بررسی فنی و اقتصادی طرحهای رفع افت ولتاژ درفیدر چاه ورز لامرد مربوط به شبکه توزیع برق استان فارس و تعیین ظرفیت بهینه نصب اتوترانس و اتوبوستر با توجه به عوامل دینامیکی بار

معصومه رضایی، مریم امیری و علی جمالی
شرکت توزیع نیروی برق استان فارس

چکیده — در سیستم‌های قدرت مدرن، برنامه‌ریزی جهت توسعه شبکه انتقال یک مسئله مهم و اساسی است. کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و برقراری امنیت شبکه و پاسخ‌گویی به تقاضای مشترکین نمونه‌ای از چالش‌هایی است که نهاد برنامه‌ریز شبکه با آن مواجه است. بنابراین طرح‌های توسعه شبکه قدرت بایستی از لحاظ اقتصادی و فنی مورد ارزیابی دقیق قرار گیرند. در این مقاله با توجه به وجود مشکل افت ولتاژ یکی از فیدرهای تحت پوشش شرکت توزیع برق فارس ، راهکارهای رفع این مشکل نظیر احداث خط و نصب جبران¬سازهای سری و موازی بیان شده و سپس هر یک از آنها از لحاظ فنی و اقتصادی بررسی شده است و بهترین روش جهت رفع افت ولتاژ در کوتاه مدت استخراج گردیده است. در طرحهایی که منجر به نصب اتوترانس یا اتوبوستر می شود، ظرفیت بهینه آنها با توجه به رشد بار، چگالی بار و سطح رفاه اجتماعی مشترکین بدست می آید. در این مقاله بازگشت سرمایه طرح پیشنهادی محاسبه شده و مطالعه آن¬ها با استفاده از نرم افزار DIgSILENT انجام شده است.در فیدر مورد مطالعه به دلیل اختلاف کم میزان بار پایه و بار پیک نصب اتوترانس و اتوبوستر با در نظرگرفتن رشد بار و رفتار دینامیکی آن نسبت به سایر طرح ها توجیه اقتصادی وفنی داشته است.

واژه‌های کلیدی —تعیین ظرفیت بهینه؛ اتوترانس؛ افت ولتاژ؛ دینامیک بار؛ بررسی فنی و اقتصادی؛ DIgSILENT

۱.مقدمه

با افزایش روزافزون تقاضای برق با کیفیت و قابلیت اطمینان بالا، افزایش تعداد مشترکین، رشد مصرف در سال های اخیر، افزایش دستگاه ها و ادوات پرمصرف و حساس و همچنین سرمایه گذاری نامتناسب با رشد بار و انرژی در دهه اخیر و ... موجب شده که امروزه از فیدرهایی با طول و جریان بالا بهره برداری گردد. که این امر علاوه بر افزایش افت ولتاژ و تلفات در شبکه برق موجب نارضایتی مشترکین گردیده است. همچنین از آنجایی که امروزه در شبکه توزیع اغلب با بارهایی با توان ثابت سروکار داریم با افزایش افت‌ولتاژ، جریان فیدرها افزایش یافته که این امر موجب افزایش هزینه برق مصرفی مشترکین، آسیب‌دیدگی به وسایل و ادوات حساس و گران‌قیمت آن‌ها خواهد شد. بنابراین در جهت رفع هزینه‌های ناشی از تلفات شبکه و افزایش رضایت مشترکین و رفاه اجتماعی آن‌ها راهکارهایی جهت بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات در شبکه وجود دارد که عبارت اند از:

احداث خطوط، تغییر سطح مقطع، استفاده از ترانس های توزیع با ظرفیت پایین، نصب جبران سازهای سری و موازی، نصب اتوترانس های افزاینده و اتوبوسترها، احداث پست فوق توزیع، نصب مولدهای مقیاس کوچک، جبران‌سازهای توان راکتیو و احداث پست‌های فوق‌توزیع اشاره نمود.

با توجه به کمبود نقدینگی و عدم امکان احداث زیرساخت هایی با هزینه بالا نیازمند استراتژی های کم هزینه و کاربردی جهت بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش سطح تلفات در شبکه های توزیع امری ضروری بنظر می رسد[۱].

