مجله علمی-پژوهشی رایانش نرم و فن‌آوری اطلاعات

جلد ۵، شماره ۴، زمستان سال۱۳۹۵ شاپا: ۱۰۰۶-۲۳۸۳

تبدیل بهینه‌ی خطوط انتقال با استفاده از روش HPO با در نظر گرفتن شاخص‌های کیفیت توان

رضا شریعتی‌نسب*[۱]، حمزه احراری رودی[۲]، محمود عبادیان[۳]

*۱- نویسنده مسئول: دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، Shariatinasab@birjand.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، Hamzeh_ahrary@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، Mebadian@birjand.ac.ir

چکیده- امروزه با توجه به رشد روزافزون صنعت، بهره‌برداری بهینه از انرژی الکتریکی که بعنوان محرک چرخه‌ی صنعت در نظرگرفته می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. از طرفی به‌علت اینکه، افزایش ولتاژ خطوط انتقال انرژی الکتریکی بمنظور افزایش قابلیت انتقال توان تقریبا اشباع شده است؛ نیاز به یافتن راهکارهای نوین برای این هدف بسیار ضروری می‌نماید. یکی از راهکارهایی که امروزه برای بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی الکتریکی مدنظر قراردارد شبکه‌های انتقال چندفازه می‌باشد. شبکه‌های انتقال چندفازه به صورت شبکه‌های ۶، ۹ و ۱۲ فاز می‌باشند که از این بین شبکه‌های ۶ فاز دارای ارجحیت بوده و بعنوان روشی مفید جهت افزایش توان انتقالی در برابر افزایش تقاضای انرژی، شناخته می‌شود. از مهمترین عوامل مؤثر در انتخاب تبدیل بهینه (جایگزین مناسب) خطوط انتقال می‌توان تلفات سیستم و محدوده‌ی قابل قبول برای ولتاژ تمامی باس-ها را نام برد. اما از آنجا که در سیستم‌های قدرت حاضر بارهای غیرخطی بسیار زیادی وجود دارد و این بارها باعث تولید و گسترش هارمونیک‌ها در سراسر شبکه می‌گردد؛ لزوم در نظر گرفتن هارمونیک‌های شبکه و شاخص‌های کیفیت توان نمایان می‌شود. در این مقاله روشی برای یافتن بهترین آرایش خطوط با هدف بهینه‌کردن شاخص‌های کیفیت توان ارائه شده که با استفاده از بهینه‌سازی چند هدفه مبتنی بر رتبه‌بندی غیر پست (NSGA_II) انجام گرفته است. نتایج حاصل با اعمال بر شبکه ۴۰۰ کیلوولت در جنوب ایران بیان گردیده است.

واژه‌های کلیدی: تبدیل شبکه، شبکه‌های انتقال چندفازه، پخش بار هارمونیکی، کیفیت توان، روش بهینه‌سازی NSGA_II.

۱- مقدمه

امروزه باتوجه به اهمیت انرژی الکتریکی و افزایش روزافزون تقاضای انرژی، تلاش برای تأمین انرژی موردنیاز مصرف کنندگان به یکی از مهمترین محورهای تحقیقاتی محققان تبدیل شده است. راهکارهای متفاوتی برای این امر وجود دارد که یکی از مؤثرترین گزینه‌ها، مانور بر روی خطوط انتقال انرژی و افزایش ظرفیت انتقال آنها می‌باشد. تاکنون بعنوان یکی از کلیدی‌ترین اقدامات جهت افزایش ظرفیت سیستم انتقال، افزایش سطح ولتاژ خطوط مدنظر قرار داشته است. اما در حال حاضر باتوجه به مضرات افزایش سطح ولتاژ از قبیل وجود میدان‌های شدید الکترومغناطیسی، آثار بیولوژیکی، اغتشاشات صوتی، اخذ مجوز برای احداث و اختصاص حریم مناسب جهت عبور خطوط، طرح تبدیل خطوط موجود به خطوط چندفازه بعنوان یک روش جدید جهت افزایش میزان انتقال انرژی مورد توجه قرار گرفته است [۱]، [۲]. از بین خطوط چندفازه (۶، ۹ و ۱۲ فازه)، خطوط ۶ فاز به دلیل سهولت اجرا و کاربرد بخصوص در سطوح EHV و UHV دارای برتری و کاربرد بیشتری می‌باشد [۳]. معمولاً در تغییر ساختار شبکه، مهم‌ترین فاکتوری که بعنوان تابع هدف بررسی می‌گردد تلفات کل سیستم است که با درنظر گرفتن محدوده مجاز ولتاژ باس‌ها بایستی مینیمم شود. اما امروزه با افزایش سطح آگاهی مشترکین، مسئله کیفیت توان نیز اهمیت پیدا کرده است که بایستی در غالب بررسی هارمونیکی و مطالعه شاخص‌های کیفیت توان مورد توجه قرار گیرد. وجود هارمونیک در شبکه هم برای شرکت‌های برق منطقه‌ای و هم برای تجهیزات مشترکین مضر است.

Archive of SID

www.SID.ir

تحقیقاتی که تاکنون در زمینه تبدیل خطوط انتقال انجام شده است در راستای بررسی و مقایسه خصوصیات مغناطیسی و الکتریکی خطوط با توجه به ساختار آنها از جمله اندوکتانس خط، ظرفیت خازنی، کرونا[۳-۵]، محاسبه فواصل عایقی لازم جهت تبدیل خطوط دومداره به تکمداره ۶ فاز [۶]، بررسی عملکرد خطوط در برابر خطا و صاعقه[۴، ۷]، بررسی پایداری ولتاژ خطوط [۸] و همچنین مطالعات هارمونیکی و دینامیکی [۹، ۱۰] به صورت جداگانه بوده است. با این حال در هیچکدام از تحقیقات انجام شده بهینه‌سازی کلی شبکه از دید انتخاب گزینه مناسب برای تبدیل خطوط انتقال انجام نشده و از طرف دیگر کیفیت توان، عوامل مؤثر بر آن و انتخاب شاخص‌های مناسب در تابع هدف نیز از نظر دور مانده است.

در این مقاله روشی برای تبدیل بهینه‌ی خطوط انتقال در یک شبکه قدرت با استفاده از روش افزایش فاز، HPO[1]، در حضور انواع بارهای غیرخطی و همچنین اعمال محدودیت‌های اجرایی خط با در نظر گرفتن شاخص‌های کیفیت توان ارائه شده است؛ بگونه‌ای که در آرایش پیشنهادی ضمن مینیمم شدن تلفات و برآورده شدن قیود ولتاژ باس‌ها، از نظر شاخص‌های کیفیت توان نیز شبکه در وضعیت مطلوبی قرار گیرد.

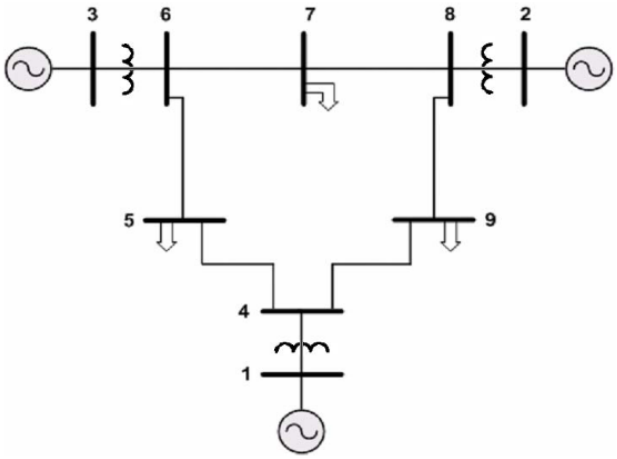
۲- بررسی هارمونیکی

با توجه به اهمیت کیفیت توان یکی از مسایل مهم در تبدیل شبکه، تأثیر هارمونیک‌ها بر انتخاب نوع تبدیل شبکه می‌باشد که در نظر گرفتن آن منجر به نتایج دقیق‌تر در زمینه یافتن بهترین جایگزین خطوط می‌شود.

