ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق

بهره برداری و تعمیرات شبکه های توزیع

بررسی اثرات منابع ایجادهارمونیک هاروی توان مصرفی بار

دکترسیدحسین حسینی
دانشگاه تبریز

غلامحسین مهدی پور
نیروگاه حرارتی تبریز

میرحمید سیدعباسزاده
مجتمع آموزشی وپژوهشی آذربایجان

چکیده :

این مقاله مقادیر دوفاکتوراصلی هارمونیک‌هایعنی درجه هارمونیک وزاویه فاز آنرا دراثر متقابل بارهای هارمونیکی روی همدیگر بررسی میکند.بدین منظوربرنامه پخش بار هارمونیک‌ها براساس روش ماتریس ادمیتانس بکارگرفته میشود.درنتیجه تغییرات توان اکتیو مصرفی درچندنوع بارنسبت به درجه هارمونیک محاسبه میگردد.درخاتمه به منظوربه حداقل رسانیدن اثرات هارمونیکی بارهاروی همدیگر پیشنهادات مختلف عملی ارائه میگردد.

مقدمه :

هارمونیک‌هادراثرایجاداعوجاج درشکل موج سینوسی ولتاژتغذیه‌ایجادمی‌شود.تمامی بارهای مولد هارمونیک مولفه اصلی جریان راازشبکه گرفته وهارمونیک‌هایی رابه شبکه تزریق می‌کنند. سپس این هارمونیکهادرکل شبکه‌پخش می‌شوندهارمونیک‌های‌ناشی‌ازبارهای غیرخطی هارمونیک‌های دائمی هستند ولی منابعی نیزمانندکلیدزنی اتصال کوتاه وجریان هجومی درترانسفورماتورها (Inrush Currents) وجود دارند که موجب بوجودآمدن جریانهاو هارمونیک‌های گذرادرشبکه می‌گردند.این هارمونیک‌ها مدت زمان کوتاهی درشبکه ظاهر شده و توسط مقاومت شبکه میرامی شوندبطورکلی سه دسته ازعناصر غیرخطی وجود دارند که منابع اصلی ایجاد هارمونیک‌هادر سیستم‌های توزیع بشمارمی روند:

۱)مبدلهای قدرت الکترونیکی مانندمبدلهای DC/AC ,AC/DC منابع تغذیه غیرقابل قطع UPS مبدلهای (AC/AC) ودرایوهای باسرعت متغیر (VFD) کوره‌های القائی نیروگاههای بادی و خورشیدی جبرانکننده‌های استاتیکی وار (SVC) تسمه‌های نقاله و.....

۲) تجهیزات تخلیه‌ای مانندکوره‌های ذوب فلزات باقوس الکتریکی لامپ‌های فلوئورسنت جیوه‌ای تلویزیون ماشین های جوشکاری و...

۳) وسایل فرومغناطیس :ترانسفورماتور،راکتورهای فوق اشباع ،شکل توزیع MMF در ژنراتورها و موتورها.

ازمیان مواردفوق مبدلهای قدرت الکترونیکی بدلیل کاربردروزافزون آنهادارای اهمیت زیادی هستند. همچنین کوره‌های القائی بدلیل جریان زیادوتمرکز دریک نقطه وهمچنین تغییردامنه هارمونیک‌های تولیدی درحین عمل ذوب ،مشکلات زیادی برای سیستم های توزیع ایجادمی کنند.تجهیزات تخلیه‌ای نیز باعث ایجادعدم تقارن درنیم سیکلهای مثبت ومنفی درحین عمل تخلیه شده،ولذاباعث ایجاد هارمونیک‌های زوج می شوندهارمونیک هااثرات متفاوتی روی تجهیزات مختلف دارنددرمورداکثربارهای شبکه‌های توزیع که اهمی - سلفی می باشند،بافرض ثابت ماندن دامنه هارمونیک اصلی ولتاژ،افزایش پریونیت توان برای این گروه‌ازبارهابه‌مربع فاکتوراغتشاش (HF)بستگی دارد،ازطرفی افزایش (HF)عمر لامپ‌ها راکاهش می دهد. در مورد ترانسفورماتور،افزایش تلفات هسته وسیم پیچی هاوطوقه ترانس و درنتیجه ایجادگرمای اضافی

