مقایسه مدلهای بار در محیط های هارمونیکی و شبیه سازی بر روی شبکه الکتریکی یک واحد صنعتی

علیرضا جلیلیان[1] امیر اصلانی[1و2]
[1] دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران - ایران
[2] شرکت فرآب- وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران

چکیده- با افزایش بارهای غیر خطی در سیستم های توزیع لازم است فیلتر گذاری های مناسبی جهت حذف جریانهای هارمونیکی در شبکه انجام گیرد. با توجه به مدلهای مختلف بار در شرایط هارمونیکی، فرکانس های رزنانس و امپدانسهای رزنانس متفاوتی پدید می آید. دراین مقاله مدلسازی بارها به سه صورت مدل بار عادی، مدل بار CIGRE و مدل بارهای موتوری ارائه شده است. در ادامه با انجام شبیه سازی بر روی یک شبکه نمونه، در شرایط مختلف هارمونیکی فرکانس رزنانس، امپدانس و مقدار THD ولتاژ در نقاط مختلف شبکه محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین مدلهای مختلف بار در این مقاله با یکدیگر مقایسه و مزایا و معایب هر کدام مشخص شده است.

کلید واژه: هارمونیک ، مدل سازی بار

۱- مقدمه

افزایش بارهای غیر خطی در سیستم های توزیع انرژی باعث افزایش اغتشاش در شکل موجهای ولتاژ وجریان شده که این اغتشاشات باعث افزایش تلفات و کاهش کیفیت توان می شوند. در اکثر کارخانجات صنعتی بارها از تعداد زیادی موتور کوچک و بزرگ تشکیل شده است. برای طراحی فیلتر در این شرایط از مدل بار عادی یا مدل بار CIGRE استفاده می شود. باتوجه به مدلهای مختلف بار رزنانس های متفاوتی در شبکه پیش می آید که طراحی فیلتر هارمونیکی را تحت تاثیر قرار میدهد. در مقاله های قبل مقایسه هایی بین مدل فرکانسی بارها در محیط هارمونیکی با استفاده از دو مدل بار عادی و مدل بار CIGRE در محیط EMTP و برای یک شبکه نمونه انجام شده است [1].

در این مقاله از اطلاعات شبکه الکتریکی یک واحد صنعتی که یک شبکه 63/20/6.3/3/0.4 کیلوولت می باشد استفاده شده است. شکل (۱) شماتیک کلی شبکه الکتریکی مورد مطالعه را نشان می دهد. نرم افزارهای بکار گرفته شده در این شبیه سازی برنامه های EMTP[16] و ATP[17] می باشند. ابتدا امپدانس و فرکانس رزنانس در نقاط مختلف شبکه در هر سه مدل مختلف بار (مدل عادی، مدل CIGRE و مدل موتوری) با استفاده از قابلیتFrequency Scan، ATP بدست آمده اند. سپس اغتشاشاتی که مربوط به حضور منابع هارمونیکی در شبکه می باشند با استفاده از قابلیت Harmonic Frequency Scan برنامه EMTP بدست آمده اند. در این حالت بارهای غیر خطی بصورت منبع جریان هارمونیکی با دامنه، فرکانس و فاز مشخص مدل شده اند.

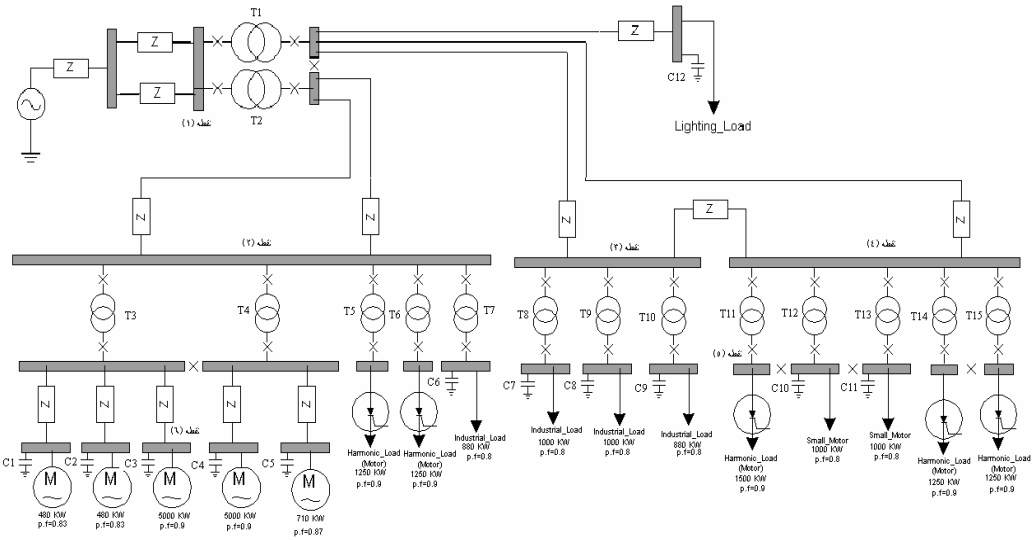
[16] Electromagnetic Transient Program
[17] Alternative Transients Program

