اثرات نوسانات ولتاژ بردستگاههای الکتریکی و روشهای اصلاح آن درشبکه توزیع

مهدی معلم
دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده :

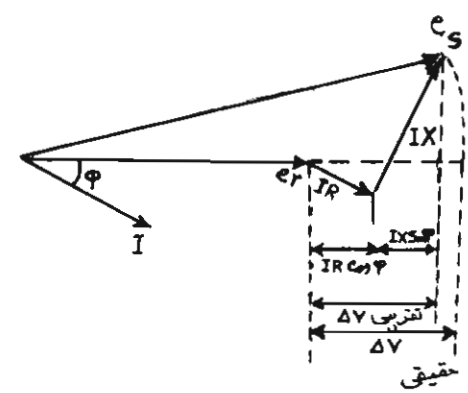
یکی از شرائط اساسی در یک شبکه توزیع تنظیم ولتاژ درمحدوده مجاز است که جهت کارکرد صحیح وسائل الکتریکی بسیار مهم میباشد ، بطوریکه تغییرات مداوم ولتاژ یاکم و زیادتر شدن آن ازحد مجاز بر روی دستگاههای الکتریکی اثرات مخربی خواهد داشت. یک سیستم توزیع که از ابتدای فیدر ۲۰ کیلوولت شروع میشود و به کنتور مصرف کننده‌ها ختم میشود دارای اجزاء متعددی است که هرکدام دارای مقاومتهای اهمی و سلفی میباشند و در نتیجه عبور جریان بار از اجزاء شبکه توزیع افت ولتاژ ایجاد میشود. میزان افت ولتاژ به جریان بار، ضریب قدرت بار، جنس و سطح مقطع هادیها ، طول خطوط وامیدانس ترانسهای توزیع بستگی دارد. اساس تنظیم ولتاژ بر مبنای فراهم آوردن یک ولتاژ مجاز برای تمامی مشترکین در شرائط باری مختلف میباشد بطوریکه بتوان با راه‌حلهای ساده واقتصادی ولتاژ مصرف کننده ها را از اولین تا آخرین آنها در مواقع کم‌باری و پیک بار در حد مجاز نگهداشت.

این مقاله دارای دو بخش میباشد که در بخش اول اثرات کاهش یا ازدیاد ولتاژ بر وسائل الکتریکی مختلف و دربخش دوم روشهای معمول تنظیم ولتاژ مورد بررسی قرار میگیرد. در بخش اخیر روشهائی که اقتصادی‌تر و عملی‌تر میباشند مورد تاکید و بررسی بیشتر قرارمیگیرند.

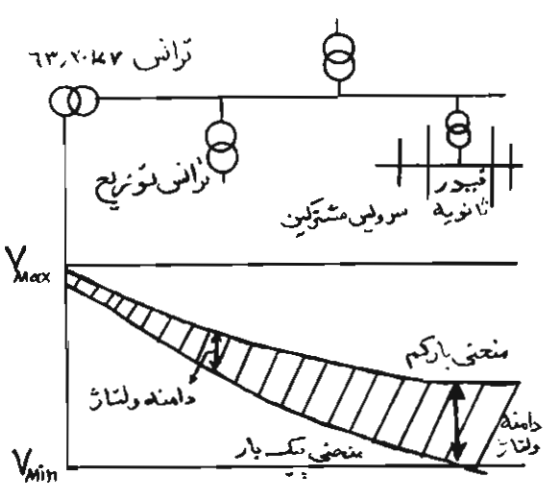
شرح مقاله :

درابتداتعریف چندین کمیت که درطی مقاله بطور مکرر با آنها برخورد داریم را تبیین میکنیم.

- افت ولتاژ : عبارت ازتفاوت بین مقادیرعددی ولتاژ درابتدای فیدر و محل مصرف میباشد. (شکل ۱) که ازرابطه شماره (۱) محاسبه میشود و مقدارتقریبی آن از رابطه شماره (۲) محاسبه میشود.
- درصدتنظیم ولتاژ : عبارت است ازافت ولتاژ نسبی که درصدافت ولتاژ نسبت به ولتاژ مبنا میباشد [رابطه شماره (۳)] .
- دامنه ولتاژ در یک نقطه بخصوص از شبکه : عبارت است ازاختلاف بین ماکزیمم و مینیمم ولتاژ که مقدار آن بستگی به مکان اندازه‌گیری دارد. بنابراین دامنه ولتاژ برای مصرف‌کننده‌ها در طول فیدر متفاوت بوده و برای مصرف کننده‌های نزدیک به ابتدای فیدر کمتر میباشد. هرچه به انتهای فیدرِ نزدیک میشویم دامنه ولتاژ بزرگترمیشود. دامنه ولتاژ برای فیدرهای طولانی (فیدرهای روستائی) دارای مقدار بیشتری میباشد (شکل ۲). بنابراین دامنه ولتاژ برای هرمصرف کننده بستگی به موقعیت مکانی وی و ترتیب فیزیکی سیستم توزیع دارد. امابرای هرسطح ولتاژ تعیین شده یک دامنه ولتاژ مجاز وجود دارد که توسط استاندارد براساس کارکرد مطلوب وسائل الکتریکی تعیین میشود. تغییرات ولتاژ درداخل دامنه مجاز را" حوزه مطلوب " گویند چون کارکرد سیستمهای الکتریکی دراین حوزه گرچه تغییراتی دارد ولی مطلوب وکافی میباشد.



