کنترل بانک های خازنی پست های فوق توزیع با استفاده از قابلیت های سیستم DCS[1]

فهیمه طاهریان[۱]، رضا همدانی[۲]، یاسرمحمودیان[۳]

[۱] مدیردفترفنی انتقال، شرکت برق منطقه ای سمنان، سمنان، ftaherian1395@gmail.com

[۲] کارشناس مسئول رلیاژ دفترفنی انتقال، شرکت برق منطقه ای سمنان، سمنان، reza_hamedani@semrec.co.ir

[۳] کارشناس رلیاژ دفترفنی انتقال، شرکت برق منطقه ای سمنان، سمنان، power.electric@gmail.com

چکیده

با جبران توان راکتیو در محل مصرف، می توان مقدار توان راکتیو عبوری از شبکه را کاهش داده و به بهبود ولتاژ و کاهش تلفات شبکه دست یافت. بانک های خازنی به منظور جبران سازی توان راکتیو واصلاح ضریب توان در شبکه نصب می گردند. جهت نصب خازنهای ثابت بر روی فیدرها باید کمترین مقدار بار در ساعات کم باری در نظر گرفته شود و یا اینکه با استفاده از خازن های سوئیچ شونده خازن گذاری صورت پذیرد. سیستم کنترل خازنی ، توان راکتیو را با پله های کوچک کنترل می کند، به نحوی که راندمان کل سیستم بالا می رود. پست های احداث شده در سالیان اخیر معمولا اتوماسیون و به اصطلاح، پست از نوع DCS است و جهت کنترل بانک های خازنی از رله های VCR[2] استفاده می شود. در این مقاله پیشنهاد شده است رله VCR و تابلو و مدارات مرتبط با آن در پست های DCS ، حذف گردد و در مقابل از قابلیت پردازشی و نرم افزاری سیستم اتوماسیون در نرم افزار پست های DCS جهت کنترل بهتر و موثرتر با نک های خازنی استفاده شود.

کلمات کلیدی

بانک خازنی، پست فوق توزیع، سیستم DCS، کنترل خودکار، ضریب توان، رله های VCR،توان راکتیو

۱- مقدمه

کنترل توان راکتیو بعنوان یک عامل حائز اهمیت در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت الکتریکی جریان متناوب از دیرباز مورد توجه بوده است. از سوی دیگر پایین بودن ضریب توان هزینه های تولید، انتقال و توزیع و نیز نگهداری تجهیزات در شبکه را افزایش می دهد. در حال حاضر در پست های فوق توزیع از بانک های خازنی برای بهبود ضریب توان و بهبود ولتاژ استفاده می شود. زیرا توان راکتیو مورد نیاز بارهای الکتریکی (که عمدتاً بارهای القایی هستند) توسط خازن های نصب شده تامین می گردد و در نتیجه توان راکتیو کمتری از خطوط عبور می کند. لذا با استفاده از خازن، کل جریان عبوری از خطوط کاهش می‌یابد که این خود سبب کاهش تلفات انرژی و کاهش افت ولتاژ در شبکه می‌گردد. همچنین با کم شدن جریان خطوط ، سطح مقطع کابلها و جریان نامی کلید ها کاهش می یابد که این موارد باعث صرفه جویی اقتصادی و کم شدن هزینه ها می گردد. استفاده از تجهیزات جبران ساز توان راکتیو نقش مهمی در حفظ ولتاژ در محدوده مجاز دارند [۱].

دراین مسئله اقتصادی باید هزینه های مربوط به خرید و نصب خازن و تجهیزات مربوط به آن از جمله های تابلو های کنترل و حفاظت و همچنین تعمیرات و نگهداری آنان را باید در نظر گرفت. به عبارت دیگر در مقابل صرفه جویی اقتصادی ناشی از استفاده از خازن در شبکه باید هزینه های مربوط به خرید ونصب خازن و تجهیزات جانبی آن را لحاظ کرد. لذا مسأله خازن گذاری بهینه، عبارت است از کنترل خازن ها جهت ماکزیمم کردن منافع ناشی از نصب خازن ها در مقابل هزینه آن ها.

