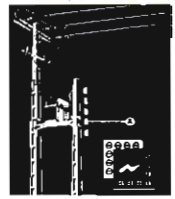


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

نوسانات ولتاژ
در شبکه‌های توزیع و شبیه‌سازی دینامیکی
از راه‌اندازی موتورهای القایی در شبکه

مهرداد عابدی ـ عماد شریفی ـ داود جلالی
مرکز تحقیقات نیرو ـ دانشگاه صنعتی امیرکبیر ـ دانشکده صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

نوسانات ولتاژ در شبکه‌های توزیع می‌تواند آثار سوء و مخربی داشته باشد. از اینرو بررسی رفتار بارهای خاص و اثرات آنها بر روی شبکه و بر روی یکدیگر از اهمیت زیادی برخوردار است.

از عوامل عمده اغتشاش در ولتاژ شبکه‌های توزیع می‌توان به راه‌اندازی بارهایی نظیر موتورهای الکتریکی، کوره‌های الکتریکی و دستگاههای جوش الکتریکی اشاره نمود.

اهداف تهیه این مقاله عبارتنداز:

۱ ـ تشریح پدیده فلیکر ولتاژ، شناسایی بارهای مسبب فلیکر ولتاژ، و چگونگی جبران آن در شبکه‌های توزیع.

۲ ـ شبیه‌سازی دینامیکی از راه‌اندازی موتورهای القایی تک فاز و سه فاز در یک شبکه توزیع در حالت عدم تعادل ولتاژ تغذیه و بدست آوردن پروفیل ولتاژ هر شینه در طی دوره شبیه‌سازی.

شرح مقاله :

مشترکین صنعت برق عموماً انتظار یک منبع ولتاژ با کیفیت بالا را از صاحبان انرژی و تولیدکنندگان برق دارند. اما به علل مختلف ممکن است نوسانات و اغتشاشاتی در ولتاژ تغذیه آنها بوجود آمده و باعث نارضایتی و احیاناً صدمه دیدگی تجهیزاتشان بگردد.

در سالهای اولیه اختراع برق و استفاده از این انرژی برای روشنایی، مردم کم و بیش با پدیده سوسو زدن نور لامپها برخورد می‌کردند ولی توجه چندانی به آن نداشتند. با پیشرفت تکنولوژی و اختراع دستگاهها و تجهیزات مختلف برقی مسئله فوق باعث نارضایتی مشترکین گردید. لذا مسئله بررسی نوسانات ولتاژ و چگونگی جبران آنها و بهبود کیفیت ولتاژ مورد توجه مهندسین قدرت قرارگرفت. در ابتدا فقط کیفیت ولتاژ بارهای بزرگ صنعتی مورد توجه بود ولی به علت آنکه در حد مصرف‌کنندگان خانگی و عمومی بارهایی که به کیفیت ولتاژ منبع تغذیه خود بسیار حساس هستند نظیر کامپیوترها و یا تجهیزات کنترل پروسس و ابزار دقیق، گسترش پیدا کردند، بررسی نوسانات ولتاژ در شبکه‌های توزیع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گشت. یکی از شرایط اساسی برای یک شبکه توزیع، تنظیم ولتاژ در محدوده مجاز است که جهت کارکرد صحیح وسایل الکتریکی بسیار مهم است. در طراحی و آنالیز شبکه توزیع معمولاً به مسئله افت ولتاژ مجاز توجه می‌شود. میزان افت ولتاژ به جریان بار، ضریب قدرت بار و جنس و سطح مقطع هادی‌ها، طول خطوط و امپدانس ترانسهای توزیع و ... بستگی دارد. اساس تنظیم ولتاژ بر مبنای فراهم آوردن یک ولتاژ مجاز برای تمامی مشترکین در شرایط باری مختلف می‌باشد بطوری که بتوان با راه‌حلهای ساده و اقتصادی ولتاژ مصرف‌کننده‌ها را در مواقع کم باری و پیک بار در حد مجاز نگهداشت.

اما بحث فوق در مورد افت ولتاژ در حالت دائمی شبکه است و اشاره‌ای به مسئله افت ولتاژ و اثرات آن در حالتهای گذرای شبکه نکرده است. امروزه برای طراحی شبکه‌های توزیع بخصوص در مناطق صنعتی لازم است به وضعیت شبکه و نوسانات ولتاژ در حالتهای گذرا نیز توجه گردد.

نوسانات ولتاژ در شبکه‌های توزیع در حالتهای گذرا ناشی از دو عامل کلی است.

۱ ـ نوسانات ولتاژ ناشی از راه‌اندازی تجهیزات خاص موجود در کارخانجات، کارگاهها و یا منازل (نظیر موتورها و کوره‌های القایی) که باعث سوسو زدن لامپ (Lamp Flicker) می‌شود.

۲ـ نوسانات ولتاژ ناشی از اشکالات و خطاهای گذرا در شبکه.