Archive of SID
www.SID.ir

۲- مدلسازی

۲-۱ مدلسازی شبکه

شکل (الف) ضمیمه، شماتیک شبکه مورد مطالعه ساخته شده با ATPDRAW را نشان می دهد. تغذیه سیستم در شبکه با مدار معادل سیستم درسطح ولتاژ ٦٣ کیلوولت و با استفاده از راکتانس اتصال کوتاه در پست بالا دست مدل شده است. این پست از طریق دو خط ٦٣ کیلوولت هر کدام به طول ٥ کیلومتر به پست واحد صنعتی متصل می باشد. بارها به سطوح ولتاژ ٦/٣ کیلوولت ،٣ کیلوولت و ٠/٤ کیلوولت متصل می باشند.



شکل (۱) : شماتیک کلی شبکه مورد مطالعه

مشخصات کابلها در جدول (الف) ضمیمه نشان داده شده است. باوجود اینکه طول این کابلها کم می باشد ولی بخاطر دقت در محاسبات مدلسازی آنها از طریق پارامترهای گسترده کابل و مدل فرکانسی (JMARTI) کابل انجام شده است. مدلسازی خطوط انتقال با استفاده مدل فرکانسی خط (مدل JMARTI) انجام شده است. در این مدلسازی از مشخصات هادی (نوع، سطح مقطع، مقاومت DC و . . .) و نیز مشخصات دکل (ارتفاع دکل، ارتفاع هر هادی از زمین واز وسط دکل، فاصله فلش سیم گارد و هادی از زمین و . . .) استفاده شده است. مشخصات شبکه مورد مطالعه در جدول (ب) ضمیمه آمده است.

۲-۲- مدلسازی ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها بدون توجه به مدلسازی اشباع ترانسفورماتور در محیط EMTP مدل شده اند. در این مدلسازی تغییرات فرکانسی پارامترهای سری ترانسفورماتور با استفاده از روابط زیر منظور شده است [۲]:

$$R(h) = R\,[1 + a_R (h-1)^{b_R}] \qquad (۱)$$

$$L(h) = L \times a_L (h)^{b_R} \qquad (۲)$$

بطوریکه h مرتبه هارمونیکی بوده و a_R ، b_R ، a_L و b_L ضرایبی هستند که با توجه به ظرفیت ترانسفورماتور و سطح ولتاژ آن بدست می آیند. جدول (۱) مشخصات

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers _ Vol.1 _ No.1 _Spring 2004

Archive
www.SID.ir

ترانسفورماتورهای موجود در شبکه مورد مطالعه را که همگی دارای اتصال ΔY می باشند نشان می دهد.

جدول (۱): مشخصات ترانسفور ماتورهای شبکه مورد مطالعه

ترانسفورماتور	سطح ولتاژ (kV)	ظرفیت (MVA)	امپدانس درصد (%X)
T1 , T2	۶۳/۲۰	۳۰	۱۲
T3 , T4	۲۰/۶/۳	۱۵	۱۰
T11 الی T13	۲۰/۳	۱/۶	۶
T5-T10 و T14 , T15	۲۰/۰/٤	۱/۶	۶

۳-۲- مدلسازی بارها

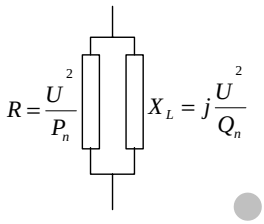
دراین مطالعه برای بارها سه نوع مدل مختلف بکار گرفته شده است. در مدل اول (مدل بار عادی [۳]) امپدانس بار با تغییرات فرکانس تغییر نمی کند. فرم تک فاز این مدل در شکل (۲) نشان داده شده است.

مدل دوم مدل پیشنهادی توسط CIGRE [۳] است که در آن امپدانس بار با تغییر فرکانس تغییر می کند. شکل (۳) مدل پیشنهادی تک فاز این نوع مدل بار را نشان می دهد.

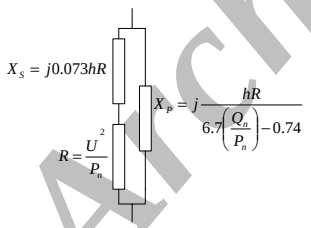
مدل سوم مدل فرکانسی موتورهای القایی است که بارهای موتوری را توسط مدل فرکانسی این بارها مدلسازی می کند [۲]. شکل (۴) مدل فرکانسی تک فاز بارهای موتوری را نشان می دهد. پارامترهای این مدل در ضمیمه آمده است. مدل بار موتوری در محیط فرکانسی در برنامه EMTP توسط نویسنده و با توجه به کد نویسی مدل پیشنهادی موتور القایی در راهنمای EMTP جهت آنالیز هارمونیکی ایجاد شده است. مشخصات بارهای موجود در شبکه مورد مطالعه در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): مشخصات بارهای موجود در شبکه مورد مطالعه