است. همچنین خازنهاکه به مقدارزیادی به منظورخنثی نمودن اثرجذب‌قدرت‌راکتیوتوسط بارهای سلفی -اهمی بکارمی‌رونددراثروجود هارمونیک‌ها تلفات دی الکتریک بالایی راسبب می‌شوند. هارمونیک‌ها همچنین قابلیت قطع جریان دژنکتورها راتحت تأثیرقرارداده باعث خطای دستگاههای اندازه‌گیری مانندکنتوراندکسیونی می‌شوند.

برای کنترل هارمونیک هادونوع استانداردبکارگرفته می شونداستانداردداولی مربوط به دوکمیته اروپایی IEC-CENELEC دیگری مربوط به IEEE بوده که درآمریکابکارمی رود.برای کاهش اثرات هارمونیک‌های تولیدی درشبکه های توزیع ازفیلترهااستفاده می شود.یک فیلترپسیو،یک سلف بهمراه خازن سری است که مسیری باامپدانس کم درسرراه هارمونیک موردنظر ایجادمی‌کنند. ولی فیلترهای پسیو دریک فرکانسی پائین‌تراز فرکانس تشدیدسری به وضعیت تشدید موازی باجزء سلفی باردرآمده باعث افزایش ولتاژو ایجاد مشکلات جدی می‌شوند. لذا مؤثرترین راه ،استفاده ازفیلترهای اکتیواست .یک فیلتربسته به وضعیت جریان شبکه ،جریان خود را طوری تغییرمی دهدکه شکل موج جریان شبکه به شکل موج سینوسی نزدیکتر شود. طراحان سیستم‌های قدرت همواره براین تلاشندکه میزان (THD) شبکه رابه حداقل برسانند. موارد مذکوردرقسمتهای بالا،درمقالات متعددی موردبحث قرارگرفته است ولی دراین مقاله یک مقایسه کمی درموردتاثربارهای مولدهارمونیک روی سایربارهاانجام می شود.برای محاسبه مقادیر ولتاژ باس هاازروی پخش بارهارمونیکی وبااستفاده ازماتریس ادمیتانس باس استفاده شده‌است که درنهایت معادلات باس‌ها و شبکه بروش حذفی گاوس حل می شود.جریان های هارمونیکی ابتدااندازه گیری می‌شود سپس مشابه باآنهامنابع جریان‌های هارمونیکی ،به شبکه تزریق می‌گردد.بالاخره‌نتیجه محاسبات درجدول ۱ و۲ آورده شده است .

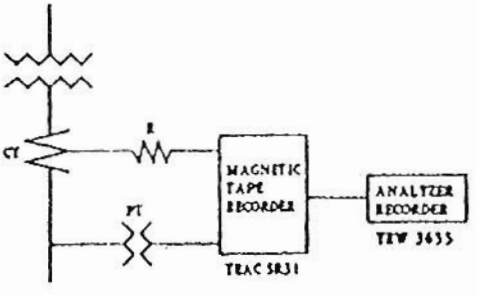
مدل سازی شبکه وترکیب بار:

درمدلسازی شبکه ،بارهای خطی به عنوان امپدانس های مرکب ازمقاومت وراکتانس موازی یاسری نمایش داده‌می‌شوند.درصورتیکه بارهای غیرخطی بعنوان منابع تولید هارمونیک جریان شناخته می‌شوند. بمنظورتعیین مقادیرمنابع تولیدهارمونیک‌های جریان و درسیستم موردبحث از سیستم اندازه‌گیری هارمونیک استفاده می شود. دوروش برای اندازه‌گیری ومحاسبه هارمونیک‌ها وجود دارد:

روش اول : استفاده از (Spectrum Analyzer) برای محاسبه هارمونیک‌هاست که دراین روش زاویه فاز درنظر گرفته نمی‌شود.