خازنها برای فیدرهای توزیع شعاعی با طول زیاد و بار سنگین که دارای افت ولتاژ بالا نیز هستند، نمیتوانند به تنهایی حلال مشکلات باشند. اما استفاده‌ی همزمان از خازنهای ثابت یا سویچ‌شونده در کنار رگولاتورهای ولتاژ که دارای قابلیت بالایی در تنظیم ولتاژ هستند، می‌تواند در بهبود شرایط بهره‌برداری از این نوع شبکه‌ها، هم از نظر کیفیت و هم از دیدگاه اقتصادی تأثیر قابل توجهی داشته باشند.

تنظیم‌کننده ولتاژ نوع پله ای شامل یک اتوترانس و یک دستگاه تغییر تپ زیر بار می باشد، که در یک واحد کامل ساخته شده است. تغییر ولتاژ از طریق تغییر تپ‌های اتوترانس به دست می‌آید. تنظیم-کننده‌های گامی استاندارد دارای محدوده تنظیم ۱۰ درصد می باشند.

استفاده از منابع تولید پراکنده می تواند یکی از راهکارهای موثر برای رهایی از برخی مشکلات نظیر تلفات بالا، کیفیت توان پایین و افت ولتاژ در سیستم های توزیع و انتقال باشد. بعلاوه ظرفیت کوچک منابع تولید پراکنده، طراحی و نصب این واحدها را در مقایسه با استفاده از واحدهای بزرگ و متمرکز در یک چهارچوب زمانی کوتاهتر، آسان می نماید [۱].

احداث خط جدید و انتقال قسمتی از بار از خط موجود باعث کاهش افت ولتاژ، کاهش تلفات و بهبود قابلیت اطمینان و پایایی فیدر را نیز افزایش می‌دهد. در این مقاله سعی بر این است یک شبکه واقعی با نام خط چاه ورز از ایستگاه بیرم که دارای پیک بار ۱۸۵ آمپر و درصد افت ولتاژ انتهای فیدر ۱۶.۷ درصد می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گیرد. این مقاله شامل بخش‌های زیر است، بخش دم راهکارهای رفع افت ولتاژ و بیان ریاضی آن می‌باشد، در بخش سوم مسئله شبیه‌سازی شده و به بررسی فنی و اقتصادی راهکارهای رفع آن می‌پردازد. بخش چهارم به نتیجه‌گیری پیشنهادهای ارائه‌شده می-پردازد.

۲. مدل‌سازی و فورمول‌بندی مسأله

۲.۱. مدل‌بار

ابتدا در برنامه‌ریزی بلند مدت ولتاژ و توان راکتیو معمولاً به منظور کاهش حجم محاسبات، از تغییرات ساعتی بار صرفنظر شده و تعداد سطوح بار را به سه سطح بار پیک و بار پایه تقلیل می‌دهند. در این مقاله نیز از همین روش برای مدلسازی استفاده شده است. نوع بار نیز مطابق با شرایط بار فیدر با استفاده از روش نیوتون- رافسون توسعه یافته برای سیستم سه‌فاز نامتعادل در نرم‌افزار Digsilent مدل‌سازی می‌شود.

۲.۲. رگولاتور ولتاژ

اتوبوستر یا رگولاتور ولتاژ، در واقع همان اتوترانسفورماتور بوده که مجهز به سیستم قابلیت تنظیم اتوماتیکی تپ می‌باشد. این تجهیز معمولاً با استفاده از سیستم تپ چنجراتوماتیک، تنظیم ولتاژ را در محدوده ±۱۰درصد انجام می‌دهد. رگولاتور ولتاژ در هر دو واحد تکفاز و سه فاز قابل نصب می‌باشد.

۲.۳. نصب خازن در سیستم‌های توزیع

خازنها به صورت ثابت، سویچ‌شونده و یا ترکیبی از آنها در سیستم توزیع نصب می‌شوند. خازنهای ثابت به صورت دائمی و از شرایط کم باری تا پیک در مدار قرار دارند. خازنهای سویچ‌شونده با تغییرات بار و بنا به نوع کنترل‌کننده به مدار وارد یا خارج می‌شوند. برای سه سطح بار پایه و پیک، معمولاً اندازه‌ی خازنهای ثابت در بار پایه و خازنهای سویچشونده در هر یک از سطوح بار متوسط و پیک جهت کلیدزنی تعیین میشوند .بنا به تعداد سطوح بار، میزان خازن نصب شده در هر باس i از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

$$Q_i = N_f . C_{fc} + \sum_{s=1}^{N_f} (N_s C_{SW}) \qquad (۱)$$

که در آن C_{sw}و C_{fc}به ترتیب اندازه هر واحد خازنی سویچ‌شونده و واحد خازنی ثابت می‌باشند. N_s و N_fنیز به ترتیب تعداد واحدهای