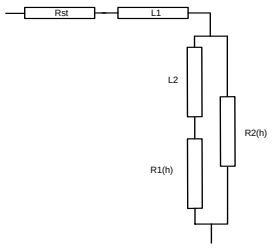
بارها	نوع	توان اکتیو (kW)	ضریب توان	ولتاژ (kV)
M1 ,M2	موتوری	٤٨٠	۰/۸۳	٦/۳
M3 , M4	موتوری	۵۰۰۰	۰/۹	٦/۳
M5	موتوری	۷۱۰	۰/۸۷	٦/۳
L01,L02 L10,L11	هارمونیکی	۱۲۵۰	۰/۹	۰/٤
L04,L05 L08,L09	موتوری ، کوچک	۱۰۰۰	۰/۸	۰/٤ ۳
L03,L06	صنعتی، روشنایی	۸۸۰	۰/۸	۰/٤
L07	هارمونیکی	۱۵۰۰	۰/۹	۳
L12	روشنایی	۱۵۰۰	۰/۸	۲۰



شکل(۲): مدل تکفاز بار عادی [۳]



شکل(۳): مدل تکفاز بار CIGRE [۳]



شکل(٤): مدل تکفاز بار موتوری [۲]

Archive of SID
www.SID.ir

٤-٢- مشخصات خازنها

مشخصات خازنهای نصب شده در شبکه مورد مطالعه که تماماً با اتصال مثلث هستند در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): مشخصات خازنهای شبکه مورد مطالعه

خازنها	ولتاژ نامی V_{LL} (kV)	ظرفیت خازن (kVar)
C1, C2,C5	٦/۳	۱۷٥
C3 ,C4	٦/۳	۸٥۰
C8 , C11	۰/٤	۲۷٥
C9 ,C10	۰/٤	۳۲٥
C13 ,C14	۳	۳۲٥
C17	۲۰	٤۷٥

٥-٢- منابع هارمونیکی

بارهای غیر خطی بصورت منابع جریانهای هارمونیکی با دامنه، مرتبه و فاز مشخص مدل شده اند. برای مثال، طیف واندازه جریانهایی هارمونیکی یکسو کننده های ٦ پالسه موجود در سیستم مورد مطالعه بصورت ضرایبی از مؤلفه اصلی جریان نامی ($I_h = \frac{I}{h}$) تا هارمونیک ۲٥ درنظر گرفته شده اند. مقادیر جریانهای هارمونیکی مربوط به یکسو کننده ها بطور خلاصه در جدول (٤) نشان داده شده است. این جریانها از نقاط مختلف (محل اتصال بارهای غیر خطی وارد شبکه شده و در سیستم و شبکه اغتشاشهای هارمونیکی ایجاد میکنند که در قسمت شبیه سازی مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

جدول (٤): جریانهای هارمونیکی یکسو کننده ها

مؤلفه جریان هارمونیکی(I_h)	در سطح ولتاژ ٤۰۰ ولت (A)	در سطح ولتاژ ۳۰۰۰ ولت (A)
I_1	۲۰۰٤/۷	۳۲۰
I_5	٤۰۰/۹	٦٤/۱
I_7	۲۸٦/۳	٤٥/۸
I_{11}	۱۸۲/۲	۲۹/۱
I_{13}	۱٥٤/۲	۲٤/٦
I_{17}	۱۱۷/۹	۱۸/۹
I_{19}	۱۰٥/٥	۱٦/۹
I_{23}	۸۷/۱	۱٤
I_{25}	۸۰/۱	۱۳

۳- تعیین نقاط تحلیل

ابتدا ٦ نقطه مختلف در شبکه جهت بررسی و مطالعه پاسخ فرکانسی و آنالیز هارمونیکی در نظر گرفته شده است. این نقاط عمدتا با توجه به نوع بارها و اهمیت پاسخ فرکانسی سیستم و همچنین اعوجاج هارمونیکی ولتاژ به ترتیب زیر تعیین شده اند:

نقطه (۱): در طرف ٦۳ کیلوولت ترانسفور ماتور پست

نقطه (۲): در شین ۲۰ کیلوولت پست ۲۰/٦/۳کیلوولت (تغذیه بارهای موتوری بزرگ)

نقطه (۳): در شین ۲۰ کیلوولت پست ۲۰/۰/٤ کیلوولت (تغذیه موتورها و بارهای کوچک)

نقطه (٤): در شین ۲۰ کیلوولت پست۲۰/۳/۰/٤ کیلوولت (تغذیه درایوها و بارهای غیر خطی)

نقطه (٥): در شین ۳ کیلوولت پست۲۰/۳/۰/٤ کیلوولت (تغذیه درایوها و بارهای غیر خطی)

نقطه (٦): در شین ٦/۳ کیلوولت پست ۲۰/٦/۳کیلوولت (تغذیه بارهای موتوری بزرگ)

٤- نتایج شبیه سازی

۱-٤- شبیه سازی با استفاده از قابلیت Frequency Scan نرم افزار ATP

در این شبیه سازی ابتدا فرکانس رزنانس سیستم در نقاط تعیین شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه و در جدول (٥) نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

$$f_r = f\sqrt{\frac{S_c}{Q_c}} \qquad (۳)$$

بطوریکه f_r و f به ترتیب فرکانس رزنانس و فرکانس نامی سیستم، S_c قدرت اتصال کوتاه سیستم و Q_c توان راکتیو بانکهای خازنی در نقاط تعیین شده میباشد.