روش دوم : استفاده ازنمونه‌گیری وذخیره‌سازی (Sample & Store) موج دارای هارمونیک است .

درهردوروش بایداز P.T,C.T های مناسب استفاده کرد.سیستم اندازه‌گیری موردنظر در شکل ۲ نشان داده شده است .این سیستم بصورتی تنظیم شده است که شکل موجهای جریان را ضبط ومؤلفه‌های هارمونیک جریان را تجزیه وتحلیل می‌نماید. سیستم موردبحث یک سیستم ضبط نواری باهفت کانال برای ضبط ولتاژهاوجریان های سه فازه می‌باشد. سیستم آنالیزر قادربه انجام تبدیلات فوریه ،بطورسریع وآنالیز مؤلفه‌های هارمونیک‌ها می‌باشد.



شکل - ۱ سیستم اندازه‌گیری هارمونیک

باتوجه به اینکه روش بکاربرده شده روش پخش بارهای هارمونیکی بااستفاده ازماتریس ادمیتانس باس می باشد.لذاباید‌ماتریس $Y_{bus}(\omega)$ درفرکانس موردنظرشبکه تشکیل شود.بردارجریان باس و ماتریس ولتاژباس مطابق رابطه - ۱ بهم دیگرمرتبط می شوند.

$$I_{bus}(\omega)=[Y_{bus}(\omega)][V_{bus}(\omega)]$$

برای تشکیل ماتریس $[Y_{bus}(\omega)]$ لازم است مفهوم ترکیب بارمشخص شود.لذاکل شبکه قدرت همچنین هرباس‌بصورت‌ترکیب المانهای پسیوبامنابع تولید هارمونیک جریان مدلسازی

می‌شود.شبکه قدرت بصورت یک‌شبکه‌سه‌فازه‌متعادل بایک‌ترتیب‌مثبت‌فرض می‌شود.سپس در برنامه پخش بار هارمونیکی برای تمام مولفه‌های شبکه قدرت ،مدل های متناظربا آنها درنظر گـرفته مـی شودچون طول کابلهای بکاررفته دریک سیستم‌توزیع درمقایسه‌باخطوط انتقال از نـقطه‌نظر آنـالیز شبکه‌های بزرگ قـدرت ،کـوتاهتر مـی‌باشد آنـها بـصورت امـپدانس سـری R-L نشـان داده مـی شودترانسفورماتورهابعلت اینکه غالبا" در ولتـاژی پـایین‌تراز ولتـاژاسـمی خـودموردبهره‌برداری قرارمی‌گیرندبصورت ترکیب مقاومت وراکتانس فرض می شوند.

خازنها وسلف هاالمانهایی هستندکه ظرفیت خـازنی وسـلفی ثـابتی داشـته وسـوسپتانس و امپدانس آنها در هر مرتبه ازتغییرفرکانس هارمونیک تغییرمی یابد.اگر ولتاژباس موردنظر V(t) وجریان عبوری ازآن باس I(t) فرض شود این مقادیربرحسب هارمونیک هامی‌تواندبصورت زیربیان شود:

$$v(t) = \sqrt{2}\sum_{n=1}^{N} v_n \cos(n\omega t + \alpha_n)$$

$$i_T(t) = \sqrt{2}\sum_{n=1}^{N+M} I_n \cos(n\omega t + \beta_n)$$

که درآن :