شکل ۱



شکل ۲

$$\Delta V = |e_s| - |e_r| \qquad (1)$$

$$\Delta V = I.R.\cos\phi + I.X.\sin\phi \qquad (2)$$

$$Rv = (\Delta V/V_n) \times 100 \qquad (3)$$

۱- اثر تغییرات ولتاژ بر عملکرد وسائل الکتریکی :

هرگاه ولتاژ یک دستگاه برقی ازمقداری که روی پلاک دستگاه نوشته شده یا ولتاژ نامی آن دستگاه متفاوت گردد این تغییر درمشخصه کار و طول عمر دستگاه اثر میگذارد. مقدار این اثرگذاری بستگی به نوع دستگاه الکتریکی و کیفیت ساخت دستگاه و مقدار تغییرات ولتاژ از مقدار ولتاژ نامی دارد. استانداردهای مختلف نظیر IEC تلرانس مجاز برای دستگاههای مختلف الکتریکی راتعیین میکنند. دراین قسمت به اثرات تغییرات ولتاژ روی دستگاههای الکتریکی متداول میپردازیم. باید توجه نمود که جداول و مقادیرارائه شده براساس نتایج تجربی آماری بوده و بنابراین ممکن است درمراجع مختلف بطور متفاوت ارائه شده باشد.

۱-۱- لامپهای رشته‌ای :

جدول شماره ۱ روشنائی و طول عمرمتوسط لامپهای رشته‌ای رابرحسب تغییرات ولتاژ نشان میدهد. چنانچه از این جداول پیداست کاهش نور لامپ با کاهش ولتاژ شدید است بطوریکه به ازاء ۱۰ درصد کاهش ولتاژ حدود ۳۰ درصد از روشنائی کاهش مییابد و تنها حدود ۱۸ درصد از مصرف لامپ کاسته میشود. اما کاهش طول عمر لامپ در اثر افزایش ولتاژ شدیداست بطوریکه به ازاء حدود ۱۰ درصد افزایش ولتاژ حدود ۷۰ درصداز عمر لامپ کاسته میشود.

درصدروشنائی	درصدعمر	درصدتغییرات	ولتاژ
۶۴	۵۷۵	-۱۴	۱۹۰
۷۵	۳۰۰	- ۹	۲۰۰
۸۸	۱۷۵	- ۴/۵	۲۱۰
۱۰۰	۱۰۰	۰/۰	۲۲۰
۱۲۰	۵۸	۴/۵	۲۳۰
۱۲۳	۳۰	۹	۲۴۰

جدول ۱

۲-۱- لامپهای فلورسنت :

درلامپهای فلورسنت کاهش ولتاژ باعث کاهش نور و استارت بد میشود بطوریکه حدود ۱۰ درصد کاهش ولتاژ باعث ۱۰ درصد کاهش نور خواهد شد. دراین ولتاژ یا لامپ استارت نخواهد شد و یا خیلی بد استارت میشود. زیاد شدن ولتاژ نیز باعث گرم شدن بیش از حد بالاست لامپ و کاهش عمر آن و نیز عمر لامپ میشود. همچنین در مورد لامپهای فلورسنت باکاهش ولتاژ نیز عمر لامپ کاهش مییابد.

۳-۱- لامپهای تخلیه‌ای (جیوه‌ای ، سدیم ، هالوژن) :

مشخصه کاراینگونه لامپها تحت تاثیر تغییرات ولتاژ به شدت تغییر میکند بطوریکه ۱۰ درصد کاهش ولتاژ حدود ۳۰ درصد کاهش روشنائی را در پی خواهد داشت. کاهش بیشتر ولتاژ ممکن است از ایجاد قوس و بخار شدن فلز جلوگیری کند و لامپ روشن نشود ، همچنین در ولتاژهای پائین که در شروع روشن شدن لامپ چندین بار استارت میکند باعث کاهش عمرلامپ میشود. همینطور افزایش ولتاژ بیش از حد مجاز باعث بالا رفتن درجه قوس و صدمه دیدن کاتد میشود و عمر لامپ را کاهش میدهد.

۴-۱- لامپهای الکترونی یاکاتودی (لامپ تلویزیون) :

مشخصه کار لامپهای کاتودی بشدت تحت تاثیر تغییرات ولتاژ قرارمیگیرد و با کاهش ولتاژ مقدار الکترون خروجی کاهش مییابد ، درنتیجه تصویر در تلویزیون دچار پرش ، کمرنگی و عدم وضوح میگردد. از طرف دیگر منحنی عمراین لامپها بشدت با افزایش ولتاژ کاهش مییابد بطوریکه با افزایش حدود پنج درصد ولتاژ ، عمر لامپ به نصف کاهش مییابد. که علت آن ازدیاد درجه حرارت المان کاتد و بخار شدن سطح کاتد میباشد. به همین خاطر دستگاهای شامل این لامپها باید دارای منابع کنترل شده یا دارای ترانسهای با خروجی ولتاژ ثابت باشند.