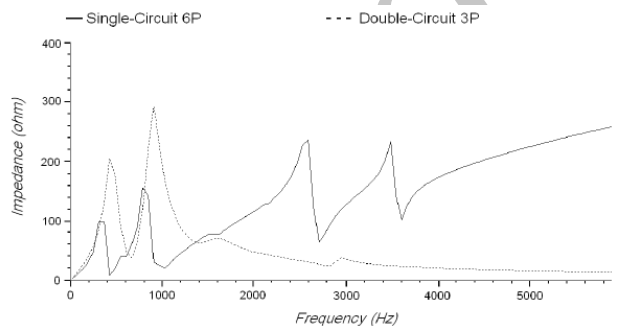
هدف آنالیز هارمونیکی را می‌توان مطالعه کیفی و کمی اعوجاجات موجود در شکل موج‌های ولتاژ و جریان و همچنین مطالعه شرایط رزونانس در شبکه موردنظر بیان کرد. به‌منظور بررسی تأثیر تبدیل خطوط (تبدیل شبکه به 3PDC[2] و 6PSC[3]) و نوع بار هارمونیکی (منبع جریانی یا منبع ولتاژی) بر روی شاخص‌های کیفیت توان، شبکه تست ۹ باسه IEEE، مطابق شکل ۱، در نرم‌افزار ETAP مدل شده است. لازم به ذکر است که در حالت اولیه تمامی خطوط تک‌مداره سه‌فاز می‌باشند.

با صرف‌نظر کردن از هارمونیک‌ها، معمولاً معیار انتخاب بهترین نوع تبدیل شبکه تلفات کلی و باقی ماندن ولتاژها در محدوده قابل قبول می‌باشد. تلفات در سیستم 3PSC موجود مقدار ۱/۴۹۴۱ MW می‌باشد که این مقدار در تبدیل شبکه به تک‌مداره شش‌فاز به مقدار ۱/۰۰۴۶ MW و در تبدیل به دومداره سه‌فاز به ۰/۹۹۹۳ MW تغییر پیدا می‌کند. همچنین ولتاژ در تمامی باس‌ها برای هر دو تبدیل در محدوده استاندارد ٪ ۵ ± قرار دارند.

یکی از ابزار بررسی کیفیت توان، اسکن فرکانسی می‌باشد. اسکن فرکانسی، نمودار امپدانس برحسب فرکانس است که به منظور بررسی شرایط تشدید استفاده می‌گردد. نتایج اسکن فرکانسی در حالت‌های مختلف شبکه برای باس‌های ۵، ۷ و ۹ مطابق اشکال ۲ تا ۴ می‌باشد.



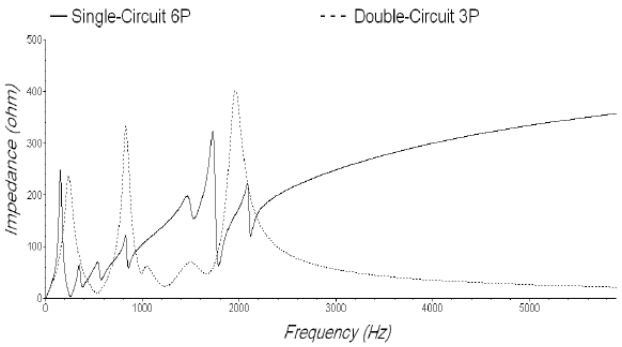
شکل۱: شبکه تست مورد استفاده



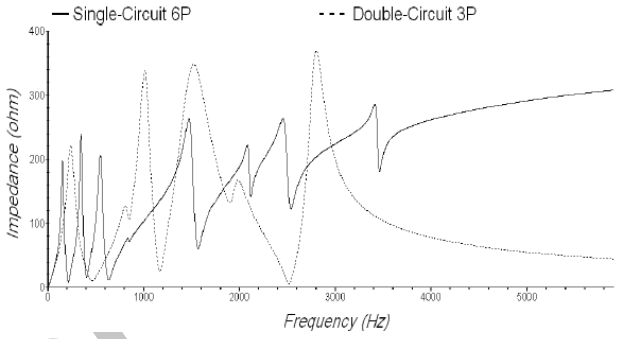
شکل۲: مقدار امپدانس تحریک در باس ۵ برای تبدیل کل شبکه 6PSC و 3PDC

1 -High Phase Order (HPO)
2 -Phase Single Circuit
3 -Phase Single Circuit

www.SID.ir



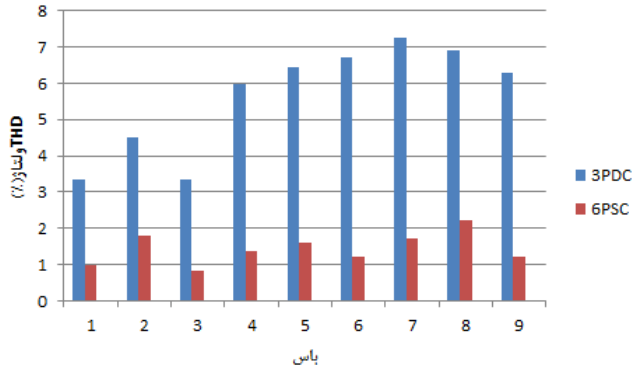
شکل۳: مقدار امپدانس تحریک در باس ۷ برای تبدیل کل شبکه 6PSC و 3PDC



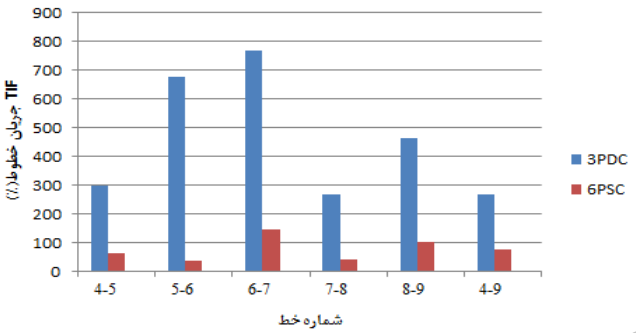
شکل۴: مقدار امپدانس تحریک در باس ۹ برای تبدیل کل شبکه 6PSC و 3PDC

از نتایج فوق مشخص می‌شود که با تبدیل شبکه موجود به شبکه 6PSC، تعداد تشدیدها و همچنین اندازه امپدانس فرکانس بالا در شبکه افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند در میراکردن اثرات خطاهای فرکانس بالای سیستم موثر باشد.

به‌منظور انجام پخش بارهارمونیکی، شبیه‌سازی برای دو نوع بار غیرخطی شامل درایو ۶ پالس VFD و کوره قوس الکتریکی انجام شده است. در ابتدا درایو ۶ پالس VFD به باس شماره ۵ متصل می‌شود. بار مذکور به صورت منبع جریان هارمونیکی مدل شده است. سپس TIF[1] جریان خطوط و THD[2] ولتاژ برای دو شبکه دومداره سه‌فاز و تک‌مداره شش‌فاز محاسبه شده است. نتایج در شکلهای ۵ و ۶ قابل مشاهده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود THD ولتاژ در تمام باسها در سیستم تک‌مداره شش‌فاز کوچکتر از سیستم دومداره سه‌فاز است. این روند در مقادیر TIF خطوط نیز صدق می‌کند که از نظر کیفیت‌توان قابل توجه است. همچنین تلفات‌کل با در نظر گرفتن اثر هارمونیک به ترتیب به مقدار ۰/۹۹ MW برای سیستم 3PDC و ۱/۰۲ MW برای سیستم 6PSC تغییر می‌یابد که مبین تأثیر حضور هارمونیک در شبکه بر میزان تلفات می‌باشد.