N:تعدادهارمونیکهای مشترک بین ولتاژوجریان

M:مجموعه هارمونیک های غیرمشترک بین ولتاژوجریان

v(t)i(t) :مقادیرولتاژجریان مؤثرهارمونیک nامولتاژ وجریان

α_n,β_n :زاویه فازهارمونیک nام ولتاژوجریان

همچنین داریم :

$$P=\frac{1}{T}V(t)I(t)dt$$

$$[S]= V\ I$$

v(t), i(t):ولتاژ منبع وجریان باردرهارمونیک های مشترک

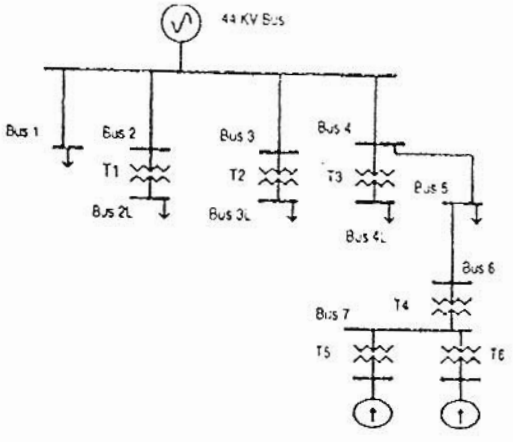
V :مقدارمؤثرولتاژ منبع

I :مقدارمؤثرجریان منبع

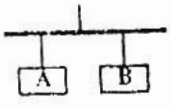
S :توان ظاهری

نحوه کاربرنامه ونتایج حاصله :

دراین قسمت مفهوم اثرات تغییرزاویه فازودرجه هارمونیک موردبررسی قرارمیگیرد. تمامی پارامترهای سیستم براساس مطالب مذکور درقسمت‌های فوق بصورت ترکیب المانهای پسیو ومنابع تولید جریان مدلسازی می‌شود. برای بررسی اثرات منابع مولدهارمونیکی روی همدیگر دومنبع مولد هارمونیک A,B درشکل -۳ نشان داده‌شده‌است. درشکل -۲ نیز سیستم توزیع ۴۴ KV مورد بحث دیده میشود:



شکل-۲ : دیاگرام تک خطی سیستم ۴۴kv

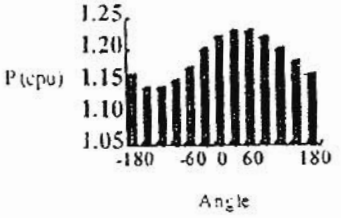


شکل-۳مصرف کننده های متصل به باس مشترک

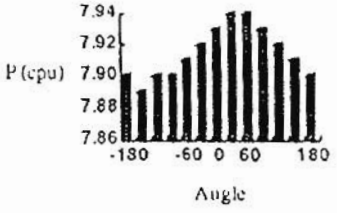
برای تعیین تأثیر تغییرات زاویهٔ فاز هارمونیکها، مشترک B بصورت مدل یک بار کامل مدلسازی می‌شود درصورتیکه مشترک A بعنوان یک مولد هارمونیکی جریان که دارای مقدار هارمونیک اصلی P.U ۱ و مقدار هارمونیک‌های دیگر برابر P.U ۵/. می‌باشد مدلسازی شده است. زاویهٔ فازهارمونیک از صفر تا ۳۶۰ درجه درگامهای ۳۰ درجه تغییرداده می‌شود واثرآن روی توان اکتیو ومختلط مصرف‌شده توسط مشترک B باروش مذکور تعیین می‌شود. این مراحل برای سایر هارمونیک‌ها (هارمونیک‌های سوم ، پنجم ، هفتم،...) تکرار می‌شود.

همانطور که قبلا" ذکر شد منابع مولدهارمونیک‌ها اغلب تجهیزات تخلیه‌های ،درایوهای ۶ و ۱۲ پالسه و مدارهای‌الکترونیک‌قدرت‌می‌باشندزیرااین عناصربیشترین‌منابع‌تولیدهارمونیک در شبکه‌های توزیع هستند.