در این گزارش به مسئله ایجاد خطاها و اتصالیها پرداخته نشده است. چون اولاً یک حالت غیرعادی از شبکه بوده و ثانیاً وقوع آنها در شبکه بندرت اتفاق می‌افتد. همچنین ورود و خروج یکسری از بارها باعث تغییرات کم و آرام در شبکه می‌شود که می‌توان این تغییرات را در صورت نیاز با تنظیم‌کننده‌های ولتاژ جبران نمود.

هدف اصلی در این مقاله بررسی دسته اول یعنی نوسانات ولتاژ ناشی از راه‌اندازی بارهای اغتشاشی (بخصوص موتوری) به کمک یک برنامه کامپیوتری در شبکه‌های توزیع شعاعی می‌باشد.

۱ ـ تشریح پدیده فلیکر :

در اصطلاح به سوسو زدن نور لامپهای الکتریکی به علت کم و زیاد شدن (نوسان) ولتاژ فلیکر گویند و اغلب اوقات کلمات فلیکر، فلیکر ولتاژ (Voltage flicker)، لامپ فلیکر (Lamp flicker) همگی جهت توصیف یک اثر بکار برده می‌شوند [۱].

در اینجا سئوالی مطرح است: "علت نوسانات ولتاژ در شبکه‌های توزیع چیست؟"

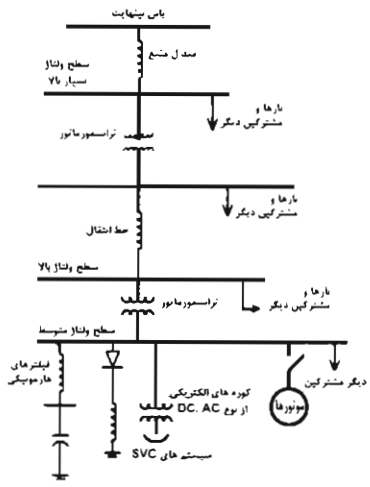
وقتی بارهای مختلف توسط مشترکین برق به مدار وارد یا از آن خارج می‌شوند تغییر ولتاژی در شبکه توزیع خواهیم داشت اما اولاً این تغییرات معمولاً کوچک و بسیار آرام می‌باشند و بنابراین قابل توجه نیستند در ثانی توسط تنظیم‌کننده‌های مناسب (رگولاتورهای ولتاژ) می‌توان این تغییرات را جبران نمود. اما تجهیزات و وسایل برقی نظیر موتورهای بزرگ، دستگاههای جوش و کوره‌ها که به صورت تکی و یا جمعی وارد شبکه می‌شوند باعث ایجاد نوساناتی در ولتاژ می‌شوند چون با ورود آنها به شبکه جریان مصرفی تغییرات سریع می‌کند که این خود سبب ایجاد نوسان در ولتاژ مصرف‌کنندگان مجاور می‌شود. اثر نوسانات ولتاژ را می‌توان در کم و زیاد شدن و سوسو زدن نور لامپهای رشته‌ای ملاحظه کرد و همانطور که در ابتدا گفته شد به این پدیده "فلیکر" گویند. نوسانات ولتاژ را به خاطر اثر مشهودی که روی لامپهای روشنایی دارد "فلیکر ولتاژ" (Voltag flicker) و یا "لامپ فلیکر" (Lamp flicker) هم می‌نامند.

در یک شبکه توزیع، مشترکی می‌تواند باعث ایجاد نوسان ولتاژ شود و مشترک دیگر در نقطه دیگر اثر آن را ببیند. اغلب شکایتها معمولاً از سوسو زدن نور لامپها می‌باشد و با وجود طرحهای جدید در سیستمهای توزیع کم و بیش شکایتهای فوق به گوش مسئولین شبکه می‌رسد.

در هر حال اگر سیستمهای توزیع به نحو مناسبی طراحی نشده باشند امکان وجود داشتن اثرات متقابل بین منابع، بارهای صنعتی و بارهای تجارتی و عمومی شبکه قدرت وجود دارد که منجر به فلیکر ولتاژ می‌شود. البته شرکتهای برق معمولاً محدودیتهایی را برای یک مشترک خاص نظیر یک بار صنعتی بزرگ که اثرات شدیدی روی کیفیت ولتاژ شبکه می‌گذارد در نظر می‌گیرند [۲].

در شکل (۱) دیاگرام تک خطی از یک سیستم قدرت با دو نمونه بار معمول ایجادکننده فلیکر ولتاژ یعنی موتورهای الکتریکی بزرگ و کوره‌های الکتریکی نشان داده شده است. مشترکین شرکت برق به هر شینه از دیاگرام شکل (۱) می‌توانند متصل باشند.

اگر در شینه‌ای که بار موتوری و کوره الکتریکی به آن وصل است فلیکر ولتاژ بیشتر از مقدار مجاز باشد ممکن است تعدادی از مشترکین موجود در شینه‌های مختلف شبکه با درجه‌های مختلف از این پدیده متأثر شوند.