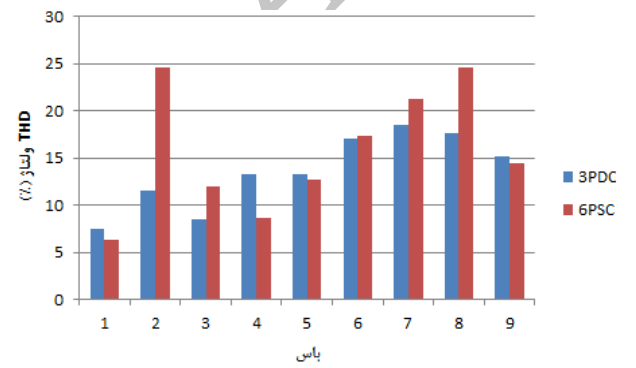


شکل۵: THD ولتاژ باس‌ها در نتیجه تبدیل شبکه به 3PDC و 6PSC در حضور بار ۶پالس VFD



شکل۶: TIF جریان خطوط در نتیجه تبدیل شبکه به 3PDC و 6PSC در حضور بار ۶پالس VFD

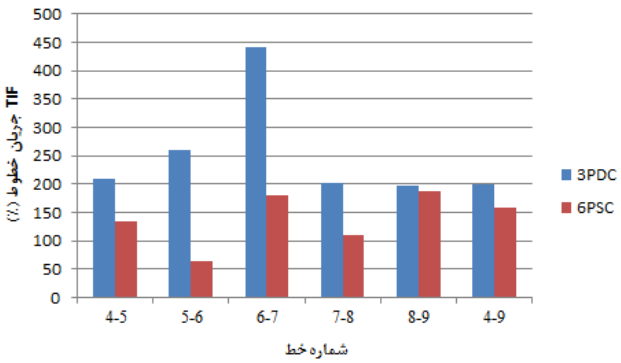
در مرحله بعد فرض می‌شود کوره قوس‌الکتریکی (EAF) به باس شماره ۵ متصل شده است. این نوع بار به صورت منبع ولتاژ هارمونیکی مدل می‌گردد. مجدداً تمام مطالعات قبلی برای محاسبه شاخص‌های THD ولتاژ باسها و TIF جریان خطوط انجام شده که نتایج آن در شکل ۷ و ۸ قابل مشاهده است.



شکل۷: THD ولتاژ باس‌ها در نتیجه تبدیل شبکه به 3PDC و 6PSC در حضور بار EAF

[1] Telephone Influence factors
[2] Total Harmonic Distortion

www.SID.ir



شکل۸: TIF جریان خطوط در نتیجه تبدیل شبکه به 3PDC و 6PSC در حضور بار EAF

نتایج بالا نشان می‌دهد در یک سیستم تک‌مداره شش‌فاز با باری از نوع کوره القائی، TIF جریان تمامی خطوط کمتر از مقادیر بدست آمده برای سیستم 3PDC می‌باشد؛ در حالیکه THD ولتاژ باسها در بعضی از باس‌ها بیشتر و در بعضی دیگر کمتر است.

با توجه به نتایج فوق می‌توان نتیجه گرفت که در تبدیل شبکه، تغییرات THD ولتاژ متأثر از نوع منبع هارمونیکی موجود در شبکه می‌باشد. بنابراین از نقطه‌نظر کیفیت توان، نوع بار هارمونیکی موجود در شبکه نیز در انتخاب بهترین جایگزین برای تبدیل شبکه مهم خواهد بود. با توجه به تلفات و با صرف‌نظر کردن از هارمونیک‌ها، شبکه 3PDC جایگزینی بهتر نسبت به شبکه 6PSC است؛ درحالیکه با در نظر گرفتن هارمونیک‌ها ممکن است به دلیل کاهش THD ناشی از بارهای هارمونیکی شبکه 6PSC بخصوص در صورت حضور بارهای غیرخطی که بصورت منبع جریان مدل می‌شوند جایگزین بهتری باشد. لذا برای بدست آوردن تبدیل مناسب خطوط که در آن تلفات کل شبکه، THD ولتاژ و TIF خطوط مینیمم شده باشند، استفاده از روشهای بهینه‌سازی مناسب خواهد بود. در این مقاله از روش بهینه‌سازی چدهدفه مبتنی بر رتبه‌بندی غیرپست، NSGA-II، استفاده شده است.

۳- بهینه‌سازی چند هدفه

روش NSGA-II در ابتدا توسط Deb پیشنهاد شد [۱۱]. روش مذکور مبتنی بر نخبه‌گرایی بوده و یکی از پرکاربردترین روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه می‌باشد [۱۲]. بطور خلاصه می‌توان مراحل این الگوریتم را به صورت زیر بیان کرد:

ابتدا یک جمعیت اولیه P_0 به صورت تصادفی تولید می‌شود. رتبه-بندی جبهه‌ها انجام می‌شود و به کروموزوم‌های هر جبهه (سطح)، برازشی معادل رتبه آن تخصیص داده می‌شود. مثلاً بهترین کروموزوم‌ها که در سطح یک قرار گرفته‌اند، دارای برازش یک خواهند بود (فرض شده مسئله از نوع کمینه‌سازی است). با اعمال عملگرهای تزویج و جهش، جمعیت Q_0 تولید می‌شود. سایر مراحل به شرح زیر است [۱۲]:

ادغام کردن دو جمعیت والدین و فرزندان:

$$R_t = P_t \cup Q_t$$

اعمال رتبه‌بندی غیرپست روی جمعیت R_t و دسته‌بندی کردن کروموزوم‌ها در جبهه های F_i $(i = 1, 2, \ldots)$.

ایجاد جمعیت جدید مطابق با $P_{t+1} = \phi$ و قرار دادن مقدار شمارنده i برابر با یک.

انجام دادن عملیات $P_{t+1} = P_{t+1} \bigcup F_t$ و $i=i+1$ تا زمانی که رابطه $|P_{t+1}| + |F_t| < N$ باشد.

انجام رتبه بندی بر اساس فاصله ازدحام $(F_i < c)$ و قراردادن جواب‌های با بیشترین پراکندگی $(N - |P_{t+1}|)$ را از جواب‌های مرتب شده در F_i در P_{t+1}.

تولید کروموزوم‌های جدید در جمعیت Q_{t+1} را با اعمال عملگرهای انتخاب مسابقه ای بر اساس فاصله ازدحام، تزویج و جهش روی جمعیت P_{t+1}.

در مرحله پنجم، با استفاده از پارامتر فاصله ازدحام که در بخش بعدی شرح داده خواهد شد، رتبه‌بندی کروموزوم‌های واقع در جبهه (سطح غیرپست) iام که نمی‌توانند به طور کامل در جمعیت ظاهر شوند، صورت می‌گیرد. بر اساس این پارامتر، کروموزوم‌ها به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند و سپس عملگر انتخاب مسابقه‌ای بر مبنای ازدحام بر آنها اعمال می‌شود.

۳-۱- فاصله ازدحام

فاصله ازدحام برای حفظ تنوع پاسخ‌ها در جبهه بهینه پارتو[1] پیشنهاد شده است. مراحل محاسبه فاصله ازدحام برای جواب‌های واقع بر جبهه F به شرح زیر است [۱۲].

محاسبه تعداد جواب‌های واقع بر جبهه i و نامگذاری آن با l (|F|=l). فرض مقدار اولیه فاصله ازدحام برای هر i در این مجموعه برابر با (Di=0) است.

مرتب سازی جواب ها را بر اساس هر تابع هدف m=1,2,…,M.

برای هر تابع هدف m، به جواب‌های واقع شده بر مرز جبهه (نقاط ابتدایی و انتهایی)، فاصله ازدحام بزرگی اختصاص داده $(d_{i_1^m} = d_{I_1^m} = \infty)$ و برای محاسبه این شاخص برای بقیه جواب‌ها از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

[1] Pareto Optimal

www.SID.ir

$$d_{I_1^m} = d_{I_j^m} + \frac{f_m^{(I_{j+1}^m)} - f_m^{(I_{j-1}^m)}}{f_m^{\max} - f_m^{\min}} \quad (۱)$$

در رابطه فوق، I_j^m نشان‌دهنده جواب sام در فهرست مرتب شده جواب‌ها بر اساس تابع هدف m می‌باشد. صورت کسر در سمت راست رابطه فوق نشان‌دهنده اختلاف مقدار تابع هدف mام برای دو جواب مجاور جواب j است. مخرج کسر نشان‌دهنده اختلاف حداقل و حداکثر مقدار تابع هدف mام در جمعیت است.

۳-۲- عملگر انتخاب مسابقه‌ای بر اساس ازدحام

ساختار کلی عملگر انتخاب مسابقه‌ای بر اساس ازدحام مشابه عملگر انتخاب مسابقه‌ای در الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه می‌باشد. تفاوت اصلی بین این دو عملگر در این است که در انتخاب مسابقه‌ای بر اساس ازدحام فرض می‌شود که هر جواب i دارای دو مشخصه است:

رتبه غیرپست در جمعیت (r_i)

فاصله ازدحام (d_i) در جمعیت

در عملگر انتخاب مسابقه‌ای بر اساس ازدحام، جواب i در مسابقه بر جواب j برنده خواهد بود در شرایطی که حداقل یکی از دو شرط زیر برقرار باشد:

جواب i دارای رتبه بهتری باشد $(r_i < r_j)$.