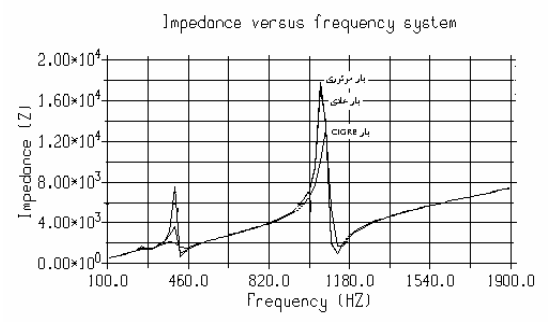
جدول (۵): مقادیر فرکانس رزنانس در نقاط تحلیل

نقطه تعیین شده	قدرت اتصال کوتاه سیستم S_c (MVA)	توان راکتیو بانکهای خازنی S_c(MVar)	فرکانس رزنانس (Hz)
(۱)	۲۰۰۰	٤/٥٥	۱۰٥۰
(۲)	۱۸٤	۲/٥	٤۳۰
(۳)	٤۲۳	۰/۹۲٥	۱۰٦۸
(٤)	۳۲۳	۰/٦٥	۱۱۱٥
(٥)	۳۰۱	۰/٦٥	۱۰۸۰
(٦)	۲۰۰	۲/٥	۳۸۰

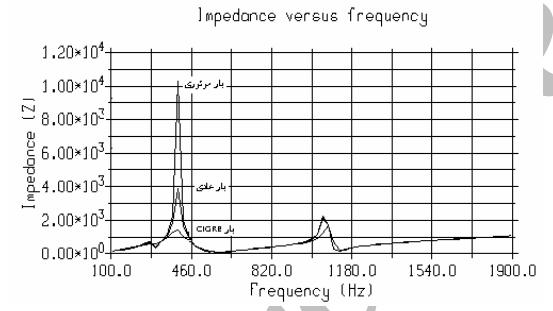
در ادامه امپدانس معادل سیستم با استفاده از قابلیت Frequency Scan نرم افزار ATP در طیف فرکانسی بین ۱۰۰ Hz تا ۱۹۰۰ Hz با توجه به مدلهای مختلف بار بدست آمده است. شکلهای (۵) الی (۱۰) بترتیب نتایج شبیه سازی مربوط به امپدانس در نقاط (۱) الی(٦) در هر سه مدلسازی را نشان می دهد. با مقایسه منحنیهای امپدانس ـ فرکانس سه مدل مختلف بار، مشاهده می شود که رفتار فرکانسی امپدانس شبکه در حالت مدل عادی با مدل موتوری مشابهت بیشتری نسبت به مدل CIGRE دارد.

همچنین فرکانس رزنانس در دو مدل عادی و موتوری تقریباً یکسان و با فرکانس رزنانس در حالت مدل CIGRE اندکی متفاوت می باشد. مطابق نتایج شبیه سازی ها بیشترین مقدار امپدانس سیستم در فرکانس رزنانس در مدل موتوری، وکمترین آن در مدل CIGRE بدست آمده است.

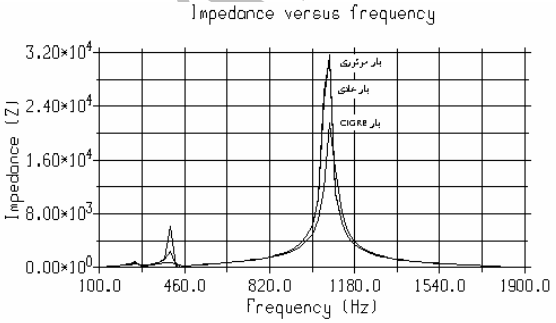
رفتار فرکانسی امپدانس شبکه در نقاط مختلف در فرکانسهای غیر از فرکانس رزنانس در هر سه مدل بار تقریبا مشابه میباشد. با توجه به تفاوت عمده امپدانسها در فرکانس رزنانس میتوان نتیجه گرفت که در آنالیز هارمونیکی سیستمهای الکتریکی مدلهای بار نقش بسزایی در نتایج هارمونیکی از جمله در فیلتر گذاری خواهد داشت.