« شکل ۱ : دیاگرام تک خطی یک سیستم نمونه »

نکته‌ای در مورد دیاگرام شکل (۱) قابل ذکر است: هر چه از نظر الکتریکی از بار مسبب فلیکر ولتاژ به سمت منبع اصلی شبکه حرکت شود اثر فلیکر ولتاژ کاهش می‌یابد بطور مثال فلیکر ولتاژ در ولتاژ بسیار بالا (Extra high Voltage) بطور طبیعی از مقدار مجاز بسیار کمتر است [۴]. تأثیر کلی بارهای عامل فلیکر ولتاژ بستگی به فاکتورهایی نظیر دامنه، زاویه فاز و میزان تغییرات جریان مصرفی و چگونگی تغییرات آن به صورت دوره‌های زمانی منظم یا دوره‌های تصادفی و احتمالی دارد.

پدیده فلیکر را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

"دوره‌ای" (Cyclic Flicker) و "غیردوره‌ای" Non Cyclic Flicker).

فلیکر دوره‌ای، نوسانات ولتاژ پریودیکی ناشی از عملکرد یک کمپرسور (Reciprocating Compressor) یا یک کوره الکتریکی است. فلیکر غیردوره‌ای، نوسانات ولتاژ گاه و بیگاه ناشی از راه‌اندازی یک موتور الکتریکی بزرگ یا شروع به کار یک دستگاه جوش است [۳].

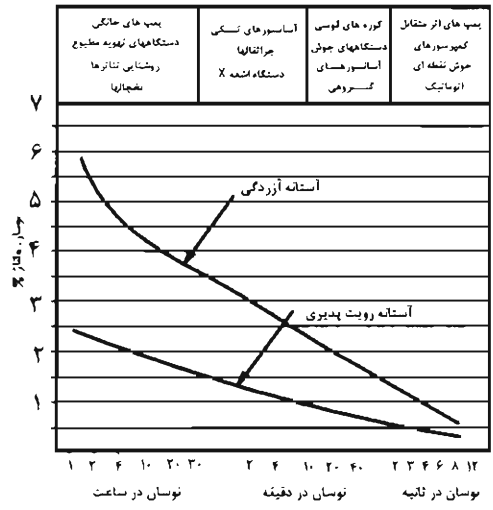
۲ ـ حدود مجاز و شاخص‌های فلیکر :

فلیکر ولتاژ را در شبکه قدرت از تغییر ولتاژ مؤثر و فرکانسی که تغییرات در آن اتفاق می‌افتد محاسبه می‌کنند. در سالهای جاری آزمایشها و روشهای زیاد و جدیدی برای تعیین دامنه و فرکانس فلیکر مشهود بر روی شبکه قدرت انجام شده است [۴].

با انجام یک سری از آزمایشها و سنجش حساسیت نور خروجی لامپها به تغییرات ولتاژ مشخص گردید که حساسیت آنها به نوسان ولتاژ در یک محدوده نسبتاً وسیعی قرار دارد که می توان یک آستانه تشخیص یا مرز رویت‌پذیری (Threshold of visibility) را برای آن بدست آورد. همچنین می‌توان یک مرز بالایی هم جهت حداکثر اثر مجاز فلیکر بدست آورد و آن ماکزیمم تحمل بینایی از لحاظ فیزیولوژی در برابر اثر فلیکر است که به آستانه آزردگی (Threshold of irritation) نیز نامیده می‌شود.

در شکل (۲) مشخصه حساسیت فلیکر ولتاژ نشان داده شده است [۲]. در قسمت بالای منحنی بعضی از بارهای نمونه‌ای که در آن محدوده باعث ایجاد فلیکر می‌گردند نشان داده شده است.

همانگونه که از شکل (۲) مشخص است با افزایش فرکانس و در حد چند نوسان در ثانیه تفاوت کوچکی مابین فلیکر قابل تشخیص (حد پائینی) و فلیکر مضر (حد بالائی) بوجود



« شکل ۲ : مشخصه حساسیت فلیکر ولتاژ »

می‌آید. بنابراین بارهایی که نوسان ولتاژی در این رنج فرکانس دارند (مثل کمپرسورها یا دستگاههای جوش اتوماتیک) ممکن است فلیکر مضری را باعث شوند [۱].

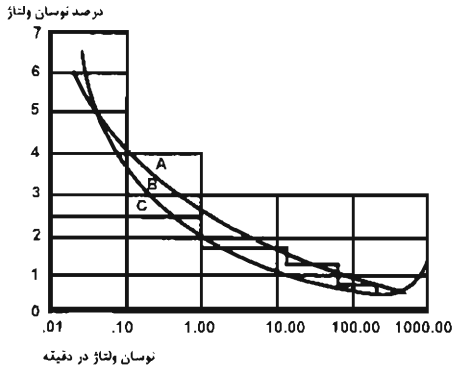
۳ ـ بررسی محدوده‌های فلیکر ولتاژ در شرکتها :

در سال ۱۹۷۹ میلادی طبق آماری که از ۹۶ شرکت مختلف گرفته شده مشخص گردید که تعدادی از آنها به مسئله رعایت محدوده‌های مجاز فلیکر ولتاژ توجه داشته‌اند [۲]. از این بررسی مشخص گردید که سه منحنی مربوط به محدوده‌های فلیکر ولتاژ بطور عام در این شرکتها استفاده می‌شود. منحنی‌های فوق عبارتنداز:

۱ ـ منحنی G.E. (General Electric).
۲ ـ منحنی وستینگهاوس (Westinghouse).
۳ ـ منحنی ادیسون (Consolidated Edison)

سه منحنی فوق را یک جا در شکل (۳)

ملاحظه می‌کنید. منحنی GE ترکیبی از نتایج آزمایشهای انجام شده بوسیله شرکتهای GE و چند مؤسسه دیگر در سال ۱۹۳۰ است. منحنی (Con Ed) که بوسیله مؤسسه Con.Ed تهیه شده است بسیار محدودتر از منحنی GE استفاده می‌شود. منحنی وستینگهاوس حاصل یک بررسی در سال ۱۹۵۹ میلادی از ۹۸ شرکت بوده است [۳] و از لحاظ استفاده



« شکل ۳ »

مؤسسات و شرکتها مابین دو منحنی دیگر است. در هر صورت در طراحی شبکه‌های قدرت باید مسئله فلیکر را با توجه به محدودیتهای آن مورد توجه قرار داد البته طراحی براساس حد مینیمم تشخیص فلیکر ممکن است غیراقتصادی باشد. لذا جهت تعیین مقدار مناسب برای فلیکر ولتاژ باید به مسائل اقتصادی نیز توجه کرد [۲].

۴ ـ عوامل ایجادکننده فلیکر ولتاژ :

هر پدیده‌ای که باعث تغییرات مقدار مؤثر (rms) ولتاژ منبع تغذیه شود به عنوان عامل ایجادکننده فلیکر شناخته می‌شود. سوئیچ کردن بارهای مختلف می‌تواند باعث بوجود آمدن پدیده فوق گردد زیرا عموماً جریان هجومی در لحظه راه‌اندازی (سوئیچ کردن) از جریان حالت دائمی بیشتر می‌باشد.

راه‌اندازی موتورها یکی از منابع معمول و اصلی ایجاد فلیکر در شبکه‌های توزیع می‌باشد. ترکیب جریان هجومی بالا و ضریب قدرت پایین در طی زمان راه‌اندازی می‌تواند باعث ایجاد فلیکر ولتاژ شود.

این دسته‌بندی کلی از موتورها شامل انواع فنها، پمپ‌ها، کمپرسورها، دستگاههای تهویه مطبوع، یخچالها، آسانسورها و غیره می‌باشد.

همچنین بارهایی که به صورت متناوب کار می‌کنند مانند دستگاههای جوش قوسی یا نقطه‌ای، کوره‌های قوسی یا القایی باعث تغییرات ناگهان در ولتاژ تغذیه شده و در نتیجه باعث ایجاد فلیکر می‌گردند. از منابع دیگر ایجادکننده فلیکر می‌توان از سوئیچ کردن خازنهای تصحیح ضریب قدرت در شبکه توزیع نام برد [۲].

۵ ـ روشهای جبران و تصحیح فلیکر :

قبل از اینکه به روشهای جبران و تصحیح پدیده فلیکر پرداخته شود لازم است به چند نکته در مورد وضعیت سیستم و بارهای عامل فلیکر اشاره گردد [۲].

الف ـ بارهای متصل به سیستمهای ضعیف (Weak System) در مقایسه با همان بارها که به سیستم بهم پیوسته (Stiff System) وصل شده است فلیکر قابل توجه‌تری را ایجاد می‌کنند.

ب ـ مقدار فلیکر در نزدیکی منابع ایجادکننده آنها بیشترین مقدار می‌باشد. مشترکینی که از همان ترانس که منبع فلیکر به آن وصل شده تغذیه کنند اثر پذیری بیشتری از سایر مشترکینی دارند. که از ترانسهای مجزائی استفاده می‌کنند.

ج ـ دامنه تغییرات ولتاژ ایجاد شده در اولیه بطور قابل توجهی کمتر از آنچه در ثانویه مشاهده می‌شود می‌باشد.

اکنون روشهای ممکن برای کاهش فلیکر غیر قابل قبول به مقدار مجاز بررسی می‌شود. لازم به ذکر است که برای هر نوع بار عامل فلیکر، می‌توان یکی از روشهای ارائه شده را با توجه به کیفیت عملکرد و جنبه اقتصادی آن روش استفاده نمود.

۱ ـ ۵ ـ راه‌اندازهای موتوری / وسایل قابل تنظیم سرعت :

راه‌اندازی موتورها مهم‌ترین عامل ایجاد فلیکر ولتاژ در شبکه‌های توزیع است. جریان راه‌اندازی اغلب موتورها چندین برابر جریان بار کامل موتور است تا کویل راه‌اندازی کافی جهت راه انداختن موتور ایجاد شود. توان بزرگ راه‌اندازی و ضریب قدرت پایین باعث اختلال شدید در ولتاژ شین متصل به موتور می‌شود. یک راه‌انداز موتور (Motor starter) با کم کردن ولتاژ متصل به موتور در لحظه راه‌اندازی توان اولیه را کاهش داده و در نتیجه اختلال ولتاژ کم خواهد شد.