خازنهای نصب شده در شبکه معمولا به صورت پله های ۲/۴ مگاواری و با کلید نصب می گردد و بایستی بگونه ای باشد که در کم باری امکان خارج از مدار شدن آن ها وجود داشته باشد.

در این مقاله روش پیشنهادی برای کنترل پله های بانک های خازنی با استفاده از قابلیت های سیستم اتوماسیون پست های DCS، در مقابل روشهای متداول استفاده شده در حال حاضر، ارائه شده است.

۲- چالش های کنترل بهینه بانک های خازنی

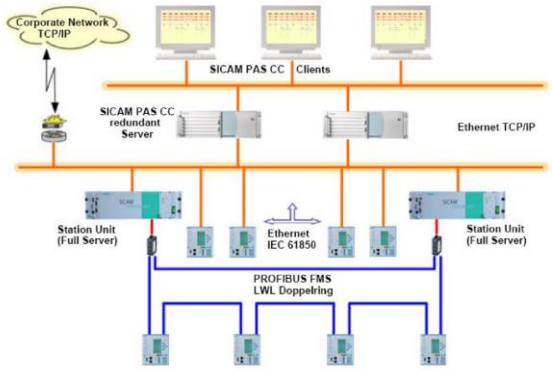
هدف از کنترل بهینه توان راکتیو، تامین منبع راکتیو کافی در سیستم قدرت است به نحوی که میزان تلفات و انحراف ولتاژ کمینه شود. به بیان دیگر بدلیل تغییرات میزان انرژی مصرفی بار در طول زمان، لازم است تا میزان توان راکتیو تزریق شده بوسیله خازن به شبکه نیز تغییر نماید [۲].

هنگام استفاده از بانک های خازنی ، دراکثر موارد، عمل کنترل با استفاده ازکلیدهایی صورت می گیرد که بصورت دستی و با لحاظ کردن شرایط فصلی، خازنها را وارد یا از مدارخارج می کنند. چنین کنترلی، مؤثر وکارا نیست، زیرا در شرایط بارکم، معمولا شبکه دچار اضافه توان راکتیو می‌شود. اگرچه بانک های خازنی، تک تک و کوچک هستند اما اثر مجموع آنها بر سیستم قابل ملاحظه است. در پست های احداث شده در سالیان اخیر معمولا سیستم کنترل پست از نوع DCS است و جهت کنترل بانک های خازنی از رله های VCR استفاده می شود.در این مقاله پیشنهاد شده است رله های VCR و مدارات و تابلو مرتبط با آن برای بانک های خازنی حذف گردد . علت این پیشنهاد هزینه بالای تامین رله های VCR ، تابلو و مدارات مربوطه و پیچیدگی زیاد مدارات VCR و کارا نبودن این کنترل در صورت وجود تعداد محدود پله بانک خازنی و بزرگ بودن ظرفیت هر پله می باشد [۳]. در مقابل از ظرفیت پردازشی سیستم اتوماسیون در نرم افزار پست های DCS جهت کنترل بهتر و موثرتر با نک های خازنی استفاده می شود. در ادامه ضمن معرفی سیستم اتوماسیون پست های DCS وطرح های متداول و اشکالات موجود در مدارات VCR،به تشریح روش پیشنهادی و مزایای آن پرداخته شده است.