شکل(۵): نمودار امپدانس ـ فرکانس در نقطه (۱)



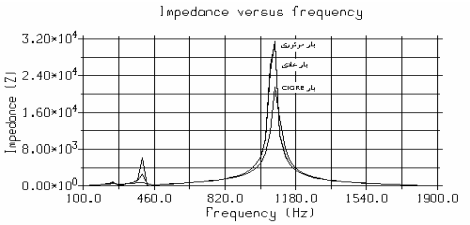
شکل(٦): نمودار امپدانس ـ فرکانس در نقطه (۲)



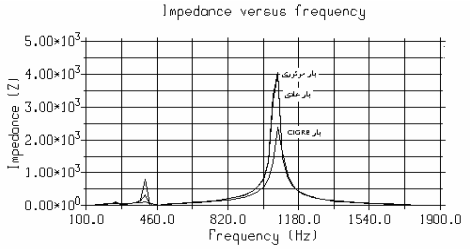
شکل(۷): نمودار امپدانس ـ فرکانس در نقطه (۳)

Archive of SID

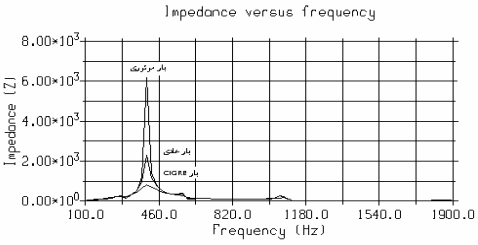
www.SID.ir



شکل(۸): نمودار امپدانس ـ فرکانس در نقطه (٤)



شکل(۹): نمودار امپدانس ـ فرکانس در نقطه (٥)



شکل(۱۰): نمودار امپدانس ـ فرکانس در نقطه (٦)

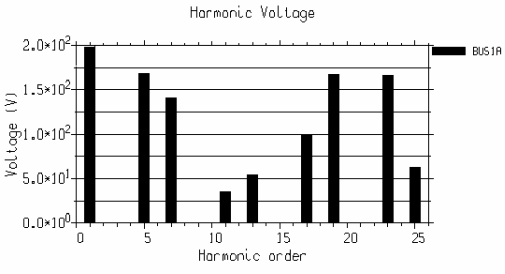
۲-٤- شبیه سازی با استفاده از قابلیت H.F.S (Harmonic Frequency Scan)

اکنون که پاسخ های فرکانسی سیستم در نقاط مورد نظر بدست آمده است میتوان به بررسی مشکلات مربوط به حضور هارمونیک ها در سیستم پرداخت. جریانهای هارمونیکی ایجاد شده توسط بارهای غیر خطی از نقاط مختلف وارد شبکه شده و موجب ایجاد ولتاژ هارمونیکی (بر اساس رابطه زیر) در هر نقطه از شبکه خواهد شد.

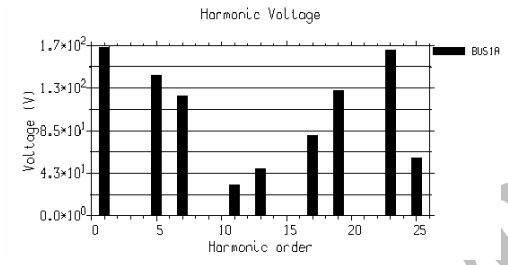
$$[V_h]=[I_h][Z_h] \quad h = 1,2,\ldots 25 \qquad (٤)$$

بطوریکه I_h V_h و Z_h به ترتیب ولتاژ، جریان و امپدانس در هارمونیک h ام میباشد.

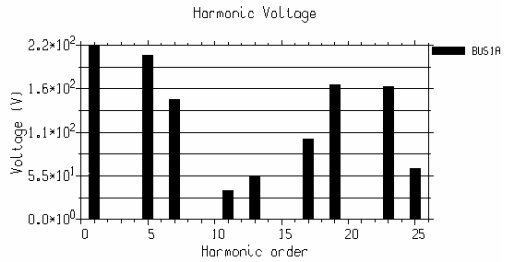
با توجه به مشخصه های امپدانس در نقاط (۱) الی (٦) (شکلهای ٥ الی ۱۰)، و همچنین جریانهای هارمونیکی ناشی از بارهای موجود و با در نظر گرفتن مدلهای مختلف بار، اغتشاشات متفاوتی برای ولتاژ شین ها حاصل می گردد. بعنوان نمونه نتایج بدست آمده از شبیه سازی و محاسبه ولتاژ هارمونیکی در نقطه (۱) در سه نوع مدلسازی بار تا هارمونیک مرتبه ۲۵ در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



الف- مدل بار عادی



ب- مدل بار CIGRE



ج- مدل بار موتوری

شکل(۱۱): طیف ولتاژ هارمونیکی در نقطه (۱)

خلاصه نتایج محاسبات هارمونیکی مربوط به شین های (۱) تا (٦) با توجه به مدلهای مختلف بار بطور جداگانه در جداول (٦) الی (۱۱) نشان داده شده اند. در این جداول مولفه هارمونیکی ولتاژ در هر هارمونیک با HF و ضریب اعوجاج کل هارمونیکی با THD نشان داده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول (٦): نتایج محاسبات هارمونیکی مربوط به نقطه (١)