از راه‌اندازهای اولیه موتور می‌توان به راه‌اندازهای ستاره ـ مثلث اشاره کرد. پیشرفت عناصر نیمه هادی قدرت و استفاده از راه‌اندازهای موتورها باعث شد که راه‌اندازهای ستاره ـ مثلث در مرحله پایین‌تری نسبت به آنها قرار گیرند.

از این قبیل راه‌اندازها می‌توان به محرک تنظیم کننده سرعت (Adjustable Speed Drive) یا (ASD) اشاره کرد. ASD با محدود کردن جریان راه‌اندازی موتور، اختلال ولتاژ را در دوره راه‌اندازی کم می‌کند. مثلاً برای موتورهای القایی این عمل با تبدیل منبع AC به DC با یک یکسوکننده و سپس تبدیل DC به AC با یک ولتاژ و فرکانس قابل تنظیم بوسیله یک مبدل (Inverter) عملی می‌باشد. البته کاربرد ASD باعث ایجاد هارمونیکهایی می‌شود که سبب افزایش حرارت سیم‌پیچ‌های موتور می‌گردد. به این دلیل و سایر دلایل، برای کاربردهای خاص، یک ASD

باید دقیقاً با موتور تطبیق داده شود [۵].

۲ ـ ۵ ـ خازنهای موازی :

اتصال دائم خازنهای موازی باعث کم شدن اثر پدیده فلیکر نمی‌شود حتی ممکن است وضعیت را کمی بدتر هم بکند اما خازنهای موازی که با بار سوئیچ می‌شوند می‌توانند باعث کاهش افت ولتاژ شوند. اما اولاً سوئیچ کردن مکانیکی خازنها در مواقعی که قطع و وصلهای مداوم در زمانهای کوچک لازم باشد مناسب نیست ثانیاً قطع و وصل آنها خود باعث اضافه ولتاژ و اختلالات ولتاژ می‌شود [۵].

۳ ـ ۵ ـ خازنهای سری :

استفاده از خازن سری در مدار تغذیه یک بار عامل ایجاد فلیکر، باعث کاهش فلیکر ولتاژ می‌شود. خازن سری باعث حذف قسمتی از راکتانس سلفی مسیر تغذیه می‌شود در نتیجه امپدانس سری مدار تغذیه کاهش می‌یابد و افت ولتاژ در مسیر تغذیه کم می‌گردد.

اندازه ظرفیت بانکهای خازنی باید به نحوی انتخاب شود که مقدار فلیکر در محدوده قابل قبول قرار گیرد. همچنین باید به مسئله تشدید در مدار توجه شود البته در اغلب مواقع استفاده از خازن سری برای بارهای عامل فلیکر که قدرتشان نسبت به کل بار فیدر کوچک است موفقیت‌آمیز می‌باشد.

همچنین در صورتی که مقدار جبران‌کننده سری در مقایسه با راکتانس خط کوچک باشد (کمتر از ۵۰٪ امپدانس شبکه) وقوع هرگونه اتفاقی غیر محتمل می‌باشد.

خازنهای سری را با ظرفیت هر واحد و ولتاژ کار آن انتخاب می‌کنند [۶].

۴ ـ ۵ ـ کاندنسرهای سنکرون *(Synchronous Condensers)* :

کاندنسرهای سنکرون با کاهش امپدانس دیده شده در سر بار می‌توانند باعث کاهش فلیکر ولتاژ بشوند. مقدار تصحیح بستگی به اندازه راکتانس‌های زیرگذرا و گذرای کاندنسر سنکرون دارد.

از لحاظ عملی استفاده از کاندنسرهای سنکرون برای تصحیح فلیکر ناشی از بارهای کوچک شبکه‌های توزیع اقتصادی نمی‌باشد [۵].

۵ ـ ۵ ـ تغییر دادن سیستم *(System changes)* :

با تغییر دادن شکل سیستم می‌توان بارهایی را که عامل ایجاد نوسان ولتاژ هستند از دیگر

مشترکان جدا نمود. بعضی از روشهای تغییر سیستم عبارتنداز: ساختن خطوط جدید، اضافه کردن ترانسفورماتور، تغییر دادن ولتاژ خط تغذیه، جابجایی بارها، افزایش سطح مقطع فیدر و... این روشها بطور مؤثری نوسان ولتاژ را کاهش می‌دهند اما روشهای نسبتاً گرانی هستند و اغلب از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشند [۵].

۶ـ۵ـ جبران‌کننده‌های توان راکتیو استاتیکی *(SVC: Static var Compensation)*

یک SVC مطابق با اصطلاح فنی بکار رفته در CIGRE یک تولیدکننده توان راکتیو موازی است که خروجی آن به نحوی تغییر می‌کند تا پارامتر مشخصی را در سیستم قدرت ثابت نگه دارد [۵].

در جبران‌کننده‌های عملی، تولید و کنترل توان راکتیو خروجی یک SVC انحصاراً بوسیله کلیدهای تریستوری متصل به بانک‌های خازنی یا سلفی انجام می‌شود.