۲-۱- معرفی سیستم اتوماسیون پست های فشار قوی (DCS)

بطور کلی سیستم اتوماسیون پست که با نام DCS مرسوم می باشد مجموعه ای از IED[3] ها (رله ها ، بی کنترل ها ، میترها و...) می باشند که با استفاده از میکروپروسسورها و پورت های ارتباطی تحت یک توپولوژی مشخص شبکه و با پروتکل ارتباطی استاندارد قادرند با ارسال و دریافت داده های دیجیتال وظایف اصلی : ۱- مانیتورینگ ۲- کنترل و اتوماسیون و ۳-ذخیره سازی و آنالیز داده ها را ارائه دهند. پروتکل استاندارد توسعه یافته به این منظور IEC61850 می باشد که امروزه غالبا IED های ساخته شده جهت امکان بکارگیری در پست های DCS از آن برخوردارند [۴].

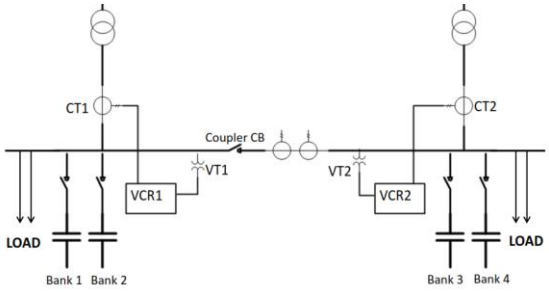
در شکل(۱) یک نمونه از پیکربندی یک پست DCS آورده شده است:



شکل (۱) : پیکر بندی نمونه پست DCS

۲-۲- معرفی VCR

ورود و خروج پله های بانکهای خازنی می تواند بصورت دستی و اتوماتیک انجام گیرد. در روش دستی ورود و خروج پله های بانک های خازنی توسط فرمان دستی اپراتور به CB[4] و LBS[5] های بانک های خازنی انجام می پذیرد و در روش اتوماتیک از رله های VCR استفاده می شود. بدین ترتیب به ازای هر باسبار LV[6] مجهز به بانک های خازنی، یک رله VCR استفاده خواهد شد.با اعمال جریان فیدر ورودی باسبار و ولتاژ باسبار به رله VCR ، این رله ضریب توان و توان راکتیو شارژ شده به باسبار را محاسبه کرده ودر صورت نیاز فرمان وصل و قطع به CB و LBS های فیدرهای خازنی را ارسال می کند [۵]. یک نمونه از نحوه اتصال رله VCR در شکل (۲) آورده شده است.



شکل (۲) : مدارات اتصال رله VCR

۲-۳- طرح های متداول جهت استفاده از VCR

روش های مختلفی برای کنترل بانک های خازنی مورد استفاده قرار می گیرد که در ادامه به چند طرح متداول پرداخته شده است:

۱- در پست هایی با یک باسبار LV و یا پستهایی با دو باسبار LV که بصورت دائم کلید باسکوپلر باز است و ترانسها بصورت Individual بهره برداری می شوند. در این طرح جریان ورودی VCR جریان فیدر ورودی باسبار مربوطه خواهد بود. هر VCR بصورت مستقل کنترل بانک خازنی متصل به باسبار خود را برعهده دارد و منطق خاصی برای VCR ها در این پست ها لازم نمی باشد.

۲- روش دیگری که در پست هایی با دو باسبار LV و باسکوپلر بسته استفاده می شود به این صورت است که جریان ورودی VCR از جمع جبری جریان فیدر ورودی باسبار مربوطه و کوپلر حاصل خواهد شد بطوریکه جریان ورودی هر VCR برابر با جریان بارهای خروجی باسبار خود خواهد بود و بار باسبار دیگر، در VCR دیده نخواهد شد .