مدل بار			
مرتبه هارمونیکی (h)	عادی	CIGRE	موتوری
	HF(%)		
٥	٠/٤٦	٠/٤٠	٠/٥٦
٧	٠/٣٨	٠/٣٤	٠/٤
١١	٠/٠٩	٠/٠٨	٠/١١
١٣	٠/١٥	٠/١٣	٠/١٥
١٧	٠/٢٧	٠/٢٣	٠/٢٧
١٩	٠/٤٦	٠/٣٥	٠/٤٥
٢٣	٠/٤٦	٠/٤٤	٠/٤٥
٢٥	٠/١٨	٠/١٦	٠/١٩
THD	٠/٦٥٥	٠/٥٦٥	٠/٧٠٦

جدول (٧): نتایج محاسبات هارمونیکی مربوط به نقطه (٢)

مدل بار			
مرتبه هارمونیکی (h)	عادی	CIGRE	موتوری
	HF(%)		
٥	٠/٢٩	٠/٢٢	٠/٥٣
٧	٠/٢٦	٠/٢١	٠/٢٨
١١	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠١
١٣	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٤
١٧	٠/٠٦	٠/٠٥	٠/٠٧
١٩	٠/١١	٠/٠٩	٠/١١
٢٣	٠/١٣	٠/١٣	٠/١٣
٢٥	٠/٠٦	٠/٠٥	٠/٠٨
THD	٠/٢٩٥	٠/٢٥٠	٠/٣٤٥

جدول (٨): نتایج محاسبات هارمونیکی مربوط به نقطه (٣)

مدل بار			
مرتبه هارمونیکی (h)	عادی	CIGRE	موتوری
	HF(%)		
٥	١/٢١	٠/٩٥	١/٥٢
٧	٠/٨	٠/٧	٠/٧٣
١١	٠/٤٦	٠/٤٣	٠/٤٧
١٣	٠/٥٨	٠/٥٢	٠/٥٨
١٧	٠/٢٨٨	٠/٩٥	١/٠٥
١٩	٠/٥٠	١/٣	١/٧٣
٢٣	١/٨٢	١/٨٢	١/٨٢
٢٥	٠/٧	٠/٧	٠/٧٢
THD	٢/٢٨٣	٢/٠٦٥	٢/٤٠٨

جدول (٩): نتایج محاسبات هارمونیکی مربوط به نقطه (٤)

مدل بار			
مرتبه هارمونیکی (h)	عادی	CIGRE	موتوری
	HF(%)		
٥	١/٢٦	٠/٩٥	١/٥٦
٧	٠/٨١	٠/٧٤	٠/٨٢
١١	٠/٤٣	٠/٤٢	٠/٤٨
١٣	٠/٦	٠/٥٤	٠/٧٤
١٧	١/٠٨	٠/٧٨	١/٠٤٧
١٩	١/٧٣	١/٣٠	١/٧٣
٢٣	١/٨٢	١/٨٢	١/٨٢
٢٥	٠/٧	٠/٧١	٠/٧٤
THD	٢/٢٨٧	٢/٠٦٩	٢/٤١١

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۱۰): نتایج محاسبات هارمونیکی مربوط به نقطه (۵)

مدل بار			
مرتبه هارمونیکی (h)	عادی	CIGRE	موتوری
	HF(%)		
۵	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۱۰
۷	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۲
۱۱	۰/۸٤	۰/۸۲	۰/۸۷
۱۳	۰/۸۷	۰/۸۲	/۸۸
۱۷	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۹٤
۱۹	۱۰/۱	۰/۸۷	۱۰/۲۸
۲۳	۰/٦۲	۰/٥٤	۰/٦٤
۲٥	۰/۷۳	۰/٦٦	۰/۷٤
THD	۱/۸۱۰	۱/۷٥٦	۱/۸۳۹

جدول (۱۱): نتایج محاسبات هارمونیکی مربوط به نقطه (٦)

مدل بار			
مرتبه هارمونیکی (h)	عادی	CIGRE	موتوری
	HF(%)		
۵	۱/۱۳	۱/۰۷	۱/۳۸
۷	۱/۹۳	۱/۷۳	۲/۱٤
۱۱	۰/۸٥	۰/٦٦	۰/۸۸
۱۳	۰/۲۸	۰/۲٥	۰/۲۸
۱۷	۰/۱۹	۰/۱٤	۰/۲۲
۱۹	۰/۱۹	۰/۱٤	۰/۲٥
۲۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰٦
۲٥	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰٦
THD	۱/۷٦۸	۱/٦۲۸	۱/۹٦٥

بررسی نتایج ارائه شده در جداول ٦ الی ۱۱ نشان میدهد که:

۱- ضریب اعوجاج ولتاژ (THD) در نقاط تعیین شده در هر سه مدل بار خیلی بهم نزدیک بوده و کمتر از مقدار استاندارد (٥٪) میباشد. وجود خازنهای اصلاح ضریب توان را میتوان بعنوان یکی از علل قابل قبول بودن THD ولتاژ در این نقاط در نظر گرفت.