زمان پاسخ SVC حدوداً ۲ تا ۳ سیکل است در نتیجه آنها را برای کاربردهای کنترل سریع و مداوم توان راکتیو مناسب می‌سازد.[۵]

روشهای اشاره شده در قبل نظیر خازنهای موازی و یا سری در کنترل نوسانات ولتاژ سریع و متناوب جوابگو نمی‌باشند و برای جبران اینگونه نوسانات نیاز به جبران کننده‌ای سریع مانند SVC می‌باشد. تا چندی قبل عموماً SVC در سیستم‌های انتقال قدرت و برای بارهای بزرگ صنعتی استفاده می‌گردید و در شبکه‌های توزیع و برای بارهای با قدرت پایین به دلیل مسائل اقتصادی و ابعاد بزرگ آنها استفاده نمی‌گردید.

در شبکه‌های انتقال از SVC بعلت داشتن پاسخ سریع، قابلیت اطمینان بالا، قیمت عملیاتی پایین و انعطاف پذیری بالا جهت کنترل توان راکتیو برای بهبود رگولاسیون ولتاژ و پایداری دینامیکی، کاهش نامتقارنی ولتاژ یا جریان و کاهش فلیکر استفاده می‌گردد و قدرت آنها در حدود ۱۵MVAR می‌باشد.

با ملاحظه پاسخ سریع SVC در شبکه‌های قدرت به نظر رسید که بتوان از آنها برای حل مسئله نوسانات ولتاژ در شبکه‌های توزیع استفاده نمود اما ملاحظات اقتصادی از بکار بردن آنها در شبکه‌های توزیع که عموماً شامل تجهیزات با قدرتهای پایین و اندازه‌های فیزیکی کوچک است جلوگیری می‌کرد اما اخیراً SVCهایی با قدرت MVAR ۱ تا ۷/۲MVAR و با اندازه‌های فیزیکی کوچک و فشرده (Compact) در اختیار مشترکان جهت استفاده در شبکه‌های توزیع قرار گرفته است. [۵]

یک SVC فشرده با توجه به کاربرد آن می‌تواند TSC یا TSR باشد. اما برای کاربرد شبکه‌های

توزیع در جایی که از SVC به منظور تأمین توان راکتیو استفاده می‌شود، احتیاجی به جذب توان راکتیو نیست و باید توان راکتیو تولید نمود لذا در بیشتر حالتها نوع TSC که امکان کنترل پله‌ای از توان راکتیو را در اختیار مشترکین قرار می‌دهد و هارمونیکی تولید نمی‌کند برای استفاده در شبکه‌های توزیع کفایت می‌کند.[۵]

با توجه به نوع کاربرد، SVC فشرده می‌تواند بصورت تک فاز یا سه فاز برای کنترل توان راکتیو استفاده شود. در بیشتر کاربردها کنترل بر روی سه فاز انجام می‌شود اما در صنعت برای بارهای تک فاز نظیر دستگاههای جوش کنترل تک فاز استفاده می‌گردد. در این حالت برای هر فاز یک کنترلر جداگانه‌ای احتیاج است. یک SVC فشرده می‌تواند به ولتاژ، جریان یاضریب قدرت بعنوان متغیر کنترل پاسخ بدهد. به منظور حداقل کردن حالت گذرای ناشی از وصل واحدهای TSC، خازنها در مواقعی سوئیچ می‌شوند که ولتاژ AC لحظه‌ای مساوی با ولتاژ DC خازن باشد.[۵]

۶ ـ شبیه‌سازی دینامیکی راه‌اندازی گروهی از موتورهای القایی در یک فیدر فشار متوسط :

بخش عمده‌ای از موتورهای الکتریکی مورد استفاده توسط مشترکین در صنعت، مصارف عمومی و تجاری موتورهای القایی در انواع مختلف (سه فاز و تک فاز) آن می‌باشد. مزایای این دسته از موتورها نسبت به سایر دسته‌ها عبارتنداز: داشتن ساختمانی ساده و محکم، هزینه ساخت و بهره‌برداری کم، قابلیت اعتماد و ضریب بهره بالا.

استفاده از موتورهای القایی سه فاز و تک فاز به مقیاس وسیع می‌تواند بار سنگینی را بر شبکه‌های فوق توزیع و به توزیع به ویژه در لحظات راه‌اندازی وارد آورد اهم مسائلی که به خاطر راه‌اندازی موتورهای القایی پدید می‌آید به قرار زیر است.

۱ ـ سقوط ولتاژ در شبکه توزیع یا پیدایش پدیده فلیکر.

۲ ـ برقراری جریان هجومی شدید در شبکه توزیع.

۳ ـ پایین آمدن ضریب توان پس فاز در گره‌های مختلف شبکه توزیع.