خازنی سویچ‌شونده و ثابت می‌باشند. در پخش بار، خازن به صورت امپدانس ثابت و به فرم رابطه‌ی (۲) مدلسازی می‌شود.

$$Q_i = Q_{ci}.(v_i^2) \qquad (۲)$$

۲.۴. احداث خط جدید

با احداث خط جدید و انتقال بخشی از بار فیدر موجود روی آن میزان بار فیدر موجود کاهش یافته و با توجه به معادله RI^2، میزان تلفات نیز کاهش می‌یابد و به طبع پروفیل ولتاژ نیز بهبود می‌یابد.

۳. شبیه‌سازی و بررسی فنی و اقتصادی

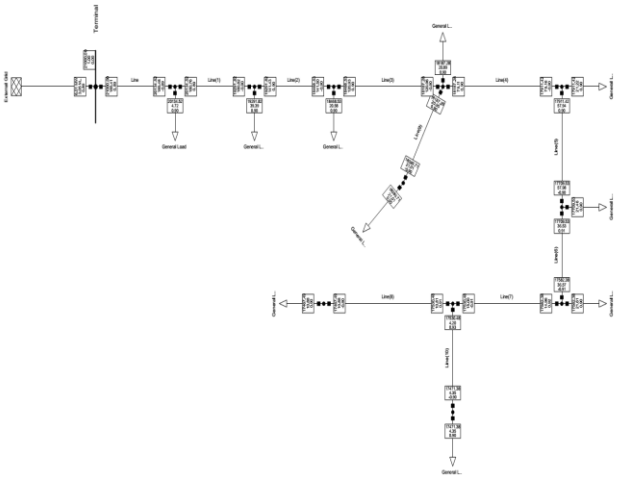
در این بخش ابتدا وضعیت موجود فیدر چاه‌ورز از ایستگاه بیرم در نرم-افزار Digsilent شبیه‌سازی شده و میزان افت ولتاژ انتهای فیدر به‌دست می‌آید. سپس روش‌های رفع مشکل افت ولتاژ در این فیدر با توجه به موارد مطرح شده در بخش دوم روی این فیدر در نرم‌افزار Digsilent شبیه‌سازی شده و نتایج هریک بیان می‌گردد. سپس به بررسی اقتصادی طرح‌ها پرداخته و بهترین طرح انتخاب می‌گردد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه در این خط اختلاف بار پیک و بار پایه در تابستان کم می‌باشد و ضریب توان فیدر ۰.۸۵ می باشد. جایابی خازن در خط هم امکان‌پذیر شده است.

۳.۱. بررسی وضعیت موجود و پنج سال آینده

لازم به‌ذکر است با توجه به مدل بار توان ثابت موجود بر روی فیدر، میزان رشد بار ۵ ساله با بررسی سطح رفاه اجتماعی، ۳۰ درصد در نظرگرفته شده و وضعیت موجود فیدر در نرم‌افزار Digsilent به-صورت «جدول۱» می‌باشد.

جدول ۱: وضعیت ولتاژ و تلفات فیدر چاه‌ورز

شرح	پیک‌بار(آمپر)	ولتاژ انتهای فیدر(کیلوولت)	تلفات(کیلووات)
وضعیت موجود فیدر چاه‌ورز	۱۸۵	۱۷.۴۶	۷۱۱
وضعیت فیدر چاه‌ورز با رشد بار ۵ سال آینده	۲۴۰	۱۶.۵	۱۱۹۲



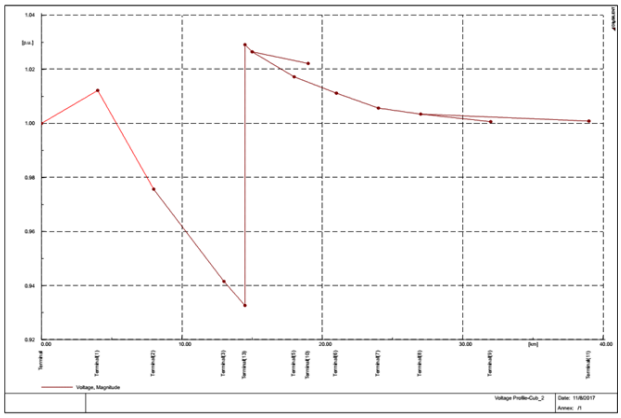
شکل ۱: شمای تک خطی فیدر چاه ورز لامرد در شرایط موجود

