



فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول :مقدمه

1-مقدمه	1
---------	---

فصل دوم :تعريف

2-تعريف هارمونيك	3
------------------	---

فصل سوم : منابع ايجاد

3-منابع ايجاد هارمونيك	10
------------------------	----

3-1-وسايل فرومغناطيسي	12
-----------------------	----

3-2-مبدلهاي الكترونيك قدرت	15
----------------------------	----

3-3-تجهيزات تخليه اي	24
----------------------	----

3-4-مدل سازي سيستم توزيع با بارداري قوس الكتريكي	25
--	----

3-5-منابع جديد توليد هارمونيك	32
-------------------------------	----

فصل چهارم : اثرات

4-اثرات هارمونيك	42
------------------	----

4-1-اثر هارمونيك بر خازنها	50
----------------------------	----

4-2-اثر هارمونيك برروي لامپ هاي روشنايي و المان ها حرارتي	54
---	----

59	3-4- اثر هارمونيك بر ماشين هاي آسكرون
59	4-4- اثر هارمونيك بر ترانسفورماتورها
63	5-4- اثر هارمونيك بر عملکرد رله
68	6-4- اثر هارمونيك بر وسايل اندازه گيري
71	7-4- اثر هارمونيك بر كليد ها
73	8-4- اثر هارمونيك بر فيوز ها
75	9-4- تاثيرات ديگر هارمونيك
	فصل پنجم : روش هاي حذف
76	5- روش هاي حذف هارمونيك
77	1-5- فيلتر هاي پسيو
79	2-5- فيلتر هاي اکتیو
	فصل ششم : نتيجه گيري
85	نتيجه گيري
	فصل هفتم : منابع و مآخذ
87	منابع و مآخذ

عنوان

صفحه

موج سينوسي پايه	4
جمع دو هارمونيك	4
موج هاي متقارن و نامتقارن	8
مشخصه ولتاژ و جريان در مقاومت خطي و غير خطي	10
دياگرام تك خطي مدار معادل T ترانسفورماتور	12
رابطه شار مغناطيسي و جريان در ترانسفورماتور	13
موج جريان مغناطيس كنندگي	13
نسبت ولتاژ و جريان تحريك به هارمونيك	15
مبدل يكسو كننده	17
موج مصرفي مثلي	17
موج و جريان يكسو شده توسط سلف و ترانزيستور	19
جريان نسبت به فرکانس	19
يكسو كننده سه فاز	20
موج ولتاژ و جريان يكسو شده توسط يكسو كننده سه فاز	21
موج يكسو شده براي استفاده د ماشين فرز	22
موج يكسو شده توسط تريستور	22
دياگرام تك خطي	26
رابطه بين ولتاژ و جريان يك قوس الكتريكي در حالت واقعي	26
منحني مشخصه ولتاژ و جريان قوس الكتريكي	27
منحني ولتاژ و جريان قوس الكتريكي	27

28	 منحنی تغییرات توان اکتیو در باس اصلی سیستم
28	 منحنی تغییرات ضریب توان در باس اصلی سیستم
29	 منحنی ولتاژ و جریان قوس الکتریکی در حالت فلیکر سینوسی
29	 منحنی ولتاژ و جریان قوس الکتریکی در حالت فلیکر
30	 میزان تغییرات THD در ولتاژ باس PCC
31	 میزان تغییرات شاخص عدم تعادل در ولتاژ باس PCC
32	 موج ولتاژ و جریان برای یک کوره قوس الکتریکی
35	 موج ولتاژ و جریان مصرفی موتور
38	 مبدل فرکانس با خروجی سه فاز شش ضربه ای
40	 مدل های مختلف مدولاسیون ضربه ای
41	 هامونیک تولیدی در یک کنترل کننده PBM
43	 نسبت THD به مقدار هامونیک جریان
45	 هامونیک هفت یک بار غیر خطی
45	 هامونیک پنج یک بار غیر خطی
46	 هامونیک سه یک بار غیر خطی
48	 هامونیک سوم در فازهای a و b و c
53	 شبکه نمونه
53	 دیتای گرفته شده بدون حضور خازن
53	 رابطه امپدانس با فرکانس بدون حضور خازن
54	 دیتای گرفته شده با حضور خازن
54	 رابطه امپدانس با فرکانس با حضور خازن
57	 دیاگرام تک خطی ماشین آسنکرون
58	 مدار معادل ماشین آسنکرون
58	 مدار معادل ساده شده ماشین آسنکرون
63	 منحنی تغییرات دمای روغن ترانس بر حسب زمان برای بار غیر خطی
65	 گشتاور تولیدی در رله های الکترومغناطیس

