkálni.

Az E.ON, amely hazánkban három (észak-dunántúli, dél-dunántúli és tiszántúli) régióban felelős az áramszolgáltatásért, 2014-ben döntött a tréningsszimulátor és az ehhez kapcsolódó képzési rendszer bevezetése mellett. A három régiót valamint az azokat összekapcsoló átviteli hálózat modelljét tartalmazó tréningsszimulátor 2015 közepén került üzembe, melynek tanulói felületeit az E.ON-nál alkalmazott Siemens Spectrum v4.6 SCADA rendszer szolgáltatta. A szimulátor specialitása, hogy - eltérően pl. a MAVIR-tól - nincs elkülönített szimulációs helyiség, hanem az éles üzemi munkahelyek kapcsolhatók át a tréningsszimulátorra. A sémaképek sárga kerete jelzi a diszpécsernek, hogy szimulációs üzemmódban van. Az elmúlt években szinte naponta gyakoroltak a szimulátorral. A trénerok kidolgoztak egy részletes minősítési rendszert, és több száz üzemzavari eseményhez készítettek forgatókönyvet.

Az NKM Áramhálózati Társaság (korábban DÉMÁSZ) 2018-ban szintén egy tréningsszimulátor beszerzése mellett döntött, mivel felismerte az ebben rejlő előnyöket, részben az E.ON-nál tett szakmai látogatások során szerzett tapasztalatok alapján. Az NKM ÁHT teljes főelosztó és középfeszültségű elosztó hálózata kevésbé kiterjedt, mint az E.ON-é, ezért ezeket egyetlen üzemirányító központból irányítják. A tréningsszimulátor modellezi az NKM területén lévő átviteli hálózati alállomásokat, a 120/középfeszültségű alállomásokat

és a középvezetési vonalakat. A tanulói felületeket első lépésben egy Xgram SCADA szolgáltatja, de mivel folyamatban van az éles üzemi SCADA-rendszer cseréje, a későbbiekben az NTS-nek egy – jelenleg még nem definiált típusú –SCADA-rendszerhez kell majd csatlakoznia.

Mikrogrid, megújuló energiatermelők szimulációja

Az utóbbi néhány évben – a gazdaságpolitikai támogatásnak köszönhetően is – gomba módra szaporodnak a kis teljesítményű megújulóenergia-termelők. Magyarország természeti adottságai különösen jók naperőművek építésére, mivel magas a napsütéses órák száma. Mostanra ezen – főként a kis- és középvezetési betápláló -, mikro erőművek együttes teljesítménye (pl. egy szép napsütéses nyári napon) már relevánsan befolyásolja az elosztó hálózat üzemét. Szélsőséges esetben még a megszokott energiaáramlási irány is megfordulhat, nem beszélve a lokálisan kialakuló magas feszültségekről. Ez a folyamat utat nyitott az olyan kis lokális hálózatok (mikrogrid) kialakulása előtt is, amelyek részben vagy rövidebb ideig akár teljesen (pl. szigetüzemben) képesek ellátni a saját fogyasztóikat. A „mikrogrid” viselkedésének vizsgálata mostanában számos szakcikk és konferencia témája.

Az ELMŰ hatékony támogatásával a Fóti Lovas Terápiás Központban 2012 óta folyamatosan fejlődik egy hasonló mikrogrid, amely többféle megújulóenergia-termelővel és a megtermelt energia tárolására alkalmas viszonylag nagy kapacitású akkumulátorral rendelkezik. Az ELMŰ nem titkolt célja a megújuló energia termelésének népszerűsítése, ezért a lovasterápiás központ területén létrehoztak egy látogatóközpontot, amelyben megfigyelhető a valóságos mikrogrid működése és emellett egy szimulátor segítségével vizsgálható a mikrogrid viselkedése különböző hálózati, fogyasztói és időjárási körülmények között. A szimulátor modellezi a megújulóenergia-termelők viselkedését, és segítségével – főként egyetemi hallgatók számára – kipróbálhatók a különböző szabályozási stratégiák (pl. párhuzamos vs. szigetüzem, energiatöbbletes vs. hiányos állapot).

SZIMULÁCIÓS MODELLEK ÉS MODELLEZÉSI ELVEK

A szimulátormodellek tervezésekor az alábbi, egymásnak ellentmondó követelményeket kell kielégíteni:

- A modellezés pontossága és részletessége
- A modellek fizikai kiterjedése (hálózat mérete, szimulált feszültség szintek, elemek száma)
- Az elvárt válaszidők

A fentieket összefoglalóan a modellezés terjedelmének (scope) nevezik. További szempontok lehetnek a költségek (hardver, szoftver, fejlesztési munka) és a megvalósítás időtartama.