۵-۱- خازنها :

مشخصه خروجی خازنها نیز تحت تاثیر تغییرات ولتاژ بصورت مجذوری تغییر میکند. با کاهش ۱۰ درصد ولتاژ حدود ۲۰ درصد از بار راکتیو خازن کاسته میشود. اگر این خازنها برای تصحیح ضریب قدرت بکارگرفته شده باشند کاهش ولتاژ اثر

آنها را بشدت تضعیف میکند.

۶-۱- نیمه هادیها :

نیمه هادیهانظیر ترانزیستورها ، دیودها و تایریستورها نیز تحت تاثیر تغییرات ولتاژ قرارمیگیرند لیکن حساسیت آنها به نسبت کمتر میباشد مگر درولتاژهای خیلی بالا یا خیلی پائین که ممکن است مدارهای الکترونیکی شامل این المانها بطور کلی دچار خطای عمل گردد یا باعث از بین رفتن این المانها گردد. بعنوان مثال ولتاژ معکوس بیش ازحد مجاز روی دیودها یا تایریستورها حتی بطور لحظه‌ای این وسائل را از بین میبرد.

۷-۱- دستگاههای حرارتی :

دستگاههای حرارتی نیز تحت تاثیر تغییرات ولتاژ قرار میگیرند وحرارت خروجی آنها با تغییرات ولتاژ تقریبا" بصورت مجذوری تغییر میکند لیکن عمراین دستگاهها فقط تحت اثر ولتاژهای بیش از ولتاژ مجاز در مدت طولانی کاهش میبابد و ممکن است المان آنها بسوزد.

۸-۱- موتورهای القائی :

مهمترازهمه موارد اثرتغییرات ولتاژ روی کار موتورهای القائی است که به تعداد زیاد در صنعت و وسائل خانگی نظیر یخچال ، فریزر ، کولر ، پنکه و ... کار برد دارند. مشخصه گشتاور - سرعت موتورهای القائی تابعی از مجذور دامنه ولتاژ ورودی میباشد و بنابراین با یک کاهش یا افزایش ولتاژ به اندازه X درصد گشتاور ماکزیمم موتور به اندازه X^2 درصد کاهش یاافزایش میبابد. بعنوان مثال اگر موتور رادرولتاژ پائین استارت کنیم گشتاور راه‌اندازی آن بطور مجذوری کاهش میبابد و برای بار مکانیکی ثابت ، جریانی که موتور میکشد بشدت افزایش پیدا میکند و باعث داغ کردن موتور میشود. همچنین با کاهش ولتاژ درحالت کار موتور در بار مکانیکی ثابت ، جریان بیشتری برای تامین گشتاور الکترو مغناطیسی کشیده شده و سیم پیچها داغ میشوند بطوریکه یک کاهش ۱۰ درصد ولتاژ به داغ کردن موتور تا ۱۵ درصد بیشتر منجر شده و باعث کاهش عمر موتور میشود.

افزایش ولتاژ در موتور القائی همچنین باعث کاهش ضریب قدرت و کاهش

راندمان موتور میشود ، همچنین پیر شدن عایقها را تسریع مینماید که در نهایت عمر موتور را میکاهد. جدول ۲ تغییرات مشخصه کار موتورهای القائی با تغییرات ولتاژ را نشان میدهد. اهمیت کارکرد مناسب موتورهای القائی به این خاطر است که موتورهای القائی مصرف کننده عمده انرژی الکتریکی میباشند و نیروی محرکه ماشین‌آلات صنعتی و وسائل خانگی توسط این موتورها تأمین میگردد. بنابراین کارکرد نامناسب این وسائل تاثیر نامطلوبی روی تولید و کارکرد صنایع دارد. کاهش عمراین موتورها نیز باعث ضررهای اقتصادی زیاد برای مصرف کنندگان تجاری ، خانگی و صنعتی خواهدبود.

تغییرات ولتاژ				
۱۲۰% ولتاژ	۱۱۰% ولتاژ	نوع وابستگی به ولتاژ	۹۰% ولتاژ	
۴۴% افزایش	۲۱% افزایش	^{2}(ولتاژ)	۱۹% کاهش	کشتاور راه‌اندازی و ماکزیمم
بدون تغییر	بدون تغییر	ثابت	بدون تغییر	سرعت سنکرون
۳۰% کاهش	۱۷% افزایش	^{2}(ولتاژ)/۱	۲۳%افزایش	لغزش
۱/۵%افزایش	۱% افزایش	لغزش- سرعت سنکرون	۱/۵% کاهش	سرعت بارکامل
افزایش کم	۰/۰۵ تا ۰/۰۷ افزایش	-	۰/۲ کاهش	راندمان دربارکامل
۰/۰۵ تا ۰/۲ کاهش	عملا" بدون تغییر	-	عملا" بدون تغییر	۳/۴ بار
از ۰/۷ تا ۰/۲۰ کاهش	۰/۱ تا ۰/۲ کاهش	-	۰/۱ تا ۰/۲ افزایش	۱/۲ بار
۰/۵ تا ۰/۱۵ کاهش	۰/۳ کاهش	-	۰/۱ افزایش	ضریب قدرت دربار کامل
۰/۱۰ تا ۰/۳ کاهش	۰/۴ کاهش	-	۰/۲ تا ۰/۳ افزایش	۳/۴ بار
۰/۱۵ تا ۰/۴۰ کاهش	۰/۵تا ۰/۶ کاهش	-	۰/۴ تا ۰/۵ افزایش	۱/۲ بار
۱۱% کاهش	۷% کاهش	-	۱۱% افزایش	جریان بارکامل
۲۵% افزایش	۱۰%تا ۱۲% افزایش	ولتاژ	۱۰% تا ۱۲% کاهش	جریان راه‌اندازی
۵ تا ۶ oC کاهش	۳ تا ۴ oC کاهش	-	۶ تا ۷ oC افزایش	افزایش درجه حرارت دربارکامل
۴۴% افزایش	۲۰% افزایش	^{2}(ولتاژ)	۱۹% کاهش	ماکزیمم ظرفیت در حداکثربار
افزایش قابل توجه	افزایش جزئی	-	کاهش جزئی	سروصدابخصوص دربی باری