متعاقبا هر VCR با توجه به توان راکتیو مورد نیاز باسبار خود،پله های خازنی همان باسبار را وارد و خارج خواهد کرد و قابلیت کنترل توان راکتیو وپله های خازنی باسبار دیگر را نخواهد داشت. بعبارت دیگر هر VCR بصورت مستقل از VCR دیگر کار خواهد کرد. از مزایای این طرح می توان به پیاده سازی آسان و بدون منطق خاص اشاره کرد. همچنین با باز شدن باسکوپلرمشکلی بوجود نخواهد آمد و همانند روش قبلی اشاره شده هر VCR مستقلا توان راکتیو باسبار خود را کنترل می نماید. ضمنا در این طرح با باز شدن فیدر ورودی یکی از باسبارها، جریان ورودی VCR مربوطه برابر با جریان کوپلر بوده و این VCR کماکان امکان وارد و خارج کردن پله های خازنی همان باسبار را خواهد داشت.

از معایب این طرح می توان به مورد زیر اشاره کرد: با فرض اینکه توان راکتیو بار خروجی هر کدام از باسبارها مساوی qوار باشد و هر پله خازنی Q وار باشد، و در صورتی که q<Q باشد، هیچ پله خازنی وارد شبکه نمی شود. دراین شرایط مجموع توان راکتیو هر ۲ باسبار مساوی 2q خواهد بود اگرQ<2q باشد با فرض بسته بودن کلید کوپلر لازم است یک پله خازنی وارد شبکه شود با این وجود در این طرح VCR ها قادر نمی باشند که در این شرایط خازنی را وارد شبکه کنند زیرا هر VCR تنها از روی توان راکتیو مورد نیاز خود باسبار تصمیم گیری می کند.

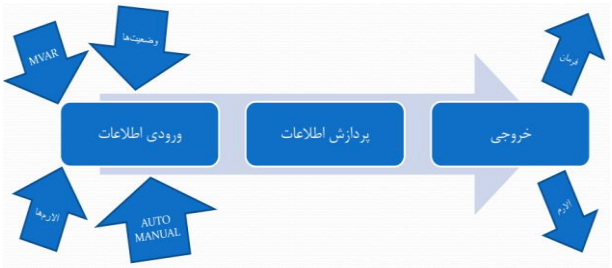
۳- در طرح دیگر،جریان ورودی به هر VCR از مجموع جریان ورودی باسبارها تامین می شود. در این طرح از یک سلکتور سوئیچ VCR1/Individual/VCR2 استفاده می شود. درشرایطی که این سلکتور سوئیچ در وضعیتVCR1 (VCR2) باشد، کنترل تمامی بانکهای خازنی هر دو باسبار توسط VCR1 (VCR2) انجام می شود. در شرایطی که این سلکتور سوئیچ بر روی Individual باشد هر VCR بانک های خازنی باسبار خود را کنترل می کند. بدیهی است در چنین شرایطی جریان هر VCR می بایست فقط جریان ورودی باسبار خود باشد بنابراین در این طرح زمانیکه سلکتور سوئیچ بر روی VCR1 و یا VCR2 قرار می گیرد مجموع جریانهای ورودی باسبارها به VCR ها وارد می گردد و زمانیکه سلکتور سوئیچ بر روی Individual قرار می گیرد جریان هر VCR می بایست فقط جریان ورودی باسبار خود باشد که این امر مستلزم اجرای مدارات Current Selection با استفاده از وضعیت های $N.O^{7}$ و $N.C^{8}$ فیدرهای ترانس و باسکوپلر می باشد.

دراین طرح لازم است هر VCR امکان فرمان باز و بستن کلید تمامی بانک های خازنی هر دو باسبار را داشته باشد. لذا برای این منظور لازم است تعداد کنتاکت های خروجی هر VCR حداقل برابر با مجموع تعداد پله های خازنی هر دو باسبار باشد. از معایب این طرح می توان به پیچیدگی زیاد مدارات اشاره کرد و همچنین قرار گرفتن کنتاکتهای وضعیت در مسیر ثانویه ترانس های جریان می تواند موجب مدار باز شدن مسیر جریانی و آسیب به ترانس جریان گردد.