A tréning-szimulátor modelljeit abból lehet meghatározni, hogy milyen jellegű diszpécseri tevékenységek oktatására kívánják használni (napi rutintevékenységek és üzemzavar-elhárítás, üzem-helyreállítás). Ha felülről lefelé haladunk az üzemirányítási hierarchián, akkor a rendszerszintű folyamatokról a hangsúly fokozatosan az egyes készülékek (kapcsolókészülékek, védelmek) működésének részleteire helyeződik át.

A tréningsszimulációs modellezésnek az alábbi területeket kell lefednie:

- A villamos hálózat stacioner és az átmeneti állapotok modellezése pl. a mérési értékek (áram, feszültség, teljesítmény) folyamatos változása.
- Időben szakaszos, ill. pillanatszerű (diszkrét) események modellezése (pl. primer vagy szekunder készülékek működése)

Az analóg értékek változásának időben folytonos modellje

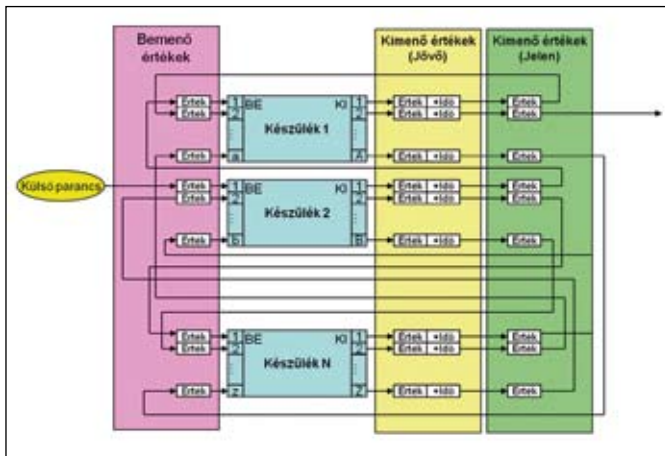
A kapcsolások vagy zárlatok okozta villamos hálózati tranziensek a modellezés szempontjából nem relevánsak, mivel olyan gyorsan lezajlanak, hogy azokat sem a diszpécser, sem pedig az adatgyűjtő rendszer (SCADA, RTU) nem érzékeli. A hálózati állapotváltozók (áram, feszültség, teljesítmény, frekvencia) egymást követő stacioner állapotokkal szimulálhatók (kvázi-stacioner modell) a változást megelőzően és azt követően. A hálózati állapotváltozókat sugaras hálózatokon csomóponti potenciál módszerekkel, hurkolt hálózatok esetében pedig iteratív algoritmusokkal (Gauss-Seidel, Newton-Raphson, Fast decoupled) [1][2][3] lehet kiszámítani.

Az alállomáson belül a klasszikus load-flow algoritmusok nem használhatók, mivel itt az ágak impedanciája közel nulla, viszont ezekben az ágakban is vannak árammérések, melyeket szimulálni kell a tanuló számára. A csomópontokon belüli áramlások számítása egy speciális csomóponti potenciálon alapuló módszerrel lehetséges, amelyet bizonyos heurisztikus megközelítéssel kell kiegészíteni. [4] Végeredményben a load-flow algoritmus kiszámolja a hálózati csomópontok közötti áramlásokat, az alállomáson (csomóponton) belüli koherens áramlásokat, pedig az előbb említett speciális algoritmus szolgáltatja.

A hálózat készülékeinek diszkrét modellezése

Az egyes hálózati elemeket, készülékeket (megszakítók, szakaszolók, védelmek, automatikák, reteszrendszer stb.) leginkább ún. szinkron sorrendi hálózatokként lehet modellezni [5]. Ebben az egyes készülékek kimenetei csak a bemenetektől és belső állapotváltozóiktól függnnek. (Erre az egyik legjobb példa a visszkapcsoló automatika.) Ebben a megoldásban a készülék viselkedését egy belső kombinációs algoritmus határozza meg, amely leírja a kapcsolatot a bemenetek, állapotváltozók és a kimenetek között. Az egyes különálló készülékmodellek ki- és bemeneteikkel összekapcsolhatók egymással, ugyanúgy mint a valóságos készülékek. (Ld. a 2. ábrát.) Egy készülék kimenete akár a saját bemenetére is visszacsatolható, ha a készülék viselkedésének modellezése ezt megkívánja. Egy kimenet (pl. egy védelmi kioldás) megváltoztathatja egy másik készülék bemenetét (pl. egy megszakító kioldó bemenetét). Ebben az esetben a készülék viselkedését leíró algoritmusnak a megváltozott bemenetekhez ki kell számolnia az új kimeneti értékeket (a megszakító KINT állapotba kerül). Ezt a folyamatot mindaddig ismételni kell, amíg az egész szinkron sorrendi hálózat ismét nyugalomba nem kerül.