۲- اعوجاج ولتاژ در هر هارمونیک در مدلهای مختلف بار، بجز در حوالی فرکانس رزنانس، نیز تقریبا یکسان است. این موضوع با توجه به تغییرات تقریبا یکسان امپدانس ـ فرکانس در هر سه مدل بار (شکلهای ٥ الی ۱۰) نیز قابل توجیه میباشد.

۳- بیشترین میزان اعوجاج ولتاژ در هر هارمونیک در هر نقطه حوالی فرکانس رزنانس سیستم در آن نقطه ایجاد میشود. برای مثال بیشترین اعوجاج ولتاژ در محل نصب موتورهای بزرگ (نقاط (۲) و (٦)) حوالی هارمونیک هفتم و برای بقیه نقاط حوالی هارمونیک ۲۳ میباشد. این موضوع با توجه به بالا بودن امپدانس سیستم در فرکانس رزنانس در نقاط مختلف (شکلهای ٥ الی ۱۰) نیز قابل دستیابی میباشد.

٤- حداکثر میزان اعوجاج هارمونیکی ولتاژ در هر نقطه دقیقا در فرکانس رزنانس سیستم در آن نقطه رخ خواهد داد. در این حالت امپدانس سیستم در مدلهای مختلف بار و در نتیجه اعوجاج هارمونیکی ولتاژ تفاوت قابل توجهی با یکدیگر خواهند داشت. در شبیه سازی انجام شده بیشترین اعوجاج هارمونیکی ولتاژ در هر نقطه و در یک فرکانس مشخص در مدل بار موتوری و کمترین آن مربوط به مدل CIGRE میباشد. لذا میتوان نتیجه گرفت که مدل بار نقش تعیین کننده ای در مشخص کردن پاسخ فرکانسی سیستم و امپدانس آن خصوصا در شرایط رزنانس داراست. این موضوع در طراحی فیلتر برای حذف هارمونیکهای مزاحم اهمیت ویژه ای خواهد داشت.

٥- میزان اعوجاج ولتاژ محاسبه شده در مدل بار CIGRE در نقاط (۲) و (٦) حدود ۳۰٪ کمتر از مقادیر محاسبه شده با مدل بار موتوری است. لذا مینوان نتیجه گرفت که استفاده از مدل بار CIGRE در شرایطی که بار شبکه از نوع موتوری است مناسب نمیباشد.

Archive of SID

www.SID.ir

۵- نتیجه گیری

در این مقاله نتایج شبیه سازی روی شبکه یک واحد صنعتی با بارهای موتوری بزرگ، بارهای غیر خطی شامل درایوهای کنترل دور، بارهای موتوری کوچک، بارهای روشنائی و . . . در سطوح مختلف ولتاژ ارائه شده است. در این مطالعه نرم افزارهای EMTP و ATP جهت شبیه سازی بکار گرفته شده اند. همچنین سه مدل مختلف برای بارها شامل مدل عادی، مدل CIGRE و مدل موتوری انتخاب و در شبیه سازی استفاده شده اند. بعلاوه بارهای غیر خطی بصورت منابع جریان هارمونیکی مدل شده اند.

با شبیه سازی، ابتدا فرکانس رزنانس در ٦ نقطه مختلف شبکه و سپس امپدانس سیستم در آن نقاط در هر سه مدل مختلف بار بدست آمده و با یکدیگر مقایسه شده اند. در ادامه اعوجاج هارمونیکی ولتاژ ناشی از حضور منابع هارمونیکی در شبکه بدست آمده اند.

نتایج شبیه سازی نشان میدهد که فرکانس رزنانس در دو مدل عادی و موتوری تقریباً یکسان و با فرکانس رزنانس در حالت مدل CIGRE اندکی متفاوت می باشد. همچنین تغییرات امپدانس شبکه در نقاط مختلف در فرکانسهای غیر از فرکانس رزنانس در هر سه مدل بار تقریبا مشابه میباشد. ولی در فرکانس رزنانس، بیشترین مقدار امپدانس سیستم در مدل موتوری، وکمترین آن در مدل CIGRE بدست آمده است. نتایج بدست آمده نشان میدهد که استفاده از مدل CIGRE در نقاطی که بار از نوع موتوری است مناسب نمیباشد.

نتایج شبیه سازیها همچنین نشان میدهد که مقدار THD ولتاژ در حوالی فرکانس رزنانس سیستم بالاترین مقدار را داشته و به نوع مدلسازی بار وابسته است. بیشترین مقدار THD ولتاژ مربوط به مدل موتوری و کمترین آن در مدل CIGRE ارزیابی شده است. لذا بطور کلی در آنالیز هارمونیکی سیستمهای الکتریکی مدلهای بار باید با دقت انتخاب شده تا بیانگر رفتار واقعی بارها در شرایط هارمونیکی باشد. این نکته در طراحی فیلترهای هارمونیکی نیز اهمیت داشته و باید مورد توجه قرار گیرد.

برای دستیابی به نتایج دقیقتر شبیه سازیها در سیستم های نامتعادل و با استفاده از مدلهای مختلف عناصر الکترونیک قدرت قابل انجام می باشد.