جدول ۲ - اثرات ولتاژ در پارامترهای مختلف موتورهای القائی

۲- افت ولتاژ مجاز در اجزاء شبکه :

برای یک تنظیم ولتاژ مناسب باید مقدار افت ولتاژ مجاز درقسمتهای مختلف یک شبکه توزیع تعیین گردد. به این مفهوم که تنظیم ولتاژ باید طوری انجام گیرد که ولتاژ اولین معرف کننده روی فیدر از حد مجاز بالاتر نباشد و در تمام حالات بار اولین معرف کننده ماکزیمم ولتاژ مجاز را داشته باشد و همچنین هیچگاه ولتاژ آخرین معرف کننده روی فیدر از مینیمم ولتاژ کمتر نشود. اگر تنظیم ولتاژ مجاز ۵ ± درصد درمبنای ۲۲۰ ولت رادرنظربگیریم ، ولتاژ مجاز معرف کننده‌ها بین ۲۰۹ ولت و ۱۳۲ ولت میباشد. بنابراین ولتاژ ابتدای فیدر (درمحل اولین معرف کننده) از ۲۳۱ ولت نباید تجاوز کند و ولتاژ آخرین معرف کننده نباید از ۲۰۹ ولت کمترباشد. چون حداکثر افت ولتاژ مجاز درسیم‌کشی داخلی خانه‌ها در مواقع پیک بار در حدود ۲ درصد یا ۴/۵ ولت در مبنای ۲۲۰ ولت میباشد ، لذا ولتاژ ورودی آخرین معرف کننده‌ها نباید از ۲۱۳/۵ ولت کمتر باشد. پهنای مجاز دامنه ولتاژ از ابتدا تا انتهای فیدر ۱۷/۵ ولت میباشد.

مطالعه فیدرهای توزیع نشان داده است که برای هر جزء از اجزاء شبکه توزیع یک افت ولتاژ مشخص باید در نظر گرفته شود تا اقتصادی‌ترین حالت را داشته باشیم (ازنظرمعرف مواداولیه نظیرمس). افت ولتاژ اقتصادی دراجزاء شبکه توزیع برای ولتاژ مبنای ۲۲۰ ولت برای فیدر مسکونی و روستائی درجدول ۳ آورده شده است.

ردیف	اجزاء شبکه	فیدرمسکونی (پیک بار)	فیدر روستائی (پیک بار)
۱	فیدراولیه	۶	۱۱
۲	ترانس توزیع	۴	۴
۳	فیدرثانویه	۶	–
۴	سرویس مشترکین	۲	۳
	جمع	۱۸	۱۸

جدول ۳

برطبق این جدول بیشترین افت ولتاژ مجاز در سرویس مشترکین درمواقع پیک بار در فیدرهای مسکونی از ۲ ولت یاحدود ۱ درصد ولتاژ مبنا نباید بیشتر باشد.

افت ولتاژ روی خطوط توزیع ثانویه درحدود ۲ درصد میباشد که با گسترش بار نباید از ۳ درصد تجاوز کند و چنانچه از ۳ درصد تجاوز نمود باید با افزایش ترانسهای توزیع جدید درمرکز ثقل بارهای جدید افت ولتاژ خطوط ثانویه راکاهش داد.

درطراحی شبکه توزیع شهری ترانسهای توزیع را طوری درنظر میگیرند که در موقع پیک بار افت ولتاژی در حدود ۳ تا ۴ ولت داشته باشند. دراثر گسترش بار، بار این ترانسها ممکن است در موقع پیک به ۱۴۰ تا ۱۶۰ درصد بار نامی نیز برسد که دراین صورت افت ولتاژی معادل ۶ تا ۷ ولت خواهند داشت که بیشتراز حد مجاز میباشد. این ترانسها دارای تپ دستی سه مرحله‌ای میباشند که در موقع گسترش بار روی ماکزیمم تپ قرارمیگیرند تا ولتاژ ثانویه را افزایش دهند.