۳.۲. نصب رگولاتور ولتاژ

با نصب یک‌دستگاه اتوترانس با ظرفیت ۲۴۰ آمپر برروی فیدر چاه‌ورز در فاصله ۱۵ کیلومتری از ایستگاه و همچنینی نصب یک بانک خازنی با ظرفیت ۶۰۰ کیلووار در فاصله ۶ کیلومتری از اتوترانس وضعیت فیدر به صورت «جدول ۲» خواهد بود.

جدول ۲: نتایج وضعیت فیدر چاه‌ورز از ایستگاه بیرم پس از نصب اتوترانس و خازن

شرح	پیک بار (آمپر)	ولتاژ انتهای فیدر (کیلوولت)	تلفات(کیلووات)
فیدر چاه‌ورز	۱۸۵	۲۰	۵۷۷



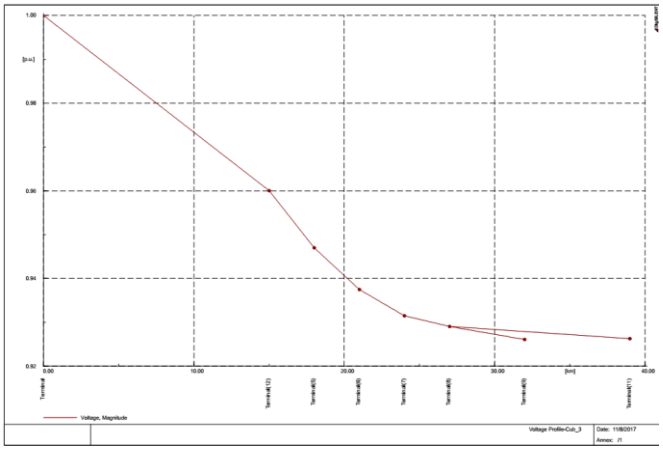
شکل(۲): پروفیل ولتاژ پس از نصب اتوترانس ۲۰۰ آمپری و خازن ۶۰۰ کیلوواری بروری فیدر چاه ورز

۳.۳. احداث فیدر جدید

با احداث فیدری با طول ۱۵ کیلومتر از ایستگاه بیرم به موازات فیدر چاه ورز با سطح مقطع ۱۲۰ میلیمتر مربع افت ولتاژ خط در حالت رشد بار حدود ۷.۶ درصد بهبود می یابد. «جدول ۳» نتایج احداث خط را نشان می‌دهد.

جدول ۳: نتایج احداث خط به طول ۱۵ کیلومتر به موازات فیدر چاه‌ورز

شرح	پیک بار (آمپر)	ولتاژ انتهای فیدر(کیلوولت)	تلفات(کیلوولت)
فیدر چاهورز ۱	۷۴	۱۸.۵	۳۵۶
فیدر چاهورز ۲	۱۰۲	۱۹.۹۷	



شکل(۳): پروفیل ولتاژ پس از احداث فیدری ۱۵ کیلومتری به موازات فیدر چاه ورز

۳.۴. بررسی فنی و اقتصادی

با توجه به نتایج فنی مطرح شده در زیر بخشهای قبل می توان میزان مدت زمان بازگشت سرمایه را در هر مورد بدست آورد و بهترین طرح را انتخاب نمود. ضریب تلفات در هر دو مورد ۰/۴۸ در نظر گرفته شده و هزینه هر کیلووات ساعت ۱۰۰۰ریال و هزینه احداث خط ۵۴۰ میلیون ریال در نظر گرفته شده است.