Egy speciális algoritmus a Discrete Time Simulation Module (DTSM) gondoskodik a készülékek belső algoritmusainak ciklikus futtatásáról és a készülékek közötti jelek, értékek szétterjesztéséről. A szinkron sorrendi hálózat órajelének a DTSM ciklusa felel meg.

**2. ábra**

Diszkrét események
modellezése szinkron sorrendi
hálózzal

A DTSM kezeli a szimulációs időt és generálja a milliszekundumos pontosságú időbélyeget az egyes jelzészváltozásokhoz (védelmi kioldás, megszakító kioldás, automatikus visszacsatlás stb.).

A villamos hálózat topológiájának modellezése

A szimulátorban kétszintű topológia modellezés biztosítja a kapcsolódást a folytonos (kvázi-stacioner) és a diszkrét modellek között [4]:

A részletes primer topológia modell tartalmazza valamennyi, a szimuláció szempontjából lényeges nagyfeszültségű hálózati elemet és készüléket, ill. azok kapcsolódási pontjait (gyűjtőszínt, vezetéket, transzformatort, kapcsolókészülékeket, mérőváltókat stb.). Az állomáson belüli hálózati elemeket is egyesével le kell képezni (gyűjtőszínszakaszokat, átkötő vezetéseket stb.). Ezeken dolgozik a korábban említett potenciálmódszeren alapuló csomópontokon belüli áramlásszámító algoritmus.

A csomópontág modell a részletes topológiából származtatható, melynek ágai a nagyimpedanciás elemek (távvezeték, transzformatör) csomópontjaiba pedig összevonhatók a nagyimpedanciás elemek által határolt topológiai részek hálózati elemei (sínek, kapcsolók, rövid vezetékek stb.). [4] A load-flow számítás ezt a modellt használja.

A topológia változását a fenti modelleknek is dinamikusan követnie kell. Például a védelmek egy rövidzárlatot érzékelnek a mérőtranszformatoron keresztül és kikapcsolnak egy megszakítót, ami viszont megváltoztatja a csomópontág modell topológiáját is. Ekkor a megváltozott állapotra le kell futtatni a load-flow számítást és a hálózati állapotváltozók új értékeit be kell állítani a részletes topológia mérőtranszformatör modelljein.

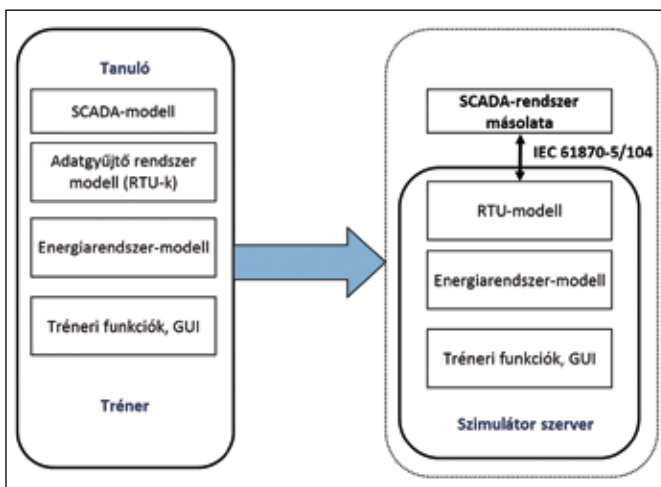
A valóságban a védelmek a mérési pontjukon fellépő áram és feszültség jelalak alapján érzékelik és osztályozzák a zárlatokat. A tréning-szimulátorban ezt a bonyolult és erőforrás igényes algoritmust nem kell pontosan megvalósítani, hiszen a zárlat helye és fajtája pontosan ismert, mivel azt az oktató helyezte el a hálózaton. Elegendő a zárlat tulajdon-

ságait szétterjeszteni a hálózaton, az azokat érzékelő védelmeknek pedig csak a logikai működését kell szimulálni a valóságos mérő és digitális szűrési algoritmusok megvalósítása helyett.

A részletes topológiamodell támogatja a kapcsolási műveletek eredményének előrejelzését is, azaz hogy az sikeresen végrehajtható, vagy pedig valamilyen üzemzavart (földzáratra kapcsolást, terhelésszakaszolást) fog okozni. A terhelésszakaszolás és a földzáratra kapcsolás veszélyének felderítésére több topológia bejáró és kiértékelő algoritmus fut le valamennyi kapcsolási művelet elvégzése előtt. Ily módon a kapcsolási viselkedés szimulációja a topológiamodellezés egy algoritmikus kiterjesztésének tekinthető. A gyakorlatban a reteszrendszer akadályozza meg a hibás kapcsolásokat, de a szimulációs környezetben didaktikai célokból a reteszelési hibák is modellezhetők a reteszrendszeri funkciók kikapcsolásával.