از طرفی شبکه‌های توزیع نیز بر رفتار ماناو گذرای موتورهای القایی اثر می‌گذارند. به عنوان مثال می‌توان گفت که امپدانس تغذیه‌کننده‌ها ولو آنکه متعادل نیز باشند در هنگام راه‌اندازی افت ولتاژی قابل توجه در پایانه موتورها پدید آورده و کوپل راه‌اندازی و زمان راه‌اندازی را افزایش می‌دهند. در نهایت این امر موجب بزرگتر شدن لغزش در شرایط کار عادی موتور شده که کم شدن بازده موتور را به دنبال خواهد داشت. با توجه به نکات فوق در طراحی شبکه‌های توزیع مسئله راه‌اندازی موتورها جهت ارزیابی پروفیل ولتاژ در طول تغذیه‌کننده توزیع یا به عبارت دیگر بررسی

مسئله فلیکر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

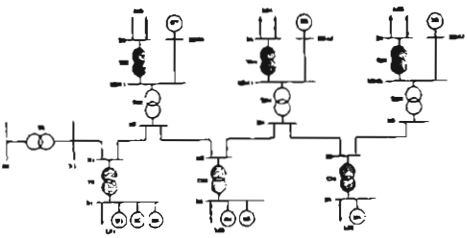
شبکه‌های توزیع به خاطر مسائل زیر عمدتاً در شرایط نامتقارن مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

۱ ـ نامتعادل بودن بارهای استاتیکی.

۲ ـ نابرابر بودن موتورهای تک فاز موجود در هر فاز.

۳ ـ خطوط فشار متوسط جا به جا نشده (Untransposed).

به کمک برنامه کامپیوتری که در مرکز تحقیقات نیرو توسط مؤلفین این مقاله تهیه شده است می‌توان پروفیل ولتاژ شینه‌های مختلف یک فیدر شبکه توزیع شعاعی نامتقارن را در طول زمان راه‌اندازی یک یا گروهی از موتورهای القایی تک فاز یا سه فاز که با ولتاژ تغذیه نامتعادل و به صورت متناوب راه‌اندازی می‌شوند بدست آورد و مورد تجزیه و تحلیل قرارداد. شبکه مورد مطالعه در این مقاله به صورت شکل (۴) می‌باشد.



M1 موتور تک فاز القائی فاز جداگانه.

M2 موتور تک فاز القائی با خازن راه‌انداز.

M3 موتور تک فاز القائی دو خازنه.

M4 موتور تک فاز القائی با خازن دائم.

M5 M6 موتور سه فاز القائی معمولی.

M7 M9 موتور سه فاز القائی قفسه‌ای با شیار عمق.

M8 موتور سه فاز القائی دو قفسه‌ای.

« شکل ۴ »

مشخصات کلی موتورهای موجود در شبکه فوق به صورت جدول (۱) می‌باشد.

نام موتور	قدرت	تعداد موتور	زمان راه‌اندازی (S)
m1	۰/۵۵ kw	۲۰	۰/۴
m2	۰/۵۵ kw	۲۰	۰/۷
m3	۰/۵۵ kw	۲۰	۱/۰
m4	۵۰ hp	۳	۰/۱
m5	۰/۵۵ kw	۱۰	۰/۲
m6	۵۰ hp	۳	۰/۵
m7	۲۵۳۰ kva	۱	۰/۰
m8	۲۰۰ kva	۱	۰/۳
m9	۲۵۳۰ kva	۱	۰/۶

در جدول (۱) منظور از موتورهای القایی سه فاز معمولی، موتورهای روتور سیم‌پیچی شده و یا

موتورهایی که مقاومت روتور آنها ثابت است می‌باشد. اما در موتورهای القایی با روتور قفسه‌ای دوبل یا قفسه‌ای با شیار عمیق، مقاومت روتور با تغییر فرکانس جریان در آن به شدت تغییر می‌کند. نتایج حاصل از اجرای برنامه در شبکه فوق به صورت شکلهای (۵) و (۶) می‌باشد.

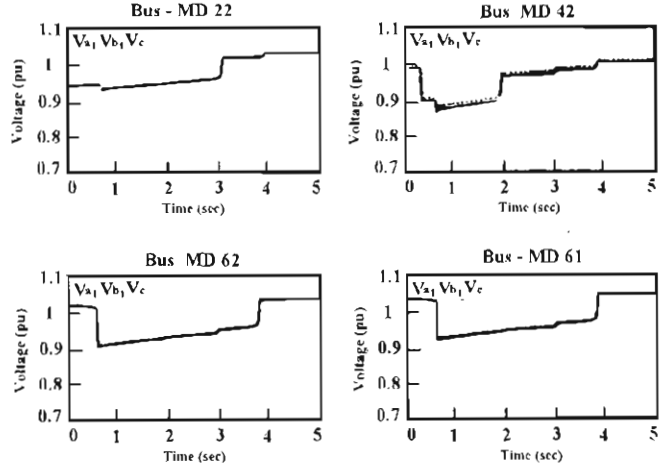
در شکل (۵) ولتاژ شینه‌های (MD22 و MD42 و MD62) و شینه ثانویه ترانس TM6(MD61) آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در لحظه راه‌اندازی موتورها ولتاژ شینه‌های مربوطه به شدت کاهش یافته و پس از چند ثانیه به مقدار حالت دائمی خود می‌رسد.

همچنین در شکل (۶) ولتاژ شینه‌های (D3، D5، M5 و D6) آمده است.