۳- روشهای تنظیم ولتاژ درشبکه توزیع :

عملکرد ضعیف دستگاههای الکتریکی ، گرم شدن بیش از اندازه ، قطع بدون علت رله‌های اضافه جریان و بالاخره سوختن بیش از اندازه وسائل الکتریکی بخصوص موتورها ازنشانه‌های تنظیم ولتاژ بد میباشد. ولتاژهای پائین تراز حد مجاز در انتهای فیدرهای طولانی در مواقع پرباری رخ میدهد و ولتاژهای بیش از حد مجاز درابتدای فیدرها در مواقع کم‌باری اتفاق میافتد ، در صورت پائین بودن ولتاژ از مقدار مجاز در محل مصرف ، ابتدا باید جریان مصرف کننده و جریان سیم ارتباطی را اندازه‌گیری کرد که دستگاه یا سیم ارتباطی اضافه بار نداشته باشند. اگر دستگاه اضافه بار دارد باید اصلاح شود و چنانچه سیم اضافه بار داشته باشد باید ازسیم های ارتباطی جدید بطور موازی استفاده نمود. اما اگر ولتاژ پائین در اثر پائین بودن ولتاژ سیستم توزیع از حد مجاز میباشد باید به اطلاع شرکت توزیع رسانده شود تا روشهای اصلاحی لازم معمول گردد.

برای تنظیم ولتاژ چندین روش متداول است که درنقاط مختلف سیستم توزیع میتواند بکار برده شود. بعضی ازاین روشها ولتاژ را درابتدای فیدر با تغییرات بار تنظیم میکند و پروفایل ولتاژ در طول فیدر را در کم‌باری و بار پیک درمحدوده مجاز نگه میدارد. دربعضی روشهای دیگر امپدانس بین منبع و بار را کاهش میدهند تا دامنه تغییرات ولتاژ رامحدود نمایند. هر روش دارای مشخصه خاص خود میباشد که مقدار بهبود ولتاژ و هزینه بهبود ولتاژ برای هرولت و

انعطاف پذیری آن را نشان میدهد. روشهای تنظیم ولتاژ معمول در شبکه توزیع بطور مختصر شرح داده میشود و میزان تاثیر و هزینه آنها مورد بررسی قرار میگیرد و روشهای مفید برای شبکه توزیع ایران مورد بحث وبررسی بیشتری قرار گرفته و بخصوص روش شماره ۹ با ک برنامه کامپیوتری بررسی شده که نتایج آن در مقاله دیگری عرضه میگردد.

۱-۳- تنظیم ولتاژ درپست های 63/20 KV :

طرح اقتصادی سیستمهای توزیع معمولا" تنظیم ولتاژ در پستها را دربر دارد این تنظیم توسط تپ‌های قابل تغییر زیربار (OLTC) به همراه سیستمهای تنظیم کننده دیگر در طرف فشارضعیف ترانس روی شین یا مستقیما" در ابتدای فیدرهای خروجی قرارمیگیرند ، لزوم یک سیستم تنظیم کننده ولتاژ در پستهای 63/20 KV به خاطر آنست که از اثر تغییرات ولتاژ ورودی پست در طول فیدرهای خروجی جلوگیری شود. چنانچه دامنه تغییرات ولتاژ برابر اختلاف بین سرویسهای مشترکین و خروجی پست ترانس باشد تنظیم کننده پست قابلیت کاهش افت ولتاژ را در موقع پیک بار و مجاز نمودن آنرا خواهد داشت.

حداکثر ولتاژ خروجی پست به وسیله نزدیکترین مصرف کننده به پست محدود میشود و بنابراین دراین روش اصلاح پروفایل ولتاژ برای مصرف‌کننده‌های انتهائی بخصوص در فیدرهای طولانی امکان‌پذیر نیست ، لیکن این روش از روشهای پیش‌بینی شده در اکثر ترانسها میباشد و به همین خاطر کم خرج است ولی گستره عمل آن نیز محدود میباشد.

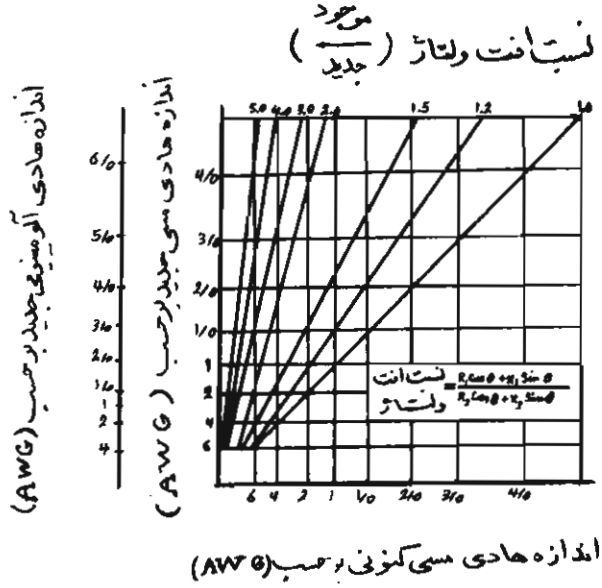
۲-۳- نصب خازن موازی درابتدای فیدر :

نصب خازن موازی روی شین 20KV و تزریق بار راکتیو متناسب با ولتاژ فیدر میباشد. خازنهای نصب شده روی شین 20KV معمولا" دارای قدرت زیاد و چند وضعیتی میباشند. این خازنها مجموعه‌ای سه فاز از بانکهای خازنی کوچکتر هستند که از واحدهای 100 ، 50 و یا 25 کیلووار ساخته شده و ظرفیت کل آنها تا چند MVAR میرسد که معمولا" در ۳ مرحله وارد مدار میشود و هر مرحله یک پله ۲ یا ۳ درصدی ازتنظیم ولتاژ راانجام میدهد. ولی همانطورکه در تنظیم ولتاژ شین ۲۰ کیلوولت گفته شد مقدار تنظیم ولتاژ درابتدای فیدر توسط ماکزیمم ولتاژ اولین مصرف

کننده محدود میشود و بنابراین برای فیدرهای طولانی با بار زیاد مناسب نمیباشد اما از روشهای ارزان قیمت و معمول است که تاحد زیادی بهمراه روشهای تکمیلی دیگر کار تنظیم ولتاژ را انجام میدهد.