در صورتی که رتبه هر دو جواب مساوی باشد، فاصله ازدحام جواب i بهتر از جواب j باشد

$(r_i = r_j, d_i > d_j)$.

شرط اول، امکان اطمینان از اینکه جواب برنده روی جبهه برتر واقع شده را فراهم می‌کند. شرط دوم نیز امکان انتخاب جواب‌های متنوع‌تر را از نقاط واقع بر یک جبهه فراهم می‌کند.

اهداف بهینه‌سازی این مقاله، کمینه‌کردن THD ولتاژ، TIF جریان خطوط و تلفات کلی شبکه مطابق روابط (۲) تا (۴) با رعایت قیود ولتاژی استاندارد شبکه و مقدار مجاز اعوجاج هارمونیکی می‌باشد:

$$TotalTHD = \sum_i THD_i \quad (۲)$$

$$TotalTIF = \sum_j TIF_j \quad (۳)$$

$$Total_Loss = \sum_j P_{loss_j} \quad (۴)$$

که در این روابط i شماره باس و j شماره خط می‌باشد.

قیود موردنظر ولتاژ عبارتند از رعایت شرط اندازه ولتاژ و مقدار مجاز اعوجاج هارمونیکی هر باس که در زیر توضیح داده می‌شود.

الف) قید ولتاژ شبکه

طبق استاندارد، ولتاژ هر باس باید بین ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ پریونیت - باشد. از آنجا که بارهای هارمونیکی باعث ایجاد مؤلفه‌های هارمونیکی ولتاژ در شبکه می‌گردند، این مؤلفه‌ها با مؤلفه اصلی ولتاژ موجود در شبکه جمع می‌شوند. بنابراین ولتاژ قرار گرفته بر روی هر باس برابر جمع مؤلفه اصلی و مؤلفه‌های هارمونیکی در باس موردنظر خواهد بود. لذا این امکان وجود دارد که با حضور مؤلفه‌های هارمونیکی، ولتاژ باس‌ها از محدوده مجاز خارج شوند.

ب) مقدار مجاز اعوجاج هارمونیکی

بارهای غیرخطی باعث تغییر شکل‌موج ولتاژ از حالت سینوسی ایده‌آل و تغییر در اندازه آن می‌گردند. از طرفی این اغتشاشات در شبکه نیز پخش می‌گردند. لذا میزان اعوجاج تولیدی هر بار غیرخطی در شبکه تا سقف معینی محدود می‌گردد. این مقدار مجاز توسط شاخص‌های THD و IVD[1] ولتاژ هر باس با توجه به مقدار نامی ولتاژ باس مشخص می‌شود. مقادیر مجاز THD و IVD برای سطوح ولتاژی مختلف در استاندارد جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: محدوده اعوجاج ولتاژ [۱۴]

ولتاژ باس	IVD (%)	THD
سطوح ولتاژ کمتر یا مساوی ۶۹ kv	۳	۵
سطوح ولتاژ بین ۶۹ kv و ۱۶۱ kv	۱/۵	۲/۵
سطوح ولتاژ بزرگتر از ۱۶۱ kv	۱	۱/۵

لازم به ذکر است با توجه به اینکه از دید شرکت برق تمامی بارها به صورت کلی مدیریت می‌شود؛ لذا میزان مجاز اعوجاج هارمونیکی به صورت زیر کنترل می‌گردد:

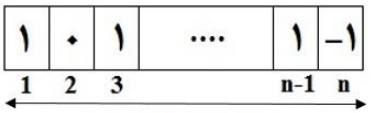
هارمونیک هر باس به تنهایی در محدوده مجاز داده شده در جدول ۱ قرار گیرد.

مقدار تجاوز از حد استاندارد بعضی بارها، با میزان کاهش اعوجاج تولیدی در بارهای دیگر شبکه جبران گردد. به بیان دیگر، میزان اعوجاج کلی شبکه که برابر با مجموع THD تمام باس‌ها است از مجموع حدأکثر مقدار مجاز THD تمام باس‌ها بیشتر نباشد.

رسیدن به این مهم با سنجش اهداف موردنظر بر روی کروموزوم-های موجود در جمعیت اولیه که به صورت تصادفی تولید شده‌اند آغاز می‌گردد. هر کروموزوم در جمعیت اولیه بیانگر یک نمونه از آرایش خطوط می‌باشد. به بیان ساده‌تر تعداد ژن‌های هر کروموزوم مطابق شکل (۹) با تعداد خطوط شبکه (n) برابر بوده و هر ژن می‌تواند دارای سه مقدار ۱+ ، ۱- و صفر باشد.

[1] Individual Voltage Distortion

www.SID.ir



شکل۹:کروموزوم جمعیت اولیه

هر مقدار بیانگر یک نوع آرایش خط بوده و مطابق زیر تعریف می-گردد.

- ژن (۱+) برای آرایش تک‌مداره شش‌فاز
- ژن (۰) برای آرایش تک‌مداره سه‌فاز
- ژن (۱-) برای آرایش دومداره سه‌فاز

برای سنجش اهداف و بررسی برآورده‌شدن قیود مسئله در تبدیل‌های مختلف شبکه که در بالا ذکر شد، به تعریف توابع هدف مناسب نیاز است. توابع هدف موردنظر در این روش عبارتند از تلفات کل شبکه، TIF جریان خطوط و THD ولتاژ باس‌ها که به کمک آنالیز هارمونیکی محاسبه می‌شوند.

۴- آنالیز هارمونیکی

بدلیل وجود بارهای غیرخطی در شبکه، علاوه برفرکانس مؤلفه اصلی، فرکانس‌های هارمونیکی نیز در شبکه وجود دارد که لزوم بررسی شبکه در آن فرکانس‌ها نمایان می‌گردد. تحلیل در فرکانس اصلی با استفاده از پخش‌بار به روش نیوتون‌رافسون انجام می‌شود و برای تحلیل در فرکانس‌های هارمونیکی باید پخش‌بار هارمونیکی انجام شود.

روش آنالیز هارمونیکی در تحقیق پخش بار هارمونیکی به روش مجزا[1] [۱۳] می‌باشد. در روش مذکور از کوپلینگ بین مؤلفه‌های هارمونیکی با یکدیگر صرفنظر می‌گردد. به این ترتیب که در هر فرکانس هارمونیکی، شبکه بصورت مجزا مدلسازی شده و پخش‌بار انجام می‌گیرد. در این روش بارهای غیرخطی که باعث ایجاد اختلال هارمونیکی در شبکه می‌شوند به‌عنوان منبع سیگنال هارمونیکی در نظر گرفته می‌شوند.

با توجه به وابستگی ماهیت هارمونیک‌ها (مؤلفه، اندازه و فاز هارمونیک‌ها) در شبکه به نوع بارهای غیرخطی، اهمیت زیاد مدلسازی بارها در شبکه معلوم می‌گردد که این مدلسازی در دو حوزه زمان و فرکانس انجام می‌پذیرد [۱۴]. مدلسازی در حوزه زمان برپایه آنالیر حالت گذرا می‌باشد در حالیکه مدلسازی در حوزه فرکانس از آنالیز اسکن فرکانسی برای سنجش واکنش فرکانسی شبکه استفاده می‌کند. مدلسازی در حوزه زمان نیازمند ارائه جزئیات المان‌های موجود در شبکه است که باعث پیچیدگی و افزایش زمان محاسبات محاسبات می‌گردد. بنابراین از مدلسازی در حوزه فرکانس به‌منظور کاهش زمان محاسبات استفاده شده است.

محاسبات پخش بار هارمونیکی بطور کلی به‌دو دسته مجزا و پیوسته[2] طبقه‌بندی می‌گردد. روش پیوسته تمام مؤلفه‌های هارمونیکی را بطور همزمان آنالیز می‌کند. این روش دقت بالایی دارد اما منجر به پیچیدگی محاسباتی بسیار بالایی می‌گردد؛ این روش همچنین به اطلاعات بسیار جزیی برای مدلسازی بارهای غیرخطی نیاز دارد که در بعضی موارد در دسترس نبوده و کاربرد آن‌را با محدودیت مواجه می‌کند [۱۵]. در روش مجزا با صرفنظر کردن از کوپلینگ بین مؤلفه‌های هارمونیکی، محاسبات برای هر مؤلفه‌ی هارمونیکی بصورت جداگانه انجام شده و به زمان محاسبات کمتری نیاز است.