حالت اول: نصب اتوترانس و خازن

۱۰۵۰ میلیون ریال = هزینه نصب اتوترانس + هزینه نصب خازن =میزان سرمایه گذاری

میلیون ریال۵۶۳=۱۰۰۰*۲۴*۳۶۵*۰/۴۸*۱۳۴ =میزان بهبود تلفات(میلیون ریال)

$$\text{مدت زمان بازگشت سرمایه} = \frac{۱۰۵۰}{۵۶۳} = ۱,۸۶ \text{ سال}$$

حالت دوم: احداث ۱۵ کیلومتر خط

میلیون ریال۸۴۰۰ =میزان سرمایه گذاری

میلیون ریال۱۴۹۲ =۱۰۰۰*۲۴*۳۶۵*۰/۴۸*۳۵۵=میزان بهبود تلفات(میلیون ریال)

$$\text{مدت زمان بازگشت سرمایه} = \frac{۸۴۰۰}{۱۴۹۲} = ۵,۶ \text{ سال}$$

همانگونه که ملاحظه می‌گردد طرح اجرایی در حالت اول با توجه به میزان سرمایه‌گذاری اولیه مدت زمان بازگشت سرمایه آن حدود ۰.۳۳ حالت دوم می‌باشد. بنابراین از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است.

.

۳.۵. تعیین ظرفیت اتوترانس

واژه‌های با توجه به «جدول ۱» میزان بار فیدر چاه‌ورز با در نظرگرفتن رشد بار ۵ ساله حدود ۲۴۰ آمپر می‌باشد. این میزان رشد بار با توجه به سطح رفاه اجتماعی در انتخاب ظرفیت بهینه اتوترانس مورد استفاده قرار می‌گیرد. تا این تجهیز حداقل در پنج سال آینده جوابگوی نیاز شبکه باشد. البته نصب اتوترانس و اتوبوستر به عنوان یک راهکار کوتاه‌مدت در شرکت‌های توزیع مدنظر قرار می‌گیرد. محل نصب اتوترانس معمولاً درجایی انتخاب می‌گردد که میزان ولتاژ در طول خط حالت متعادل داشته باشد.

۴.نتیجه‌گیری

با توجه به موارد مطرح شده در بخشهای قبل و انجام محاسبات در مراحل مختلف جهت بهبود پروفیل ولتاژ وکاهش تلفات در خط چاه ورز ، طرح اول که نصب یک دستگاه اتوترانس با ظرفیت ۲۵۰ آمپر در فاصله ۱۵ کیلومتری از ایستگا و همچنین نصب یک بانک خازنی ۶۰۰ کیلوواری در فاصله ۶ کیلومتری از اتوترانس که میزان افت ولتاژ را حدود ۱۲.۵ درصد بهبود می دهد از لحاظ فنی و اقتصادی با مدت زمان بازگشت سرمایه حدود ۱.۸۶ سال انتخاب گردید. با اجرای این طرح به میزان چشمگیری میزان افت ولتاژ و تلفات کاهش یافت . بنابراین با یک جایابی بهینه و با استفاده از نرم افزار معتبر (digsilent) می توان مشکل بسیاری از خطوط بحرانی فشار متوسط را حل نمود . لازم به ذکر است در این مقاله بانک خازنی ۶۰۰ کیلووار ، به صورت دو بانک ۳۰۰ کیلووار شبیه سازی گردید و در محلهای ۶ کیلومتری از اتوترانس و ۲۵ کیلومتری از انتهای فیدر (طول اصلی فیدر چاه ورز ۳۲ کیلومتر است) ، ولتاژ انتهای فیدر به ۲۰.۲ کیلولت رسید و این امر نشان می دهد که هر چه بانک خازنی در شبکه بیشتر پراکنده گردد و کمتر در یک محدوده متمرکز شود ، بهبود پروفیل ولتاژ مشهود تر خواهد بود . همچنین در نظر گرفتن رشد بار در تعیین ظرفیت اتوترانس همر این تجهیز را بیشتر می نماید

منابع

[1] J.D. Watson, N.R. Watson; B. Das, “Effectiveness of power electronic voltage regulators in the distribution network,” IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 10, pp. 3816-3823, 2016.

[2] M. Ahmed, R. Bhattarai, S.J. Hossain, S. Abdelrazek, S. Kamalasadan, “Coordinated voltage control strategy for voltage regulators and voltage source converters integrated distribution system,” IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, pp. 1-8, 2017.

[3] Y. Miyazaki; S. Naoi; Y. Kinoshita, “A study on the placement and model selection of voltage regulators in distribution network,” CIRED Workshop, pp. 1-4, 2016.

[4] G. W. Kim and K. Y. Lee, “Coordination control of ultc transformer and statcom based on an artificial neural network,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no.2,pp.580–586,May2005.

A. D. T. Le, S. Member, K. M. Muttaqi, S. Member, M. Negnevitsky,G. Ledwich, and S. Member, “1 response coordination of distributed generation and tap change