۳-۳- افزایش سطح مقطع فیدرها :

یکی از روشهای اساسی کاهش افت ولتاژ در شبکه‌های دارای بار زیاد ، افزایش سطح مقطع هادیها میباشد که باعث کاهش امپدانس بین منبع و مصرف کننده میگردد ، بنابراین افت ولتاژ را کاهش میدهد اما این روش در ضمن از گرانترین روشها میباشد که در مناطق شهری با رشد سریع مصرف و طول فیدرهای کوتاه میتواند عملی گردد. شکل (۳) کاهش افت ولتاژ را با افزایش سطح مقطع هادیها نشان میدهد.



شکل ۳ - کاهش افت ولتاژ با افزایش سطح مقطع هادیها

۴-۳- ایجادتعادل باررروی فیدرها :

یکی ازکم خرجترین روشهای تنظیم ولتاژ روی فیدرها ، ایجاد تعادل بار در شبکه توزیع اولیه و بخصوص ثانویه است بطوریکه از هر سه فاز یک فیدر ، جریانهای مساوی در طول فیدر گرفته شود. علاوه بر افت زیاد و بد تنظیم شدن یک فیدر نامتعادل ، تلفات توان نیز درفیدر نامتعادل بیشتر میباشد. همچنین ممکن

است ظرفیت ترانسها و وسائل دیگر شبکه دراثر اضافه بار یک فاز قبل از ظرفیت نامی خود به حد غیر مجاز برسد و استفاده اقتصادی از اجزاء شبکه را ناممکن سازد. تعادل بار باید در طول فیدرانجام گیرد و نه در خروجی فیدر از پست چراکه در غیر این صورت عدم تعادل در قسمتهای مختلف فیدر ممکن است عدم تعادل ولتاژ و تنظیم بد ولتاژ را بهمراه داشته باشد.

۳-۵- انتقال بار روی فیدرهای جدید :

با افزایش تعداد فیدرهائی که یک منطقه را تغذیه میکنند بار فیدرها کاهش مییابد و درنتیجه افت ولتاژ روی هر یک از آنها کمتر خواهد شد. این روش در مناطقی که دارای رشد سریع بار هستند بسیار مناسب است ، ولی از روشهای گران قیمت تنظیم ولتاژ میباشد. در حالیکه گسترش بار فیدر زیاد باشد و نتوان با روشهای دیگر مسئله تنظیم ولتاژ و اضافه‌بار را حل نمود ناچار به استفاده ازاین روش میباشیم. بنابراین در طراحی شبکه های توزیع باید پیش‌بینی گسترش بار را نمود و با درنظر گرفتن آن تعدادی فیدر رزرو درنظر گرفت. بخصوص توزیع مناطق تجاری شهرها با دانسیته بالا را از طریق پستهای مختلف با فیدرهای رزرو کافی طراحی نمود.

۳-۶- احداث پستهای جدید و کاهش طول فیدرها :

در مورد فیدرهای طولانی با بار زیاد روشهای اصلاحی کمتر مؤثر میباشد. بخصوص در مورد مناطق دوراز پستهای ۶۳/۲۰ KV که بارهای زیاد را طلب میکنند پس از گسترش بار، دارای تلفات زیاد و تنظیم ولتاژ بسیار بد خواهند بود که تنها راه ایجاد پستهای ۶۳/۲۰ KV در مرکز بارهای جدید و در نتیجه کاهش طول فیدرها به مقدار زیاد خواهد بود. این روش گرچه گرانقیمت است لیکن از روشهای طبیعی و اجباری در گسترش شبکه ها میباشد.

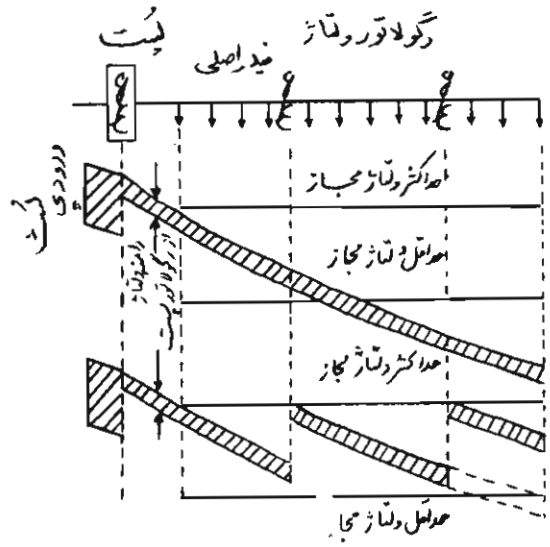
لازم به تذکراست که در هر یک از روشهای تنظیم ولتاژ مسائلی نظیر میزان مؤثر بودن ، محل نصب ، روشهای کنترل و قابلیت عملی بودن روش باید مورد بررسی قرار گیرد که روشهای خاص خود را دارد که مجال پرداختن به آن و ارائه روشهای محاسباتی و انواع رله های مورد استفاده و مکان بهینه استفاده آنها بحث مفصلتری را میطلبد که در یک جزوه جداگانه منتشر خواهد شد.