از انجا که بارهای غیرخطی به صورت منبع جریان هارمونیکی یا منبع ولتاژ هارمونیکی مدل می‌شوند، وارد کردن هر کدام از مدل-ها در محاسبات با اندازه‌گیری شکل موج غیرسینوسی ولتاژ و جریان ساده خواهد بود. همچنین برای سیستم‌هایی با چندین بار غیرخطی، با درنظر گرفتن همزمان جریان‌های هارمونیکی تزریقی به شبکه توسط این بارها براحتی می‌توان شبکه موردنظر را مورد ارزیابی قرار داد.

اگرچه روش پخش بار هارمونیکی مجزا دقت روش‌های مبتنی بر درنظرگرفتن کوپلینگ مؤلفه‌های هارمونیکی را ندارد، اما تعادل قابل قبولی بین پیچیدگی محاسبات و دقت نتایج ارائه می‌دهد [۱۳].

مراحل اجرای پخش بار مذکور بطور خلاصه در زیر آمده است:

گام ۱: ورود اطلاعات شبکه موجود.

گام ۲: انجام پخش‌بار مؤلفه اصلی با استفاده از روش نیوتن-رافسون و ذخیره نتایج.

گام۳: تطبیق ماتریس ادمیتانس شبکه با توجه به مؤلفه هارمونیکی به این صورت که در مؤلفه هارمونیکی hام مقدار ادمیتانس بار، ادمیتانس خازن موازی و ادمیتانس خط به صورت روابط (۵) تا (۷) تغییر می‌کند

$$y_{li}^{h} = \frac{P_{li}}{\left(V_i^1\right)^2} - j\frac{Q_{li}}{h\left(V_i^1\right)^2} \qquad (۵)$$

$$y_{ci}^{h} = h\, y_{ci}^{1} \qquad (۶)$$

[1] Decoupled Approach for Harmonic Power Flow

[2] - Coupled

www.SID.ir

$$y^{h}_{i,i+1} = \frac{1}{R_{i,i+1} + jh\,X_{i,i+1}} \qquad (۷)$$

که در این معادلات:

V^{1}_{i} : مؤلفه اصلی ولتاژ در باس i،

y^{1}_{ci} : ادمیتانس خازن موازی در باس i در فرکانس اصلی سیستم قدرت،

P_{li} : مجموع توان حقیقی در باس i،

Q_{li} : مجموع توان غیرحقیقی در باس i،

$R_{i,i+1}$: مقاومت خط بین باس i و باس $i+1$ در فرکانس اصلی و

$X_{i,i+1}$: اندوکتانس خط بین باس i و باس $i+1$ در فرکانس اصلی می‌باشد.

گام ۴: ساختن بردار منبع جریان هارمونیکی مربوط به هر مؤلفه هارمونیکی.

مقدار جریان هارمونیکی تولیدی توسط بارغیرخطی متصل به باس i با توان مشخص از رابطه (۹) مطابق زیر محاسبه می‌شود:

$$I^{h}_{i} = C(h)\,I^{1}_{i} \qquad (۹)$$

در این روابط I^{1}_{i} جریان مؤلفه اصلی، I^{h}_{i} جریان هارمونیکی مرتبه h ام و $C(h)$ نسبت جریان هر مؤلفه هارمونیکی به جریان مؤلفه اصلی می‌باشد که برای هربار غیرخطی با انجام آنالیز فوریه مشخص می‌باشد [۱۶-۱۸].

گام ۵: در نهایت با بدست آوردن ماتریس ادمیتانس و بردار جریان با استفاده از رابطه (۱۰) ولتاژ هر باس در مؤلفه هارمونیکی h محاسبه می‌گردد:

$$Y^{h} \times V^{h} = I^{h} \qquad (۱۰)$$

این مراحل برای تمامی مرتبه‌های هارمونیکی موجود در شبکه که با توجه به بارهای غیرخطی تعیین می‌شود، انجام می‌گیرد. در نهایت ماتریس ولتاژی ساخته می‌شود که تعداد سطرهای آن برابر تعداد باس‌ها و تعداد ستون‌های آن برابر با مؤلفه‌های هارمونیکی موجود در شبکه خواهد بود. با داشتن ولتاژهای بدست آمده از مرحله قبل، می‌توان شاخص‌های کیفیت توان مورد نظر را بدست آورد.

برای بررسی میزان مجاز اعوجاج هارمونیکی کل، THD هر باس که با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود، با مقدار مجاز آن که در جدول ۱ ارائه شده است مقایسه می‌گردد.

$$THD_{Vi}(\%) = \left[\frac{\left(\sum_{n=1}^{H} \left| V_i^h \right|^2 \right)^{1/2}}{\left| V_i^1 \right|} \right] \qquad (۱۱)$$

در این معادله V^{h}_{j} ولتاژ هارمونیکی مرتبه h ام باس i و H بزرگترین مرتبه مؤلفه هارمونیکی موجود در شبکه می‌باشد. قید دیگری که لازم است بررسی شود محدوده‌ی مجاز ولتاژها است بطوری‌که ولتاژ همه‌ی باسها بایستی در بازه ±0.05Vn باشند که Vn ولتاژ نامی باس nام می‌باشد. سپس در صورت برآورده شدن این قید برای آرایش مربوطه، اهداف مسأله که شامل تلفات‌کل، THD ولتاژ باس‌ها و TIF جریان خطوط است محاسبه می‌گردند. THD ولتاژ باس‌ها مطابق رابطه (۱۱) بوده و تلفات و TIF جریان به ترتیب با استفاده از روابط (۱۲) تا (۱۴) محاسبه می‌شوند.

$$P^{h}_{loss(i,i+1)} = R_{i,i+1}\left(\left| V^{h}_{i+1} - V^{h}_{i} \right| \left| y^{h}_{i,i+1} \right| \right)^2 \qquad (۱۲)$$

$$Ploss = \sum_{h=1}^{H} \left(\sum_{i=1}^{m} P^{h}_{loss(i,i+1)} \right) \qquad (۱۳)$$

$$TIF = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{H} (w_i F_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{H} F_i^2}} \qquad (۱۴)$$

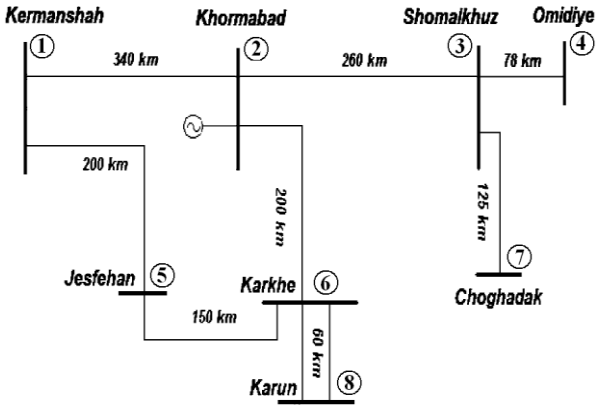
رابطه‌ی (۱۲) تلفات مؤلفه h خط بین باس‌های i و $i+1$ و رابطه‌ی (۱۳) بیانگر تلفات کل شبکه در هارمونیک h می‌باشد که در آن H بزرگترین مرتبه هارمونیک موجود در شبکه است. رابطه (۱۴) به‌منظور محاسبه TIF جریان خطوط می‌باشد که در آن Fi مقدار موثر مولفه هارمونیکی i ام و w_i ضریب وزنی TIF در فرکانس هارمونیکی مربوطه است که برای فرکانس‌های هارمونیکی مختلف در استاندارد IEEE Std.519 [۱۹] آمده است.

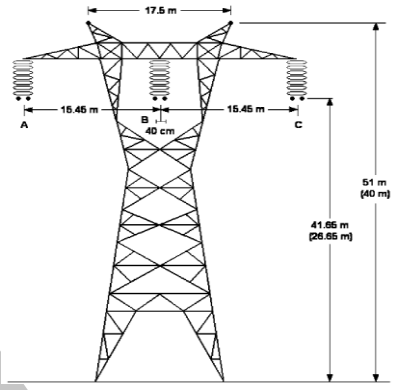
۵- مدلسازی سیستم آزمایشی

دیاگرام شماتیک سیستم آزمایشی نشان داده شده در شکل(۱۰) مربوط به شبکه محلی در جنوب ایران می‌باشد که شامل یک ژنراتور، ۸ باس بار و ۹ خط انتقال می‌باشد که همگی خطوط دارای آرایش تک‌مداره ۳فاز و دکل نشان داده شده در شکل زیر می‌باشند. جزئیات در پیوست ارائه شده است.