۲-۴- روش پیشنهادی کنترل بانک های خازنی در پست های DCS

در روش پیشنهادی این مقاله که برای پست های DCS ارائه شده است ، کلیه رله های VCR ، تابلوی مربوطه و مدارات کنترلی آن حذف و از قابلیت پردازشی و برنامه نویسی سیستم DCS جهت کنترل بانک های خازنی استفاده خواهد شد که در ادامه به توضیح آن می پردازیم:

شمای کلی طرح در شکل (۳) نمایش داده شده است که شامل ورودی اطلاعات ، پردازش اطلاعات و خروجی می باشد.



شکل (۳) : کنترل بانک خازنی توسط سیستمDCS

ورودی اطلاعات:

۱- MVAR : از روی اطلاعات میترهای نصب شده هر یک از فیدر ترانسها مقدار Mvar بوسیله پروتکل Modbus خوانده می شود.

۲- وضعیت‌ها : تعدادی از وضعیت‌های مورد نیاز از جمله وضعیت باز و بسته بودن باس کوپلرمی باشد. که بوسیله رله BCU[9] واز طریق پروتکل IEC61850 به سیستم DCS ارسال می گردد.

۳-آلارم‌ها : در صورت دریافت آلارم قطع ارتباط هر یک از میترهای اشاره شده با DCS ، عملیات کنترل خازنها تا زمان برطرف شدن مشکل، متوقف می شود همچنین با رخ دادن آلارمهای ذیل ، سیستم، فرمان قطع و وصل به فیدر خازنی مربوطه را نمی‌دهد.

- CAPACITOR FENCE DOOR OPEN
- TCS[10] RELAY OPERATED
- PROTECTION RELAY FAULTY
- CB MECHANISM FAIL
- LOCKOUT OPERATED

۴- وضعیت AUTO/MANUAL :که بوسیله یک سلکتورسوئیچ روی تابلوی کنترل بانک خازنی تغییر می‌کند.در این صورت اگر وضعیت روی AUTO باشد کنترل وضعیت در مدار بودن پله های بانک های خازنی توسط سیستم طراحی شده بر روی سرور سیستم DCS طبق طرح پیشنهادی انجام می‌گیرد و فرمان وصل و قطع به CB و LBS های فیدرهای خازنی بصورت اتوماتیک ارسال می گردد.

اما اگر سلکتور برروی وضعیت MANUAL باشد ،فقط بهره‌بردار داخل پست می‌تواند به صورت دستی فرمان قطع و وصل فیدرهای خازنی را صادر کند .البته در این حالت نیز در صورت تمایل بهره بردار، سیستم طراحی شده در DCS می تواند هشداری بصورت نمایش متن بر روی SLD[11] در HMI[12] و یا سایر روشها جهت آگاه نمودن بهره بردار نسبت به تغییر شرایط بهره برداری از بانک های خازنی ، صادر نماید.

پردازش اطلاعات:

در این سیستم دو الگوریتم طراحی می‌شود:

- در حالت Parallel
- در حالت Independent

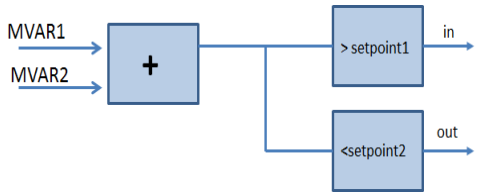
اگر باس کوپلر بسته باشد حالت Parallel و اگر باز باشد حالت Independent جهت کنترل بانک های خازنی استفاده می شود.

۱. حالت Parallel :

دراین حالت که با بسته بودن وضعیت باسکوپلر فعال و با باز شدن آن غیر فعال می گردد،مجموع توان راکتیو(MVAR) فیدرهای ترانس بصورت نرم افزاری محاسبه می گردد. درحالیکه جهت این توان راکتیو از شبکه به بار باشد بصورت قراردادی مثبت تعریف می گرددودر این حالت اگر مقدار توان راکتیو از Set point1 بیشتر باشد، فرمان در مدار آمدن پله های بانک خازنی به بخش خروجی صادر می گرددو بادر نظر گرفتن شرایطی (در بخش خروجی توضیح داده خواهد شد) پله های بانک خازنی را در مدار می آورد.اگر مقدار هریک از پله های خازنی را Q درنظر بگیریم.مقدار Set point1 را عددی بین Q و 0.65Q درنظر میگیریم.