۳-۷- افزایش سطح ولتاژ فیدرهای اولیه :

هنگامیکه سطح ولتاژ یک فیدر در حالیکه بار ثابت است افزایش پیدا کند مقدار جریان آن فیدر بطور معکوس با تغییرات ولتاژ کاهش مییابد و تغییرات افت ولتاژ روی فیدر متناسب با مجذور تغییرات ولتاژ میباشد این روش نیز از روشهای پرخرج برای تنظیم ولتاژ میباشد که مستلزم تغییرات زیاد در طراحی سیستم و عوض نمودن عایقبندی شبکه و تغییرات عمده در پستها و حفاظت میباشد. ولی میتواند در مناطق شهری پرتراکم ، در طرحهای جدید بطور جدی مورد بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی قرارگیرد.

۳-۸- نصب رگولاتورهای ولتاژ در طول فیدر :

در طول فیدرهای طولانی که تنظیم ولتاژ در پست امکان پذیر نیست میتوان با نصب رگولاتورهای سری در چند محل افت ولتاژ را بصورت مرحلهای مطابق شکل (۴) جبران نمود. این روش برای فیدرهای طولانی با بار زیاد مفید میباشد.



شکل ۴ - تنظیم ولتاژ با رگولاتورهای سری .

رگولاتورهای ولتاژ یا از نوع پلهای توزیعی میباشند و یا از نوع القائی پیوسته ولی در هر حال دامنه تنظیم آنها معمولا" در محدوده ۱۰+ و۱۰- درصد قراردارد. رگولاتورهای توزیعی پلهای که جدیدتر و سبکتر میباشند براساس کار تپ چنجرهای ترانسفورماتور ساخته شدهاند و قادرند با تغییر بار ولتاژ را در چندین مرحله بالا و پائین برده و تنظیم کنند. استاندارد آنها ۱۶ پله ۱/۲۵ درصدی

میباشد. رگولاتورهای پله‌ای توزیعی بعلت کوچک و سبک بودن در قدرتهای پائین قابل نصب روی تیرهای توزیع میباشند ولی رگولاتورهای القائی که براساس ماشینهای القائی کار میکنند سنگین وزن و حجیم بوده وامروزه کمتر استفاده میشوند مگر درصنایع بزرگ و آزمایشگاهها.

۹-۳- استفاده از خازنهای موازی در طول فیدرها :

این روش یکی ازمعمولترین و کم خرجترین روشهای تنظیم ولتاژ میباشد که بعلت آنکه با بهبود ضریب توان شبکه نیز همراه است مزایای آن دوگانه میباشد و اگر بصورت خازن ثابت استفاده گردد مناسب نیست و تنظیم ولتاژ بخوبی انجام نخواهد شد و بهتراست بصورت خازنهای سوئچ شونده طراحی گردد تا دربارهای مختلف با رله‌های ولتاژی یا زمانی بتوان مقدار خازن را بطور پله‌ای وارد مدار نمود بطوریکه پروفایل ولتاژ در حد مجاز و مناسب باقی بماند.

۴- تنظیم در قسمتهای مختلف شبکه توزیع :

۱-۴- تنظیم روی شین ۲۰ کیلوولت :

تنظیم ولتاژ شین ۲۰ کیلوولت که در محل پست ۶۳/۲۰ کیلوولت انجام میگیرد در حقیقت تنظیمی است که برای تمامی فیدرهای خروجی پست از هر نوع (مسکونی ، صنعتی و روشنائی) انجام میگیرد و در تنظیم ولتاژ شبکه اهمیت اساسی دارد. تنظیم ولتاژ روی شین با روشهای ثپ چنجر اتوماتیک ترانسهای ۶۳/۲۰ کیلوولت ، استفاده ازبانکهای خازنی سوئچ شونده موازی و استفاده از رگولاتورهای ولتاژ نوع پله‌ای بین شین و ترانس استفاده میشود که در بیشتر موارد از هر سه نوع تنظیم استفاده میشود. به خاطر آنکه بعنوان مثال با خازنهای سوئچ شونده میتوآن تنظیم ولتاژ با تغییرات زیاد راانجام داد چون این خازنها ۲ یا ۳ مرحله بیشتر ندارند و در هر فاصله تنظیم ولتاژ با رگولاتور ولتاژ یا تپ چنجر ترانس انجام میگیرد. دامنه تنظیم کل در روی شین درحدود ۱۰ درصد میباشد و معمولا" به ۳۲ پله با ۶۲۵ درصد تغییرات ولتاژ درهرپله محدوده میشود.

تنظیم ولتاژ روی شین همانطور که گفته شد برای کلیه فیدرها انجام میشود و بخصوص در پستهائی که دارای فیدرهای از انواع مختلف باشند نمیتواند کامل باشد و بنابراین تنظیم ولتاژ روی فیدرها نیز لازم میباشد.