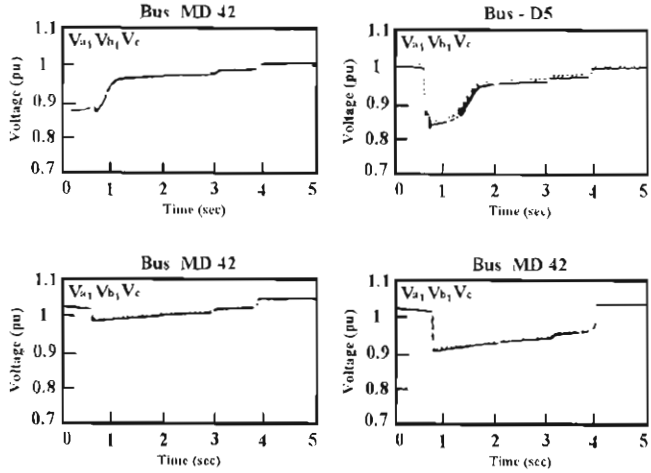
همانطور که مشخص است اثر راه‌اندازی موتورهای سه فاز m7، m8 و m9 بر روی شینه‌های D3 و D5 و همچنین در اولیه ترانس TD5 (m5) زیاد نمی‌باشد. که دلیل آن مجزا بودن ترانس تغذیه بارهای استاتیکی شینه‌های D1، D3 و D5 از ترانس تغذیه شینه‌های موتورهای فوق می‌باشد.

اما اثر راه‌اندازی مثلاً موتور m9 بر روی شینه (D6) بسیار محسوس است که دلیل آن تغذیه مشترک موتور (m6) و بارهای متصل به شینه (D6) از طریق یک ترانسفورماتور (۲۰/۰/۴KV)می‌باشد. این موضوع باعث می‌شود که بارهای استاتیکی موجود در شینه (D6) تغییرات ولتاژ شدیدی را متحمل شوند که ممکن است سبب اختلال در کار آنها گردد.

دوره راه‌اندازی موتور (m8) در حالتی که فقط این موتور در شبکه باشد، ۱/۵ ثانیه می‌باشد. در حالی که در شرایط موجود، زمان فوق به ۱/۸ ثانیه افزایش یافته است. البته نامتعادل بودن ولتاژ تغذیه موتورهای سه فاز در افزایش زمان راه‌اندازی آنها نیز تأثیر زیادی دارد.



« شکل ۵ »



« شکل ۶ »

نتیجه :

در این مقاله به تشریح پدیده فلیکر ولتاژ، شناسایی بارهای مسبب فلیکر ولتاژ، و چگونگی جبران آن در شبکه‌های توزیع پرداخته شده و همچنین با استفاده از برنامه کامپیوتری FLS که به منظور مطالعه این پدیده، در مرکز تحقیقات نیرو تهیه گردیده، برای شبکه نمونه‌ای شبیه‌سازی صورت گرفته و نتایج آن در اینجا ارائه گردیده است. با توجه به نتایج بدست آمده از این شبیه‌سازی، می‌توان در مورد آن دسته از شینه‌هایی که فلیکر ولتاژی بیشتر از حد مجاز دارند، تدابیر لازم از قبیل استفاده از خازنهای موازی، کاندنسرهای سنکرون، جبران‌کننده‌های توان راکتیو استاتیکی (SVC)، تغییر دادن سیستم نظیر جابجایی بارها و یا بازسازی تغذیه‌کننده‌های قدیمی و نصب تغذیه‌کننده‌های جدید اتخاذ نمود. نرم‌افزار FLS می‌تواند برای مهندسین طراح و بهره‌بردار در شرکتهای برق منطقه‌ای و توزیع که با مسئله فلیکر ولتاژ در اثر راه‌اندازی بارهای صنعتی و موتوری روبرو هستند مفید و مثمرثمر واقع شود.

مراجع :

1. R.C. Seebald and J.F. Buch, "Flicker Limitation of Electric Utilities," IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, PP. 2627-2631, Sept. 1985.
2. Electric Utility Engineering Reference Book. Distribution Systems, Westinghouse Electric Corp., East pittsburgh, PA, 1965.
3. M.T.Bishop, A.V.Do, and S.R.Mendis, "Voltage Flicker Measurment and

Analysis System," IEEE Computer Applications in Power, vol7, No.2, April 1994.
4. W.K.Wong, D.L Osbom, and J.L. Mc Avoy, "Application of Compact Static Var Compensations to Distribution Systems", IEEE Transactions of Power Delivery, Vol.5, No.2, April 1990, PP. 1113-1120.
5. "Distribution Planner.s Manual" Canadian Electrical Association Sept. 1982.
6. R.J. Koessler, "Dynamic Simulation of Static Var Compensations in Distribuition Systeme," IEEE Transaciton on Power Systems, Vol.7, No.3, August 1992, PP 1285-1291.
7. D.Jalali and E.Sharifi and M.Abedi, "Voltage Profil in Radial Distribution Feeder Due to 31 Induction Motor Starting" 9Th Intemational, PSC, St, Petersburg, July 94.
8. E.Sharifi and M.Abedi and D.Jalali, "The Effect Of Medium Voltage Class Double Cage Induction Motors Starting On Voltage Profile Of industrial Radial Feeders "3Th Iranian Conference On Electrical Engineering, ICEE-95.