Archive of SID

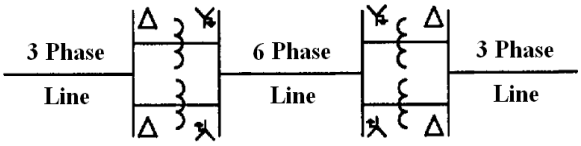
www.SID.ir



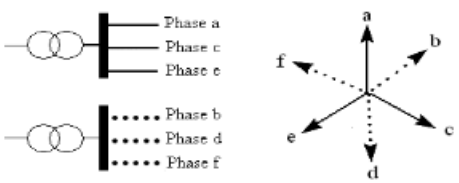


شکل۱۰: دیاگرام سیستم آزمایشی نتیجه‌گیری

اتصالات متنوعی از ترانسفورماتورها به‌منظور تبدیل خط ۳ فاز به ۶ فاز وجود دارد [۲۰]. در این مقاله از اتصال $\Delta-Y$ و $Y-\Delta$ معکوس مطابق شکل (۱۱) جهت تبدیل خط استفاده شده است که هر کدام از جفت ترانس‌های ابتدا و انتها، زوایای ولتاژ را به اندازه ۶۰ درجه مطابق شکل (۱۲) شیفت می‌دهند [۲۱]. راکتانس ترانس شیفت فازی بر مبنای MVA ۱۰۰ مقدار ۰/۰۲ در واحد پریونیت درنظر گرفته شده است.



شکل۱۱: اتصالات ترانسفورماتور شیفت فازی



شکل ۱۲: عملکرد ترانسفورماتور شیفت فازی

برای خطوط دومداره ۳فاز از دکل با آرایش فازها مطابق شکل (۱۳) و برای خطوط تکداره ۶فاز از دکل مطابق شکل (۱۴) استفاده شده است. مقادیر اندوکتانس و ظرفیت خازنی در واحد طول برای خط دومداره ۳فاز برابر است با:

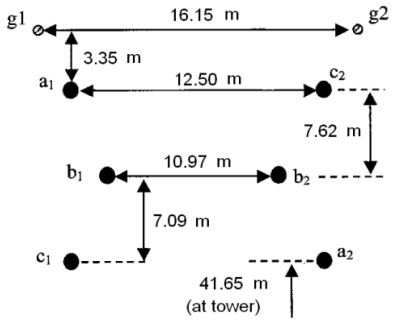
$$X_l = 0.23243 \ \Omega/km \quad \text{و} \quad Y_l = 7.10741 \ S/km$$

برای خط تک‌مداره ۳ فاز:

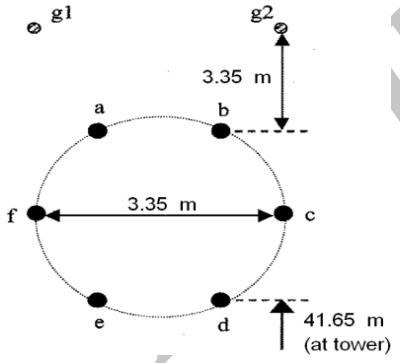
$$X_l = 0.42393 \ \Omega/km \quad \text{و} \quad Y_l = 3.87283 \ S/km$$

برای خط تک‌مداره ۶ فاز:

$$X_l = 0.39081 \ \Omega/km \quad \text{و} \quad Y_l = 4.31533 \ S/km$$



شکل ۱۳: آرایش فازها در خط دومداره ۳فاز(۴۰۰ kv)



شکل ۱۴: آرایش فازها در خط تکمداره ۶فاز (۲۳۰kv)

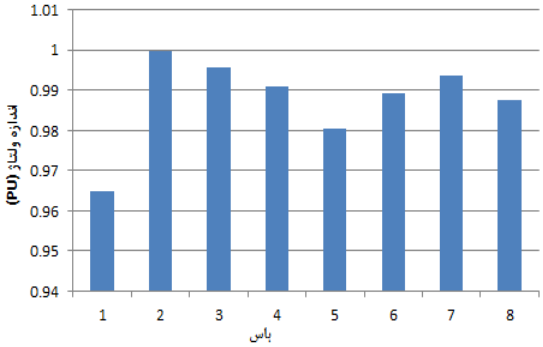
بار غیرخطی استفاده شده در این شبکه درایو کنترل سرعت (PWM ASD) متصل به باس ۱ و اینورتر ۶ پالس متصل به باس ۳ می‌باشد که طیف هارمونیکی آن‌ها در پیوست آمده است.

۶- مطالعات عددی

طبق مطالعات انجام شده بر روی شبکه موجود که تمامی خطوط بصورت تکمداره ۳فاز می‌باشد، ولتاژ باسها مطابق شکل (۱۵) و مقدار توابع هدف مطابق جدول (۲) می‌باشد. ولتاژ در هر باس

www.SID.ir

مجموع ولتاژ مؤلفه اصلی و ولتاژهای هارمونیکی می‌باشد.



شکل ۱۵: ولتاژ باس‌ها در شبکه موجود

جدول۲ : مقادیر توابع هدف در وضعیت موجود

توابع هدف	Total THD	Total Loss (p.u.)	Total TIF
مقادیر توابع هدف	۸/۱۷	۰/۰۱۸۶	۳۲۰۸/۴

پس از انجام بهینه‌سازی، جبهه جواب پارتو مطابق شکل (۱۶) بدست می‌آید که این جبهه دارای ۱۰۰ کروموزوم می‌باشد. همانطور که در شکل مشخص است جواب مورد نظر عبارت است از کروموزومی که از لحاظ هر سه هدف نسبت به بقیه کروموزوم‌ها کمینه شده باشد. جواب بهینه جبهه پارتو با استفاده از روش max-min که در قسمت بعدی توضیح داده می‌شود بدست می‌آید.

۶-۱- تصمیم گیری در انتخاب پاسخ نهایی

پس از اینکه مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه پارتو با استفاده از NSGA-II به‌دست آمد، می‌بایست از میان اعضای این مجموعه، پاسخ نهایی مسأله را با توجه به اولویت‌بندی‌های تخصصی و نیز میزان رضایت‌مندی از توابع هدف انتخاب نمود. در این تحقیق استفاده از روش max-min به منظور انتخاب بهترین پاسخ مسأله چندهدفه پیشنهاد شده است. در این روش مقادیر توابع هدف متناظر با هر پاسخ k در مجموعه پاسخ‌های بهینه پارتو $(f_{THDk}\ ,\ f_{Lossk}\ ,\ f_{TIFk})$ ، با استفاده از رابطه (۱۵) نرمالیزه می‌شوند.

$$\left(\frac{f_{THD\max}-f_{THDk}}{f_{THD\max}-f_{THD\min}},\ \frac{f_{Loss\max}-f_{Lossk}}{f_{Loss\max}-f_{Loss\min}},\ \frac{f_{TIF\max}-f_{TIFk}}{f_{TIF\max}-f_{TIF\min}}\right) \quad (۱۵)$$

که در آن $f_{THD\max}$ ،$f_{THD\ max}$ ، $f_{Loss\min}$ و $f_{TIF\min}$ به ترتیب بیشترین مقدار به‌دست آمده از میان پاسخ‌های بهینه پارتو برای مجموع THD ولتاژ تمامی باس‌ها، تلفات کلی شبکه و مجموع TIF جریان تمامی خطوط است. پارامترهای $f_{THD\min}$ ، $f_{Loss\min}$ و $f_{TIF\min}$ نیز به‌ترتیب کمترین مقدار به‌دست آمده این توابع هدف از میان پاسخ‌های بهینه را نشان می‌دهند.