۲-۴- تنظیم ولتاژ روی فیدر ۲۰ کیلوولت :

تنظیم ولتاژ درطول فیدر برحسب نوع فیدر ، پروفیل ولتاژ را در حالات بارهای مختلف در محدوده مجاز نگهمیدارد که بعنوان مکمل تنظیم روی شین ۲۰ کیلوولت میباشد روشهای تنظیم که مستلزم تغییرات درخود سیستم نمیباشد عبارتند ازاستفاده از رگولاتورهای ولتاژ پله‌ای و نصب خازنهای موازی در محلهای مناسب. روش و مقدار تنظیم ولتاژ روی فیدرها به فاکتورهائی از قبیل منحنی بار، طول فیدر و مسافت فیدر از اولین بار و نوع پراکندگی بار روی فیدر دارد. رگولاتورهای ولتاژ برای افت ولتاژهای زیاد روی فیدر نمیتوانند بطور موثر عمل نمایند وفقط میتوانند دامنه ولتاژ را در محل نصب برای هر یک از وضعیت های بار نگهداری و تضمین نمایند و قابلیت های خازنهای موازی سوئچ شونده را که قادر به جبران بار راکتیو و تصحیح ضریب قدرت فیدر و همچنین تا حدی قادر به تصحیح عدم تعادل بار میباشند ندارند. بنابراین تنظیم روی فیدر ۲۰ کیلوولت معمولا بطور موثرتر و اقتصادیتر توسط خازنهای موازی سوئچ شونده که در محل مناسب نصب شده‌اند انجام میگیرد.

۳-۴- تنظیم ولتاژ تکمیلی :

تنظیم ولتاژ تکمیلی عبارت است از استفاده از هر نوع وسیله تنظیم ولتاژ که درشبکه توزیع ثانویه یا توسط مشترکین بکار گرفته شود که شامل استفاده از بانکهای خازنی توسط مصرف کننده‌های صنعتی کوچکتر بخصوص برای تصحیح ضریب قدرت میباشد و عمل تنظیم ولتاژ را نیز انجام میدهد. همچنین استفاده از رگولاتورهای پله‌ای الکترومکانیکی و الکترونیکی برای مصرف کننده‌های خانگی که بخصوص برای وسائل حساس نسبت به تغییرات ولتاژ مثل یخچال و تلویزیون مورد استفاده قرار میگیرد. کنترل تکمیلی بخصوص برای شبکه های روستائی با طول زیاد ضروری میباشد و میتواند دستگاههای الکتریکی را در مقابل تغییرات ولتاژ محافظت نماید و دامنه تغییرات را از حد استاندارد هم کمتر نموده و عمر دستگاهها را افزایش دهد.

۵- روش کنترل دستگاههای تنظیم ولتاژ :

تپ چنجرهای اتوماتیک ، رگولاتورهای پله‌ای و خازنهای سوئچ شونده که بطور

اتوماتیک کنترل میشوند بر اساس فیدبک ولتاژ ، جریان ، درجه حرارت میتوانند کنترل شوند یا با داشتن منحنی بار روزانه بصورت زمانی کنترل گردند.

با کنترل زمانی که براساس منحنی بار روزانه انجام میگیرد میتوان خازنها یا رگولاتور را در زمانهای خاصی سوئچ نمود و مقدار آنهارا کم یا زیاد کرد. کنترل ولتاژ معمولترین روش میباشد وتقریبا" در اکثر اوقات روی شین پستها و بخصوص برای تپ چنجرهای اتوماتیک و رگولاتورهای ولتاژ از این نوع کنترل استفاده میشود. برای این کار از رله‌های تنظیم ولتاژ قابل تنظیم استفاده میشود که در دامنه ولتاژ مجاز عمل نمیکنند ، ولی با کاهش ولتاژ از حد مجاز یا افزایش آن از حد تعیین شده کنتاکتهای خاصی را میبندند و در نتیجه باعث عملکرد رگولاتور ولتاژ یا سوئچ شدن بانک خازنی یا تغییر تپ ترانس میگردند. کنترل براساس جریان ، درجه حرارت یا کیلووار نیزمیتواندانجام گیرد که در موارد خاص بکاربرده میشود و بخصوص برای تنظیم ضریب قدرت در خازنهای سوئچ شونده میتوان از کنترل کیلووار استفاده کرد.

نتیجه :

نوسان غیرمجاز ولتاژ بر روی دستگاههای الکتریکی اثرات مخربی برجای میگذارد. به منظور بهره‌برداری اقتصادی از تاسیسات و تجهیزات شبکه‌های توزیع و کاهش و کنترل نوسانات ولتاژ از ترانسفورماتورهای مجهز به سیستم OLTC ، نصب رگولاتورهای ولتاژ در پستهای 63/20KV ، نصب خازنهای موازی بر روی شینه‌های 20KV ، افزایش سطح مقطع هادیها ، ایجاد تعادل بار ، افزایش پستهای توزیع ، کاهش طول فیدرها ، احداث فیدرهای جدید ، افزایش فیدرهای اولیه و نصب رگولاتورهای پله‌ای الکترونیکی خصوصا" در محل مصارف خانگی میتوان استفاده نمود.

منابع :

1- IEEE Recommended Practice For Electric Power Distribution , 1990

2- Pansini, Electrical Distribution Engineering , McGraw Hill , 1988

3- Electrical Utility , Reference Book , Westinghouse Corp , 1965

4- Electrical Transmission and Distribution Reference Book , Westinghouse Electric Corp , 1964

5- Fink and Carroll, Standard Handbook For Electrical Engineers ,