٦- مراجع

[1]. V. F. Corasaniti, R. Bianchi , F. Viollaz,"Comparison of Load Models in Harmonic Flows," IEE CIRED Conference, June, 2001, pp 2.43.

[2]. "Harmonic Frequency Scan", EMTP Rule Book, EEUG Meeting, Lamezia, 1999.

[3]. CIGRE Working Group 36-05, (Disturbing Loads): " Harmonics, Characteristic Parameters, Methodes of Study, Estimates of Existing Values in the Network",.Electra, 77 , 35-54, 1981.

ضمیمه:

مشخصات مدل تکفاز بار موتوری (شکل ٤)

Rst : مقاومت استاتور $R_2(h)=\frac{R_2}{h_s}$ ، $R_1(h)=\frac{R_1}{h_s}$

L_1 :اندوکتانس پراکندگی استاتور $h_s=\frac{(h+Slip+Z)}{h}$

L_2 : اندوکتانس پراکندگی روتور منتقل شده به طرف استاتور

$Z=(-1)\text{^}(h \mod 3)$

R_1 : مقاومت معادل طرف استاتور

R_2 : مقاومت معادل روتور منتقل شده به طرف استاتور

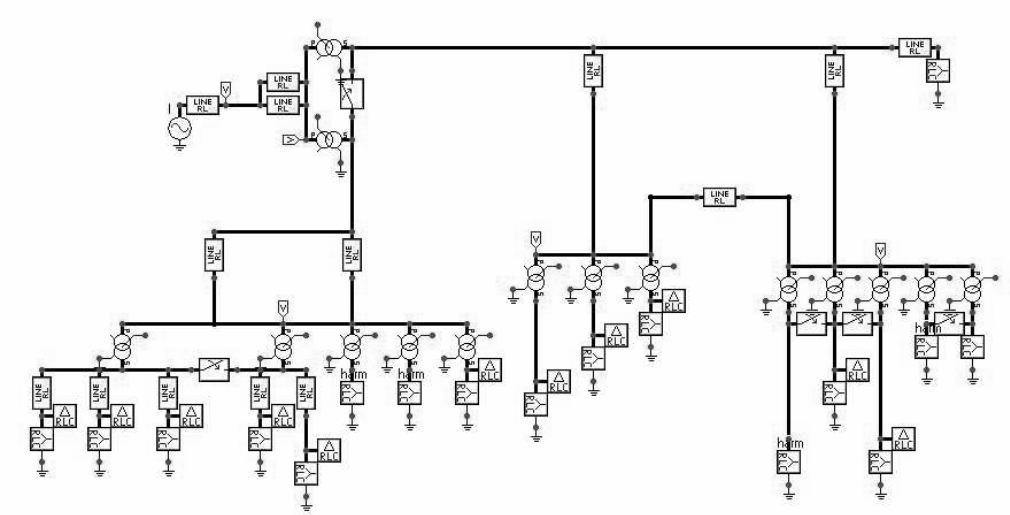
h : مرتبه هارمونیکی

h_s : لغزش در هارمونیک h ام

Slip : لغزش در فرکانس اصلی

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (الف): شماتیک شبکه مورد مطالعه در محیط ATPDRAW

جدول (الف) : مشخصات کابلهای زیر زمینی

نام کابل	نوع کابل	سطح مقطع شیلد (mm^2)	قطر هادی (mm)	ضخامت نوار فولادی (mm)	قطر خارجی تقریبی (mm)	جنس هادی	جریان مجاز درهادی زمین (A)	مقاومت DC هادی در20°C Ω /km	L mh/km	C µF/km	طول (km)
LC1 LC2	×۳۰۰ ۱	۲۵	۲۰/۶	۰/۵	۴۸	مس	۶۴۰	۰/۰۵۰۹	۰/۳۴	۰/۳۲	۱
LC3 LC4 LC5	۱×۳۰	۲۵	۲۰/۶	۰/۵	۴۸	مس	۶۴۰	۰/۰۵۰۹	۰/۳۴	۰/۳۲	۱/۵ ۱/۳ ۰/۵
LC6 LC7 LC7	۳×۵۰	۱۶	۸/۳	۰/۵	۴۷	مس	۱۶۸	۰/۶۴۱	۰/۴	۰/۲۹	۰/۲
LC8 LC9	۳×۹۵	۱۶	۱۱/۶	۰/۵	۵۴	مس	۲۴۵	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳ ۰/۳

جدول (ب): مشخصات خطوط انتقال

نام خطوط	نوع هادی	تعداد باندل	R+ (Ω)	R0 (Ω)	L+ (mH)	L0 (mH)	C+ (µF)	C0 (µF)	طول خط (km)
L1 , L2	HYENA	۱	۱/۳۵۶	۲/۶۷	۶/۵۲۶	۲۰/۶۱۷	۰/۰۴۴	۰/۰۲۴	۵
L3	HYENA	۱	۰/۵۴۲	۱/۰۷۲	۰/۶۸۸	۲/۲۹۴	۰/۰۲۱	۰/۰۰۹۱	۲

Archive of SID

www.SID.ir