Szimulátor architektúrák

A 3. ábra bal oldalán a tréningsszimulátorok fontosabb funkcióit tüntettük fel. Az ábra jobb oldalán pedig a gyakorlati megvalósítást szemléltetjük, azaz hogy az egyes funkciócsoportok általában mely hardvereken/szervereken futnak. A valóság-hű tanulói felületek leggazdaságosabban a meglévő SCADA-rendszer szoftverének másolatával biztosíthatók. Ezen felületek és funkciók újrainása aránytalanul költséges lenne és még így sem lenne elérhető a teljes valóság-hűség. Ily módon a SCADA-t nem szimuláljuk, hanem emuláljuk. Az összes többi modell (hálózat, készülékek) esetében viszont a szimuláció (és nem az emuláció) a legköltséghatékonyabb megoldás egy erre a célra kialakított hardver-környezetben. [5] A szimulátorszerver szabványos kommunikációs protokollon keresztül kapcsolódik a tanulói SCADA-hoz. A villamosenergia-iparban a legelterjedtebb az IEC 61850/5-104 protokoll, amely nagy mennyiségű RTU szimulációját teszi lehetővé egyetlen fizikai csatlakozással



3. ábra

Szimulátorfunkciók és fizikai megvalósítás

A fenti architektúra előnyei:

- Amennyiben egy valódi hálózatot szimulálunk, akkor a tanulói SCADA-n semmilyen módosítás nem szükséges. Így módon jelentős SCADA engineering munkát lehet megtakarítani.
- Az éles SCADA-rendszerbe integrált szimuláció is megoldható, melynek során az éles SCADA rendszermunkahelyeit lehet átkapcsolni a szimulációs SCADA-rendszerbe. (Ezt a megoldás választották pl. az E.ON-nál.)
- A szabványos kommunikációs interfésznek köszönhetően a szimulátorszerver bármilyen SCADA-rendszerhez könnyen hozzáilleszthető.
- A szimulátorszerver önállóan, a SCADA-kapcsolat nélkül is üzemképes, pl. a gyakorlatok előkészítése során, vagy demonstrációs célokból. A szimulátorszerver akár egy notebookon is futtatható.

ÖSSZEZÉS

Hazánkban mind a rendszerszintű, mind a regionális, illetve alállomási kezelők gyakoroltatására alkalmas szimuláció eszközrendszere kialakult, és hatékonyan támogatja az operátorok képzését. A két, eltérő modellezési súlypontú szimuláció előnyeit aknázza ki a rendszerirányító MAVIR egyesített tréninguszimulátora. Ma már a magyar elosztó hálózat túlnyomó részének üzemeltetésében is jelentős szerepet kap a védelmeket, automatikákat, primer készülékeket is teljes valóságúsággal leképező tréninguszimulátor (E.ON, NKM).

A jövőben a tréninguszimulációt az üzemirányítás valamennyi szintjén érinti a smart technológiák terjedése. A szimulációs modellezést alkamassá kell tenni a megújuló termelők, tárolók, mikrogridek valóság-hű modellezésére, új szabályozási elvek és eszközök (pl. Active Network Management, ANM) leképezésére, mivel ezek új üzemeltetési gyakorlatok kialakítását követelik meg. Az energiatermelés és -elosztás rendszere a növekvő arányú elosztott energiatermelés miatt drasztikus átalakulás előtt áll, ami újabb kihívások elé állítja a villamos hálózatok irányítóit is. Fontos, hogy legyenek olyan tréninguszimulátoraink, amelyek támogatják ebben őket. Ez azonban csak úgy valósulhat meg, ha maguk a szimulátorok is követik sőt, esetenként még meg is előzik a valóságos technológiák fejlődését.

Irodalomjegyzék

- [1] **B. Stott, O. Alsac**, „Fast Decoupled Load Flow”, IEEE Transactions PAS, vol. 93, pp 859-869, 1974
- [2] **R.A.M. van Amerongen**, „A General-Purpose Version of the Fast Decoupled Load-flow”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 2, 1989
- [3] **A. Monticelli, A. Garcia, O. R. Saavedra**, „Fast Decoupled Load Flow: Hypothesis, Derivations and Testing”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 4, 1990
- [4] **Csatár János, Dobos Gábor, Gaál Róbert** „Tréninguszimulátorok hálózatszámítási módszerei”, Elektrotechnika 2017/10
- [5] **R. Gaál, A. Kovács**, „Training simulation models and architectures in power system operation and control”, DEMSEE’15 10th International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South Eastern