لازم به ذکر است که پاسخ ایده‌آل مسأله $(f_{THD\min}\ ,\ f_{Loss\min}\ ,\ f_{TIF\min})$ می‌باشد که مقدار نرمالیزه شده آن (۱،۱،۱) می‌باشد. از سوی دیگر، بدترین پاسخ ممکن مسأله نیز $(f_{THD\max}\ ,\ f_{Loss\max}\ ,\ f_{TIF\max})$ می‌باشد که مقدار نرمالیزه شده‌ی متناظر با آن (۰،۰،۰) خواهد بود. با بکارگیری روش max-min [۲۲]، [۲۳] و [۲۴] طبق رابطه (۱۶)، بهترین پاسخ مسأله که بیشترین رضایت‌مندی را داراست، انتخاب می‌گردد.

$$\max_k\left\{\min\left[\left(\frac{f_{THD\max}-f_{THDk}}{f_{THD\max}-f_{THD\min}},\ \frac{f_{Loss\max}-f_{Lossk}}{f_{Loss\max}-f_{Loss\min}},\ \frac{f_{TIF\max}-f_{TIFk}}{f_{TIF\max}-f_{TIF\min}}\right)\right]\right\} \quad (۱۶)$$

۶-۲- انتخاب بهترین پاسخ

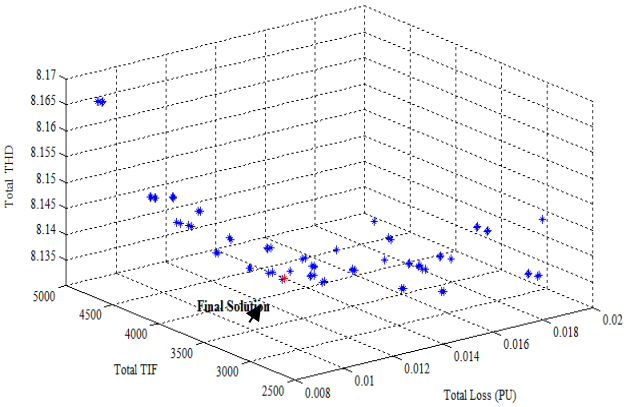
بهترین پاسخ از میان ۱۰۰ کروموزوم موجود در جبهه بهینه پارتو که با استفاده از روش مذکور در قسمت قبل بدست آمده است کروموزوم شماره ۹۳ است که مقادیر توابع هدف و آرایش خطوط متناظر با آن به ترتیب مطابق جدول ۳ و جدول ۴ بوده و ولتاژ باس‌ها و مقادیر THD ولتاژ باس‌ها در حالت بهینه مطابق با شکل‌های ۱۷ و ۱۸ است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳ : مقادیر توابع هدف در وضعیت موجود

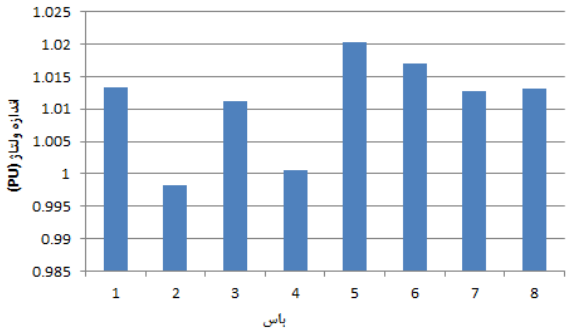
توابع هدف	Total THD	Total Loss (p.u.)	Total TIF
مقادیر توابع هدف	۸/۱۴	۰/۰۱۰۸	۳۳۷۳



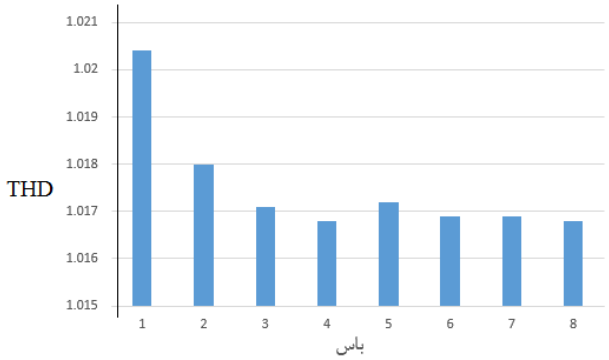
شکل ۱۶: جبهه جواب پارتو در مسئله

جدول ۴: آرایش بهینه خطوط

نوع خط	باس مقصد	باس مبداء
3PDC	۲	۱
3PDC	۳	۲
6PSC	۴	۳
3PDC	۷	۳
3PSC	۶	۲
3PDC	۵	۱
3PDC	۶	۵
6PSC	۸	۶
6PSC	۸	۶



شکل ۱۷: ولتاژ باس‌ها در آرایش بهینه



شکل۱۸: THD ولتاژ باس‌ها در حالت بهینه برحسب درصد

همانطورکه مشخص است حالت بهینه نسبت به وضعیت موجود در تمامی اهداف نمایانگر بهبود شاخص‌های کیفیت توان می‌باشد. لازم به ذکر است از آنجا که شبکه آزمایشی، به دلیل کمبود اطلاعات بارهای واقعی سیستم، تنها دارای دو بار غیرخطی بوده است، تفاوت مقادیر اهداف در وضعیت موجود و آرایش بهینه کم می‌باشد. اما در شبکه‌های امروزی بارهای غیرخطی رو به رشد بوده و تعداد آنها بسیار زیاد می‌باشد؛ لذا پاسخ ارائه شده توسط روش پیشنهادی جهت تبدیل خطوط شبکه‌های امروزی بدون شک دارای برتری قابل توجهی نسبت به وضعیت اولیه از نظر شاخص-های کیفیت توان خواهد بود.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله تبدیل شبکه در قالب افزایش تعداد فاز خطوط انتقال به‌عنوان یکی از روش‌های مواجهه با افزایش تقاضای انرژی الکتریکی معرفی گردید. بر اساس نتایج، نشان داده شد که TIF جریان‌خطوط و THD ولتاژ باس‌ها به نوع تبدیل شبکه (تبدیل شبکه به 3PDC و 6PSC) و همچنین نوع بار هارمونیکی موجود در آن بستگی دارد. با این حال آنالیز اسکن فرکانسی نشان می‌دهد که با تبدیل شبکه تک‌مداره ۳ فاز موجود به شبکه 6PSC، تعداد تشدیدها و همچنین اندازه امپدانس فرکانس بالا افزایش می‌یابد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که برای هر نوع بهینه‌سازی شبکه به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر جهت جایگزینی خطوط، می-بایست اثرات هارمونیک‌ها روی سیستم قدرت همراه با تلفات شبکه و قیود ولتاژی در نظر گرفته شوند.

برای دستیابی به آرایش بهینه که در آن شاخص‌های کیفیت توان بهینه شده باشند، روش بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر رتبه‌بندی غیرپست (NSGA-II) به منظور ابزار کار انتخاب گردید. در این روش تمامی حالات ممکن تبدیل خطوط با استفاده از توابع هدفی که شامل شاخص‌های کیفیت توان می‌باشند مورد بررسی قرار گرفته و بهترین آرایش خطوط که شاخص‌های کیفیت توان را به بهترین نحو بهینه کند ارائه می‌گردد.

Archive
www.SID.ir

روش پیشنهادی بر روی قسمتی از شبکه ایران انجام شده و آرایش بهینه برای تبدیل خطوط بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در شبکه تبدیل یافته شاخص‌های کیفیت توان نسبت به شبکه اولیه بهبود پیدا کرده‌اند

مراجع

[1] L. O. Barthold, and H. C. Barnes, “High phase order power transmission”, CIGRE Study Committee, No. 31Report, 1972 and ELECTRA, No. 24, pp. 139-153, 1973.

[2] T. F. Dorazio, “High phase order transmission,” IEEE No. 90TH0313-7, NYSEG, Binghamton, New York, Apr. 1990.

[3] J.R. Stewart, L.J. Oppel, and R.J. Richeda, “Corona and effects of experience on an operating utility six-phase transmission line”, IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 13, No. 4, October 1998, pp. 1363-1369.

[4] James R. Stewart, Laurie J. Oppel, Gary C. Thomann, Thomas F. Dorazio, and M.T. Brown, “Insulation coordination, environmental and system analysis of existing double circuit line reconfigured to six-phase operation”, IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 7, No. 3, July 1992, pp. 1628-1633.

[5] M. T. Correia de Barros, “Identification of the capacitance coefficients of multiphase transmission lines exhibiting corona under transient conditions”, IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995, pp. 1642-1648.

[۶] ح. کامل، ح. لسانی، "محاسبه حداقل فاصله عایقی لازم جهت تبدیل خطوط دومداره سه فاز به۶ فاز در شبکه سراسری"، دهمین کنفرانس بین المللی برق، آبان ۱۳۷۴.

[7] M.A.Golkar, R.Shariatinasab, M.Akbari, “Voltage Stability Analysis in Conversion of Double Three-Phase to Six-Phase Transmission Line”, IEEE International Conference on Power and Energy, Nov 29 - Dec 1, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.

