



معاونت پژوهشی

کد سند: RO-S-F-27-03

تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه

عنوان طرح / پروژه: امکان‌سنجی احداث آزمایشگاه مطالعات شبکه‌های الکتریکی مدرن

واحد مجری:	گروه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت - محور پژوهشی کیفیت توان	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح / پروژه:	مرتضی شعبان‌زاده	مجری:	نیکی مسلمی
کد مالی پروژه:	۱۸۳۰۰۴	کد کیفی پروژه:	PPUSPN03
نوع طرح / پروژه:	امکان‌سنجی	معاونت:	پژوهشی

همکاران: آرش صفوی‌زاده، سید یوسف موسی‌زاده موسوی، علیرضا بهمنیار

کلمات کلیدی: شبیه‌ساز زمان-واقعی (بی‌درنگ)، آزمایشگاه سیستم قدرت، شبیه‌سازی حلقه سخت‌افزار، سیمولاتور، پیاده‌سازی ریزشبکه، بومی‌سازی فناوری.

ضرورت انجام پروژه / طرح:

امروزه بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت نوین وابستگی فراوانی به پیش‌آزمون‌های شبیه‌سازی در آزمایشگاه‌های پژوهشی دارد. در واقع، حضور آزمایشگاه‌های شبیه‌ساز زمان-واقعی سیستم‌های قدرت به ویژه در ایجاد ریزشبکه‌های الکتریکی در سطح استانداردهای جهانی جهت حصول اطمینان از اثرات متقابل فنی و غیرمخرب تجهیزات جدید و نوین بر عملکرد سیستم پیش از بهره‌برداری و اتصال به شبکه قدرت واقعی ضروری است. علاوه بر این، شبیه‌سازی المان‌های مختلف سیستم قدرت و بررسی اثرات فنی هر المان بر شاخص‌های عملکردی و بهره‌برداری شبکه و متقابلاً اثرات شبکه بر تجهیز، خود به طور یقین مانع از تحمیل هزینه‌های سنگین ناشی از اثرات مخرب احتمالی این المان‌ها بر شبکه واقعی برق و تجهیزات آن خواهد شد. به عبارت دیگر، به کمک آزمایشگاه‌های مطالعات شبکه‌های الکتریکی با انجام شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های گوناگون می‌توان پیش از سرمایه‌گذاری بابت خرید و یا ساخت یک فناوری مورد نظر، اثرات متقابل آن را بر سایر المان‌های شبکه سنجید و در صورت تایید انتظارات برآورد شده، نسبت به اقدامات بعدی (خرید، نصب و بهره‌برداری) تصمیم‌گیری نمود.

انواع مختلفی از ابزارهای شبیه‌سازی برای مدل‌سازی و برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت، از سیستم‌های انتقال ولتاژ بالا تا شبکه‌های توزیع ولتاژ پایین و کنترل‌کننده‌ها و دستگاه‌های کوچک، از آنالیز حالت‌های گذرای سریع تا مطالعات برنامه‌ریزی در افق‌های زمانی بلندمدت، وجود دارد. همچنین، در سیستم‌های انرژی الکتریکی امروزی منابع انرژی تجدیدپذیر به صورت منابع انرژی توزیع شده، به طور گسترده‌ای در حال توسعه هستند از طرف دیگر، تجهیزات هوشمند مانند ادوات قرائت و اندازه‌گیری تحت زیرساخت‌های اندازه‌گیری هوشمند (AMI) در حال پیاده‌سازی و بکارگیری هستند. لذا پیچیدگی و وابستگی متقابل زیرساخت‌ها روز به روز در حال افزایش است به گونه‌ای که سیستم‌های مخابراتی در کنار سیستم‌های انرژی (برق، گاز و حرارت) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این تحولات به گونه‌ای است که نسل شبکه‌های سایبرفیزیکی در حال شکل‌گیری است که تلفیقی از عملکرد سیستم واقعی و فیزیکی در کنار الگوریتم‌ها و برنامه‌های نرم‌افزاری در دنیای مجازی می‌باشند. در این راستا، بدیهی است که تحقیق و توسعه در زمینه سیستم‌های انرژی الکتریکی از منظر تجهیزات و روش‌های شبیه‌سازی و کنترل پیشرفته آن‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان ضرورت ایجاد شبیه‌سازهای زمان-واقعی شبکه‌های انرژی (برق، گاز و حرارت) را به صورت زیر خلاصه نمود:

- ۱- بررسی رفتار شبکه در حالت‌های مختلف عملکرد به منظور انجام مطالعات تحلیلی برنامه‌ریزی و بهره‌برداری؛
- ۲- تست فنی تجهیزات نوین هنگام اتصال به شبکه و تحلیل عملکرد متقابل آن‌ها با شبکه واقعی؛
- ۳- ارزیابی عملکرد روش‌های بهره‌برداری و الگوریتم‌های تحلیلی پیش از اعمال در شبکه واقعی؛
- ۴- آموزش دانشجویان، مهندسان، و بهره‌برداران در محیط شبیه‌سازی واقعی و در مواجهه با موقعیت‌های مختلف بهره‌برداری.

اهداف پروژه/طرح:

استقرار فناوری‌های جدید و تعامل و اثرات آن‌ها بر سیستم‌های قدرت قبل از اجرا نیاز به آزمایش و اعتبار سنجی دارد. برهمکنش عملکرد فنی تجهیزات جدید بر سیستم قدرت باید قبل از اتصال نمونه‌های اولیه آزمایش شوند، یا رفتار نمونه‌های اولیه فیزیکی در تعامل با شبکه‌های قدرت باید از قبل در یک محیط مجازی مورد آزمایش قرار گیرند. این امر نیازمند آزمون تجهیزات نوین سیستم قدرت در محیطی است که تا حد ممکن به دنیای واقعی (شبکه‌های فشار قوی و فشار ضعیف برق) نزدیک باشد. علاوه بر تجهیزات، روش‌های بهره‌برداری جدید نیز باید قبل از اتصال یا استفاده از فناوری‌های نوظهور در دنیای واقعی بررسی شوند. احداث یک آزمایشگاه پژوهشی، یک معادل مجازی از سیستم‌های قدرت را برای پژوهشگر یا بهره‌بردار فراهم می‌کند که در آن می‌توان قبل از پیاده‌سازی عملی و اجرا در دنیای واقعی، مطالعات فنی و راهبردهای بهره‌برداری از فناوری‌های جدید را مورد آزمایش قرار داد و صحت، اثرات و مزایای آن‌ها را بررسی نمود. بنابراین، حضور آزمایشگاه‌های شبیه‌ساز شبکه‌های قدرت و به ویژه ریزشبکه‌های الکتریکی در سطح استانداردهای جهانی جهت حصول اطمینان از اثرات متقابل فنی و غیرمخرب تجهیزات (مولدها و مصارف) نوین بر عملکرد سیستم قدرت پیش از استفاده یا اتصال به شبکه واقعی ضروری است.

به طور خلاصه، چشم‌انداز صنعت برق دنیا نشان می‌دهد که در سال‌های آتی دانش فنی مدیریت نوین سیستم‌های قدرت آینده از منظر روش‌های بهره‌برداری فناوری‌ها و کنترل پیشرفته آن‌ها اجتناب‌ناپذیر خواهد بود و یکی از الزامات اساسی در این زمینه، در اختیار داشتن آزمایشگاه‌های پژوهشی شبیه‌ساز زمان-واقعی است. لذا، هدف اصلی از این طرح تحقیقاتی، امکان سنجی احداث آزمایشگاه مطالعات شبکه‌های الکتریکی مدرن می‌باشد. مهمترین مزیت آزمایشگاه‌های مبتنی بر شبیه‌سازی زمان-واقعی، امکان جایگزینی دستگاه‌های فیزیکی با دستگاه‌های مجازی است که نه تنها باعث کاهش هزینه‌ها می‌شوند بلکه امکان آزمایش بدون وقفه و مداوم رفتار فنی متقابل و عملکرد فنی سیستم قدرت مورد مطالعه را به سادگی ممکن می‌کنند. در این حالت، می‌توان بسیاری از تغییرات ممکن را بدون انجام اصلاحات فیزیکی و تحت شرایط خطرناک محتمل به صورت ایمن آزمایش کرد. لازم به ذکر است، هدف از ایجاد این آزمایشگاه، فراهم نمودن بستر پژوهشی لازم برای انجام مطالعات تحت شبکه برق (از سطوح ولتاژی فشار ضعیف تا فشار قوی) می‌باشد و تنها جنبه‌های سیستمی موضوع مورد توجه پژوهشگران این آزمایشگاه خواهد بود لذا تحلیل، تست و بررسی جنبه‌های فیزیکی، حرارتی، شیمیایی، و ... تجهیزات و ادوات مورد نظر که مختص خود فناوری می‌باشد و می‌توانند در آزمایشگاه‌های تخصصی خود مورد مطالعه قرار گیرند، مد نظر این آزمایشگاه نیست.