$0.65Q< \text{set point } 1<Q$

همچنین درشرایطی که توان راکتیو منفی است یعنی جهت توان از بار به شبکه است، در صورتیکه مقدار توان راکتیو کوچکتر از Set point2 گردد، فرمان از مدار خارج شدن پله های بانک های خازنی به بخش خروجی ارسال می گردد. پیشنهاد می گردد Set point2 برابر با $-Q/2$ درنظرگرفته شود. لاجیک پردازش اطلاعات مربوط به این حالت در شکل (۴)آورده شده است.



شکل (۴) : لاجیک پردازش اطلاعات مربوط به حالت Parallel

۲. حالت Independent :

در این حالت، ۲ بلوگ جداگانه مربوط به هر باسباردر نظر گرفته می شود. الگوریتم کلی هر بلوک مشابه با حالت قبل است با این تفاوت که:

الف- ورودی MVAR هر بلوک، توان راکتیو فیدر ترانس مربوط به همان باسبار خواهد بود.

ب- این حالت با باز شدن باسکوپلر فعال و با بسته شدن آن غیر فعال می گردد.

خروجی:

پس از پردازش اطلاعات و تصمیم گیری برای ورود یا خروج بانکهای خازنی ، حالا نوبت به فرمان ورود یا خروج بانک های خازنی می رسد، در حالتی که چندین بانک خازنی داشته باشیم، فرمان قطع و وصل به صورت انتخابی است که از فرسایش بانکهای خازنی جلوگیری شود. لازم به ذکر است اگر بر روی فیدر خازنی، آلارمهای اشاره شده در بخش آلارمها فعال باشد، آن فیدر از مجموعه فیدرهای قابل انتخاب خارج می گردد.در حالت ورود بانک، بین ورود متوالی دو بانک، زمان تاخیر مناسب در حدود ۶۰ ثانیه فاصله زمانی لحاظ می شود. در خروج بانک خازنی، هر تعداد بانک پی در پی می‌تواند خارج شود. پس از خروج هر بانک برای

ورود همان بانک، برای مسئله شارژ خازن‌ها فاصله زمانی مناسب حدود ۳۰۰ ثانیه لحاظ می شود.

در صورت قطع شدن ارتباط سیستم DCS با پاورمیتر های مورد نظر و یا خراب شدن پاورمیتر مورد نظر، عملیات کنترل اتوماتیک متوقف و یک آلارم در سیستم صادر می‌شود که باعث می‌شود اپراتور داخل پست مطلع شده و موضوع را به گروه تعمیرات خبر دهد.

۲-۵- مزایای استفاده از طرح پیشنهادی جهت کنترل بانک های خازنی

از جمله مزایای استفاده از قابلیت پیشنهادی جهت کنترل بانکهای خازنی در پست های فوق توزیع عبارتند از:

- صرفه جویی قابل توجه در هزینه ها با توجه به حذف رله های VCR، تابلو و مدارات مربوطه
- توانایی گسترش به هر تعداد فیدر و به هر تعداد بانک خازنی
- توانایی گسترش به اندازه‌گیری و پردازش و تصمیم گیری به هر ورودی دلخواه (PF^{13} یا MVAR)
- کم شدن هزینه‌ی تعمیرات و نگهداری به دلیل استفاده از یک کنترل کننده
- مطمئن و قابل اعتماد در شرایط کاملا سخت و محیطهای صنعت
- ایمن در برابر اغتشاشات محیطی
- قابلیت انتخاب بانک خازنی بر اساس مدت زمان کارکرد و فاصلهٔ زمانی لازم با آخرین کارکرد بانک

۳- شبیه سازی آزمایشگاهی طرح پیشنهادی

طرح پیشنهادی مذکور در آزمایشگاه DCS شرکت برق منطقه ای سمنان بر روی سیستم DCS زیمنس با مشخصات ذیل شبیه سازی و اجرا گردیده است.