اثرات تغییرزاویهٔ فاز هارمونیک راروی توان مصرفی تجهیزات تخلیه‌ای ودرایو ۶و۱۲ پالسه درشکل ۴ و ۵ نشان داده‌شده‌است.

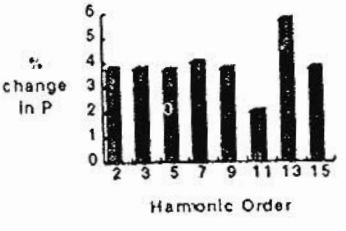


شکل -۵ توان حقیقی درایو ۱۲ پالسه ناشی از جریان تزریقی هارمونیک هفتم برحسب زاویه فاز

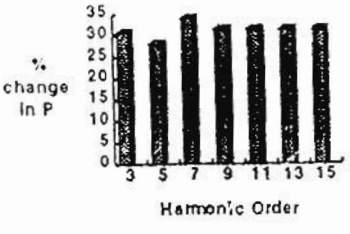


شکل -۶ توان حقیقی تجهیزات تخلیه ای ناشی از جریان تزریقی هارمونیک هفتم بر حسب زاویه فاز

مطابق شکل‌های ۵و۶ ،بزرگترین میزان‌تغییرات‌توان حقیقی‌برای تجهیزات‌تخلیه‌ای ۷٪ و برای درایو دوازده‌پالسه حدود ۰/۵ ٪ می‌باشد. نتیجه‌اینکه،تجهیزات تخلیه‌ای بیشتر تحت تأثیر قرارگرفته است شکل ۷و۸ نیز اثرات تغییر درجه هارمونیک را روی توان مصرفی دو مصرف‌کننده وتجهیزات تخلیه‌ای و درایو ۱۲ پالسه رانشان می‌دهد مطابق این شکلها میزان توان تغییرات زیادی باتغییر درجه هارمونیک ندارد.



شکل -۷ درصد تغییرات توان حقیقی درایو۱۲پالسه برحسب درجه هارمونیک جریان تزریقی



شکل-۸ درصد تغییرات توان حقیقی تجهیزات تخلیه ای برحسب درجهء هارمونیک جریان تزریقی

نتایج تغییرات زاویهٔ فاز ودرجهٔ هارمونیک‌ها برای دو مصرف‌کنندهٔ مذکور درجدولهای ۱و۲ درزیر و برای درایو ۶ پالسه نیز ارائه شده‌است.

جدول - ۱ : نتایج تغییرات زاویهٔ فاز

کمیت مورد نظر	بدترین حالت (درصدتغییردرکمیت موردنظر)		
	تجهیزات تخلیه‌ای	درایو ۶ پالسه	درایو ۱۲ پالسه
توان حقیقی	هفتمین هارمونیک (٪۳۴)	هفتمین هارمونیک(٪۶/۶)	سیزدهمین‌هارمونیک (٪۵/۷)
توان مختلط	سومین هارمونیک (٪۱/۱)	پنجمین هارمونیک (٪۱/۱)	سومین هارمونیک (٪۱/۱)

جدول - ۲ : نتایج تغییرات درجهٔ هارمونیک

کمیت مورد نظر	بدترین حالت (درصد تغییردرکمیت‌موردنظر)	
	بایک هارمونیک	مدل کامل
توان حقیقی	هفتمین هارمونیک (٪۶/۶)	تجهیزات تخلیه‌ای(٪۳/۱)
توان مختلط	پنجمین هارمونیک(٪۱/۱)	درایو ۱۲ پالسه (٪۱/۳)

ودرجدول -۳ نتایج برای بارهای حقیقی داده‌شده‌است:

جدول - ۳:

کمیت موردنظر	درصدتغییرتجهیزات‌تخلیه‌ای دراثر بار:	درصدتغییردرایو۶پالسه دراثربار	درصد تغییردرایو۱۲ پالسه دراثربار
توان حقیقی	تجهیزات تخلیه‌ای (٪۱۶/۵)	تجهیزات تخلیه‌ای (٪۳/۱)	تجهیزات تخلیه‌ای (٪۲/۷)
توان مختلط	درایو ۱۲ پالسه (٪۱/۳)	درایو ۱۲ پالسه(٪۱/۳)	تجهیزات تخلیه‌ای (٪۱/۳)

نتیجه‌گیری:

ازنتایج بدست‌آمده می‌توان گفت که اولاً" توان ظاهری درتغییرات زاویهٔ فاز ودرجهٔ هارمونیک تغییرات کمتری ازخود نشان می‌دهد ولی توان حقیقی تغییرات زیادی دارد. ثانیاً المانهایی که دریک مجموعه با تجهیزات تخلیه‌ای بکاررفته‌اند بیشتر ازسایر عناصر تحت‌تأثیر وتغییر قرار می‌گیرند. ثالثاً بارهایی که جریان‌های زیاد درهارمونیک‌های بادرجات پائین ایجاد می‌کنند تغییرات زیادی روی سایر مشترکین ایجاد می‌کند لذا بمنظور بحداقل رسانیدن اثرات هارمونیکی مشترکین روی

همدیگر موارد زیر می‌توان بکار گرفته‌شود:

۱) بمنظور کاهش جریان هارمونیکی درشبکه ازفیلتراکتیو (یاپسیو) استفاده‌می‌شود. همچنین برای جلوگیری‌ازتشدید هارمونیکی خازنها اصلاح ضریب توان،فیلترهای مناسب موازی بکار می‌رود این فیلترهادرفرکانس تشدید امپدانس حداقل ازخودنشان می‌دهند.

۲) درصورت امکان مولدهارمونیکها مخصوصاً درهارمونیک‌های پائین ازهم ایزوله شوند بـه ایـن منظور یا بارها ازفیدرهای مستقل تغذیه گردند ویاازترانس‌های ایزوله کننده استفاده شود.

۳) برای به حداقل رساندن هارمونیک سوم می‌توان ازترانسفورماتورهای مثلث - ستاره زمین شده در سیستم استفاده نمود .

۴) باتوجه به اینکه توان حقیقی تغییرات زیادی درمقابل تغییرات زاویه ودرجه هارمونیک از خـود نشان میدهدولی‌توان ظاهری‌تقریباً ثابت‌است می‌توان برای سنجش توان ازسنجش KVA بهره گرفت.

منابع ومراجع مورداستفاده:

۱- اثرات هارمونیک‌ها بر روی تجهیزات شبکه، توزیع ونحوه کاهش یاحذف آنها- دکترسیدحسین حسینی ومهندس طرفدار حق (دانشگاه تبریز)

2- Convertors az harmonic sources

by: R.G.W zingel (m.ENG.Dipl,wirt,Ing.),Berlin Germany

3- Effects of harmonic sources on customer loads.by:

Elham.B.Markram,Lynna.Setzer and srinivas varadan-29-1994

4- Adjustabie Speed drive and power Rectifier Harmonics their effects on power systems .by: D.e>Rice.IEEE trans.

Industry AppLication (1986)

5- Harmonic power flow studies part 1-dy :D.Xia and G.T.Heydt IEEE Trans. power apparaytus sys. (1982)

6- Design of filters of Reduce Harmonic Distortion in Industrial power systems.

dy: D.A. Gonzalez and J.C. Mccall IEEE. Trans.Industry Applicat.(1987)

7- Effects of harmonics on Power system equipment and loads.

dy: A.P. Meliopoules et al. TEEE TutoriaiCourse (1984)

8- Aspects of system harmonics effects of nondistorting loads by:T.H Ortmeyer. Ind. Conf,Harmonics in power systems (ICHPS)-(1984)