چکیده پروژه/طرح:

با توجه به تحولات اخیر در سیستم‌های قدرت (از سطح HV تا LV) و معرفی مفاهیم نوظهور شبکه‌های هوشمند، ریز شبکه‌های الکتریکی، نیروگاه‌های مجازی، شبکه‌های توزیع فعال، نفوذ زیاد DERها، چالش‌های جدید کیفیت توان و همچنین بسترهای پایش و اندازه‌گیری مبتنی بر اینترنت اشیا، مدل‌سازی و شبیه‌سازی زمان-واقعی جهت تجزیه و تحلیل و انجام مطالعات کنترل و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت مدرن کاملاً ضروری است. در حقیقت، با استفاده از شبیه‌سازهای زمان-واقعی، می‌توان قبل از پیاده‌سازی‌های میدانی، راهبردهای فنی و کنترلی را برای استفاده از فناوری‌های جدید به طور ایمن آزمایش کرد. در این راستا، راه‌اندازی آزمایشگاه تحقیقاتی شبیه‌ساز زمان-واقعی شبکه‌های الکتریکی مدرن در کشور می‌تواند بستر تحقیقاتی بسیار مناسبی را برای مطالعات مختلف سیستم‌های انرژی الکتریکی توسط محققان، مجریان پروژه‌های صنعت برق و بهره‌برداران سیستم فراهم کند.

بر این اساس، در این پروژه ابتدا راه‌اندازی یک آزمایشگاه تحقیقاتی مبتنی بر شبیه‌ساز زمان-واقعی با هدف تحلیل سیستم‌های قدرت مدرن بررسی می‌شود. علاوه بر این، نیازهای اولیه شبیه‌سازهای زمان-واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرند. پس از آن، امکانات مورد نیاز مطابق با استانداردهای بین‌المللی و ملی تعیین می‌شود و به کمک آن، مشخصات فنی تجهیزات مورد نیاز برای راه‌اندازی این آزمایشگاه تحقیقاتی استخراج می‌شود. در نهایت، نسبت منفعت به هزینه تصمیم‌گیری در خصوص خرید یا بومی‌سازی نمودن تجهیز اصلی این فناوری (شبیه‌ساز/سیمولاتور زمان-واقعی) در داخل کشور ارائه خواهد شد.

مراحل و روش‌های انجام پروژه/طرح:

مرحله (۱) مطالعه تجربیات دنیا و استخراج ملزومات اولیه (هدف اصلی از این بخش، بیان ضرورت انجام این پژوهش است).

- (۱-۱) بیان ضرورت تجهیز و راه‌اندازی آزمایشگاه و جمع‌آوری و مطالعه گزارش‌ها، اسناد و مدارک و استانداردهای مربوطه
- (۲-۱) شرح گزارش بازدید از آزمایشگاه‌های مشابه داخلی و مطالعه آزمایشگاه‌های مشابه خارج از کشور
- (۳-۱) تشریح آزمون‌های قابل انجام با ذکر استانداردهای مرتبط در آزمایشگاه با ارائه لیست آزمون‌ها

مرحله ۲) تعیین مشخصات فنی و قیمت تجهیزات (هدف اصلی از این بخش، بررسی تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش بر اساس استانداردهای بین‌المللی است. این بررسی شامل تجهیزات مورد نیاز، مشخصات آن‌ها، برندهای موجود در بازار، اخذ کاتالوگ و قیمت تقریبی این تجهیزات است).