[8] S.S. Venkata, W.C. Guyker, J. Kondragunta, N.K. Saini., and E.K. Stanek, “138-kV, six-phase transmission system: Fault Analysis”, IEEE Transaction on Power Apparatus and systems, Vol. PAS-101, No. 5, 1982, pp. 1203-1218.

[9] V. Eckhardt, P. Hippe, and G. Hosemann, “Dynamic measuring of frequency and frequency oscillations in multiphase power systems”, IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 14, No. 1, January 1989, pp. 95-102.

[10] R.Shariatinasab, and M.Akbari, “Harmonic Analysis of Power Systems in order to Network Conversion”, IEEE International Conference on Power and Energy, Nov 29 - Dec 1, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.

[11] Deb K., S. Agrawal, A. Pratap, and T. Meyarivan, (2000). “A Fast Elitist NonDominated Sorting Genetic Algorithm For Multi-Objective Optimization: NSGA-II”. In Proceeding of the Parallel problem solving From Natural VI Conference, Pages 849-858.

[۱۲] بنفشه زهرایی، سید موسی حسینی "الگوریتم ژمتیک و بهینه‌سازی مهندسی"، انتشارات گوتنبرگ، تهران، ۱۳۸۸.

[13] A. Ulinuha, M. A. S. Masoum, senior Member, IEEE, and S. M. Islam, senior Member, IEEE, "Harmonic Power Flow Calculations for a Large Power System with Multiple Nonlinear Loads Using Decoupled Approach" Power Engineering Conference, 2007. AUPEC 2007. Australasian Universities

[14] M. A. Moreno Lopez de Saa and J. Usaola Garcia, "Three-phaseharmonic load flow in frequency and time domains," IEE Proceedings - Electric Power Applications, vol. 150, pp. 295-300, 2003.

[15] S. M. Williams, G. T. Brownfeild, and J. W. Duffus, “Harmonic propagation on a electric distribution system: field measurements compared with computer simulation” IEEE transactions on power delivery, vol. 8, pp. 547-552, 1993.

[16] H.-C. Chin, "Optimal shunt capacitor allocation by fuzzy dynamicprogramming," Electric Power Systems Research, vol. 35, pp. 133-139,1995/11 1995.

[17] Y. Baghzouz, "Effects of nonlinear loads on optimal capacitor placement in radial feeders," IEEETrans. on Power Delivery, vol. 6, pp.245-251, Jan. 1991 1991.

[18] T. S. Chung and H. C. Leung, "A genetic algorithm approach in optimal capacitor selection with harmonic distortion considerations," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 21,pp. 561-569, 1999/11 1999.

[19] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “ IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System, IEEE Std 519-1992 “, New York, NY 10017, USA, April 12, 1993

[20] Ahmad, M.R.: ‘Static and dynamic impacts of six phase power transmission system’. M.Sc. thesis, Tech. Univ. of Malaysia, 2007.

[21] R. Shariatinasab, M. Akbari, "Harmonic Analysis of Power Systems in order to NetworkConversion",IET Generation, Transmission & Distribution, pp. 974-979, 2011.

[22] E. El - Hawary, “Electric Power Applications of Fuzzy Systems”, NewYork: IEEE Press, 1998.

[23] Y. J. Lai and C. L. Hwang, “Fuzzy Multiple Objective Decision Making, Methods and Applications”, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1994.

[24] Y. L. Lai and C. L. Hwang, “Fuzzy Mathematical Programming”, Berlin, Germany: Springer - Verlag, 1992.

پیوست۱: مشخصات شبکه تست مورد مطالعه

جدول الف: مشخصات خطوط

باس مبدا	باس مقصد	مقاومت (پریونیت)	اندوکتانس (پریونیت)	نصف کاپاسیتانس (پریونیت)
۱	۲	۰/۰۰۵۵۶۴۶	۰/۰۹۰۲۴۳۸۳۰	۰/۴۱۱۲۸۵۸۳۰۰
۲	۳	۰/۰۰۴۶۰۷۲	۰/۰۶۸۹۵۹۶۷۴	۰/۳۱۴۵۷۷۹۵۱۷
۳	۴	۰/۰۰۱۵۳۰۷۵	۰/۰۲۰۶۶۶۵۸۷۵	۰
۳	۷	۰/۰۰۲۴۵۳۱۲۵	۰/۰۳۳۱۱۹۵۳۱۲۵	۰/۱۵۱۲۸۲۴۲۱۸۷۵
۲	۶	۰/۰۰۳۹۲۵	۰/۰۵۲۹۹۱۲۵	۰/۲۴۲۰۵۱۸۷۵
۱	۵	۰/۰۰۳۹۲۵	۰/۰۵۲۹۹۱۲۵	۰/۲۴۲۰۵۱۸۷۵
۵	۶	۰/۰۰۲۹۴۳۷۵	۰/۰۳۹۷۴۳۴۳۷۵	۰/۱۸۱۵۳۸۹۰۶۲۵
۶	۸	۰/۰۰۱۱۷۷۵	۰/۰۱۵۸۹۷۳۷۵	۰
۶	۸	۰/۰۰۱۱۷۷۵	۰/۰۱۵۸۹۷۳۷۵	۰

www.SID.ir

جدول ب: مشخصات باس‌ها

شماره باس	نوع باس	بار اکتیو (مگاوات)	بار راکتیو (مگاوار)
۱	بار	۴۹/۵	۲۶/۷۱۷
۲	اسلک	۹۰	۷۵
۳	بار	۳۳	۲۷/۱۲۵
۴	بار	۳۵/۵۷۶	۲۸/۴۰۷
۵	بار	۹۰	۶۰
۶	بار	۳۵	۳۰
۷	بار	۳۴/۱۲۴	۲۷/۶۲۳
۸	بار	۴۰/۶۸۸	۳۰/۵۴۷

جدول ج: مشخصات بار غیرخطی PWM-ASD

شماره مؤلفه	اندازه	فاز (درجه)
۱	۱۰۰	۰
۵	۸۲/۸	-۱۳۵
۷	۷۷/۵	۶۹
۱۱	۴۶/۳	-۶۲
۱۳	۴۱/۲	۱۳۹
۱۷	۱۴/۲	۹
۱۹	۹/۷	-۱۳۵
۲۳	۱/۵	-۱۵۸

جدول د: مشخصات بار غیرخطی اینورتر ۶ پالس

شماره مؤلفه	اندازه	فاز (درجه)
۱	۱۰۰	۰
۵	۲۸	۰
۷	۹	۰
۱۱	۹	۰
۱۳	۶	۰
۱۷	۵	۰
۱۹	۴	۰
۲۳	۳	۰
۲۵	۳	۰

Archive of SID

www.SID.ir

Optimal conversion of transmission lines using HPO method considering power quality indices

Reaz Shariatinasab[1*], Hamzeh Ahrari roodi[2] and Mahmoud Ebadian[3]
1*- Corresponding Author: Faculty of Engineering, Birjand University, Birjand, Iran.
2- Faculty of Engineering, Birjand University, Birjand, Iran.
3- Faculty of Engineering, Birjand University, Birjand, Iran.
[1*] Shariatinasab@birjand.ac.ir, [2] Hamzeh_ahrary@yahoo.com, [3] Mebadian@birjand.ac.ir

Abstract- Nowadays, given the ever-increasing growth of the industry, the optimal use of electrical energy is of particular importance. On the other hand, due to the fact that the increase in the voltage of electric energy transmission lines is almost saturated to increase the power transmission capacity, the need to find new solutions for this purpose is very necessary. One of the solutions that is considered today for optimal utilization of electrical power sources is multi-phase transmission networks. Multiphase transmission networks are networks of 6, 9 and 12 phases, which are among the preferred 6-phase networks and are known as a useful way to increase transmission power against increasing energy demand. The most important factors affecting the choice of optimal conversion (suitable alternative) of transmission lines can be the system losses and the acceptable range for the voltage of all the bus. But since there are a lot of nonlinear loads in the power systems, and this generates harmonics across the network, it is necessary to consider network harmonics and power quality indices. In this paper, a method is proposed to find the best arrangement of lines with the aim of optimizing power quality indices, which is carried out using multi-objective optimization based on non-post ranking (NSGA_II). The results have been performed on a 400 kV network in south of Iran.

Keywords- Network conversion, Multi-phase transmission line, Harmonic load flow, Power quality, NSGA-II optimization method.

Archive of SID

www.SID.ir