سرور: نرم افزار SICAM PAS v6.0

سیستم HMI : نرم افزار WinCC v7.0 +SICAM PAS CC v6.03

الگوریتم پیشنهادی در بخش CFC نرم افزار سرور پیاده سازی وجهت شبیه سازی توان راکتیو مصرفی، به یک میتر EMA 90 متصل شده به سیستم DCS آزمایشگاه، توسط دستگاه تست وبکو، ولتاژ و جریان متناسب تزریق گردید و عملکرد الگوریتم پیشنهادی در حالتهای مختلف تست و فرمانهای ورود و خروج پله های بانکهای خازنی مورد تایید قرار گرفت. تصویری از فرآیند انجام کار در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل (۵) : شبیه سازی طرح پیشنهادی در آزمایشگاه

۴- نتیجه گیری

همانطور که در روش های متداول کنترل بانک های خازنی اشاره شد، استفاده از رله های VCR مشکلاتی را بهمراه دارد. این موضوع و پیچیدگی های اجرایی مدارات آن موجب شده عملاً این رله ها در برخی از پست های فوق توزیع از مدار خارج گردیده است. لذا در این مقاله طرح پیشنهادی کنترل بانک های خازنی با استفاده از قابلیت پردازش سیستم اتوماسیون پست های DCS ارائه شده است. اساس کار این طرح، اضافه و کم کردن بانک های خازنی پست های فوق توزیع در مواقع مورد نیاز است. این کار برای کنترل هرچه بهتر و مناسب تر توان راکتیو و ضریب توان ضروری می باشد. در اجرای الگوریتمهای پردازش و تصمیم گیری سعی شده است تا مسایل فنی و عملی مورد نیاز کاملاً رعایت شود. که از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- تعادل بار و شبکه
- حداقل استهلاک بانک های خازنی
- در نظر گرفتن محدودیت های زمانی شارژ و دشارژ خازنها
- هزینه ای به مراتب کمتر از راه حل های دیگر
- امکان تنظیم و کنترل در محدوده وسیعی از بارهای فصلی به شکل بهتری فراهم می شود.

علاوه بر حل مشکلات موجود ذکر شده، طراحان، مشاوران و کارفرمایان می توانند از این قابلیت در طراحی پستها و به منظور کاهش هزینه ها استفاده نمایند. لذا از دیدگاه مهندسی ارزش و از نظر فنی و اقتصادی نیز این طرح قابل توجه می باشد.

مراجع

[1] ANSI/IEEE C37.99-2000. IEEE Guide for the protection of shunt capacitor banks, 2000.
[2] R. Natarajan, “Power system capacitors”, CRC Press Taylor & Francis Group, vol. 22, no. 4, 2006.
[3] M. A. Brown and S. Zhou,” Electrical Transmission System and Smart Grids”, Springer Science & Business Media, 2013.
[۴] صادق پور، حسن، **"اتوماسیون شبکه های انتقال قدرت و چالش های پیش رو"**، بیست وهشتمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۴.
[5] Capacitor Controller for power factor correction, NOVAR300 Operation & Maintenance Manual.

زیرنویس‌ها

[1] Distributed Control System
[2] VAR Control Relay
[3] Intelligent Electronic Device
[4] Circuit Breaker
[5] Load Break Switch
[6] Low Voltage
[7] Normally Open
[8] Normally Close
[9] Bay Control Unit
[10] Trip Circuit Supervision
[11] Single Line Diagram
[12] Human Machine Interface
[13] Power Factor