مرحله ۳) طراحی آزمایشگاه (هدف اصلی این بخش بیان ملزومات اداری، بهداشتی، ایمنی و جانمایی تجهیزات آزمایشگاه بر اساس استانداردهای بین‌المللی و ملی است).

مرحله ۴) ارائه برنامه ارزیابی اقتصادی، زمان‌بندی تقریبی و اعتبار تخمینی برای تجهیز و راه‌اندازی آزمایشگاه (هدف از این بخش بررسی اقتصادی بر اساس مدل هزینه به سود ایجاد آزمایشگاه، تخمین زمان بازگشت سرمایه و جدول اولویت‌بندی و زمان‌بندی خرید تجهیزات است).

انجام مراحل بدین صورت است که پس از بررسی تجربیات دنیا و داخل کشور، مطالعاتی در خصوص استخراج ملزومات اولیه، توجیه ضرورت تجهیز، و شناخت آزمون‌ها و استانداردهای لازم انجام خواهد شد. سپس، مشخصات فنی فناوری‌های لازم به همراه اولویت آن‌ها جهت تأمین تجهیزات آزمایشگاه تعیین شده و قیمت آن‌ها استخراج می‌شود. در ادامه، چیدمان اولیه‌ای از فضای آزمایشگاه طراحی شده و ارزیابی اقتصادی و مطالعه بازار برای ارائه خدمات آزمایشگاهی و پژوهشی (برای صنعت و دانشگاه‌ها) به همراه پیش‌بینی مدت زمان بازگشت سرمایه و همچنین یک برنامه زمان‌بندی شامل فعالیت‌های خرید، نصب و راه‌اندازی تجهیزات آزمایشگاه تا مرحله احداث و بهره‌برداری ارائه خواهد شد.

اهم نتایج به دست آمده از انجام پروژه/طرح (خروجی‌های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش‌های فنی و ...):

جهت تأسیس یک آزمایشگاه شبیه‌ساز دیجیتال زمان-واقعی که نیازمند صرف هزینه قابل توجهی برای سازمان است بایستی به دو نکته مهم توجه داشت: ۱) نحوه تأمین تجهیزات اصلی آزمایشگاه؛ ۲) نحوه نگهداشت و پشتیبانی آن‌ها. در این خصوص، دو راهکار پیش رو داریم که هر دو دارای مزایا و معایب منحصر به فرد می‌باشند. این دو راهکار عبارتند از:

- **راهکار اول)** خرید تجهیزات از شرکت‌های خارجی
- **راهکار دوم)** توجه به ظرفیت‌های داخلی

با این حال، به دلیل تحریم‌ها و مشکلات ارزی، می‌توان به راهکار دوم با جدیت بیشتری نسبت به گذشته فکر نمود و در واقع طی یک برنامه نسبتاً بلندمدت، در زمینه ایجاد دانش و تخصص بومی حوزه طراحی و ساخت فناوری‌های شبیه‌ساز سرمایه‌گذاری جدی نمود. "ما بر این باور هستیم که با توجه به توانمندی‌های دانشی خوبی که در داخل کشور در رشته‌های مهندسی الکترونیک، الکترونیک قدرت و مهندسی سخت‌افزار کامپیوتر وجود دارد، می‌توان به خودکفایی در زمینه ساخت سیستم‌های شبیه‌ساز زمان-واقعی و HIL فکر نمود و در جهت طراحی و توسعه محصولات جانبی و سپس اصلی آن پله به پله قدم برداشت". مطمئناً این امر نیازمند تدوین یک نقشه‌راه فناورانه است که به پشتوانه تشکیل تیم تحقیقاتی از دانشمندان ایرانی متشکل از مهندسين برق-قدرت، الکترونیک دیجیتال و میکروالکترونیک، مهندسين کامپیوتر سخت‌افزار و نرم‌افزار تحقق‌پذیر خواهد بود. شرح جزئیات راهکارهای مطرح شده و تجربیات حاصل از تعامل و مکاتبه با پیشگامان تولید این فناوری در دنیا به عنوان دستاوردهای اصلی این پژوهش در قالب گزارش فنی منتشر شده است تا شاید آیندگان با عنایت به چالش‌های پیش‌رو و بدون کسب تجربه مجدد، مسیرها و فرصت‌های جدیدی را برای صنعت برق کشور فراهم آورند.