70	 رابطه جريان و ولتاژ و توان با هارمونيك
70	 رابطه جريان و ولتاژ و توان (هارمونيك سوم) در كنتور بر حسب زمان
70	 رابطه جريان و ولتاژ و توان(هارمونيك پنجم)در كنتور بر حسب زمان
71	 رابطه جريان و ولتاژ و توان(هارمونيك هفتم) در كنتور بر حسب زمان
71	 موج جريان يك مبدل
74	 كوپلاژ و القاء خطوط قدرت روي خطوط مخابرات
77	 اتصال فيلتر پسيو به سيستم
81	 اتصال فيلتر اکتیو به سيستم
82	 فيلتر براي هارمونيك 5و7
82	 منبع امپدانس از دید بار و فيلتر
83	 موج ولتاژ و جريان بدون استفاده از فيلتر
83	 موج ولتاژ و جريان با استفاده از فيلتر
84	 اغتشاش ولتاژ
85	 اغتشاش جريان



عنوان

صفحه

14	مقادیر هارمونیک در جریان تحریک ترانسفورماتور
18	مقادیر هارمونیک موثر در لامپ فلورسنت
23	مقادیر هارمونیک جریان در مبدل شش ضربه ای
30	میزان هارمونیک ایجاد شده در ولتاژ باس PCC
31	مقادیر هارمونیک مرتبه در دستگاه تخلیه تک فاز
60	مقادیر تقریبی برای مفروضات معادله (4-32)
61	مقادیر تقریبی ضرایب منتج از اندازه گیری
61	مشخصات ترانس (200 KVA) و بار هارمونیکی
62	مقادیر بار هارمونیکی برای مقایسه
62	نتایج حاصل از شبیه سازی

مقدمه :

استفاده از مبدل‌های الکترونیک قدرت در اواخر دهه 1970 معمول گردید بسیاری از مهندسان برق در مورد توانایی پذیرش اعوجاج‌ها ر ه مونیکی توسط سیستم های قدرت به بحث و تبادل نظر پرداختند .

پیش بینی های نگران کننده ای از سر نوشت سیستم های قدرت در صورت اجازه استفاده از این تجهیزات انجام گرفت . در حالی که بعضی از این پیش بینی ها بیش از حد قلمداد می شد ، ولی بررسی مفهوم کیفیت برق مدیون آنها ، بدلیل پیگیری درباره این مسئله نو ظهور می باشد . بروز هارمونیک ها در سیستم های قدرت ناشی از استفاده عناصر غیر خطی در شبکه می باشد . عناصر غیر خطی در سیستمهای برق ، مانند :

راه اندازها ، درایورهای تنظیم سرعت ، مبدل‌های الکترونیک قدرت و غیره مقدار ها مونیك شكل موج جریان و ولتاژ بطور چشمگیری افزایش یافته که در نتیجه منجر به تحقیقاتی شد که نتایج آن به نقطه نظرات متعددی در مورد کیفیت برق بود .

به نظر برخی از محققان ، اعوجاج ها ر مونیکی هنوز مهم ترین مسئله کیفیت برق می باشد مسائل هارمونیک با بسیاری از قوانین معمولی طراحی سیستم های قدرت و عملکرد آن تحت فرکانس اصلی مغایر است . بنابراین مهندسين برق با پدیده های نا آشنایی روبرو می شوند . که لازمه دانستن ریاضی خاص و نیاز به ابزار پیچیده و تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات و تجزیه تحلیل آنها دارد . اگر چه تحلیل مسائل ها و مودنیکی می تواند دشوار باشد اما درصد کمی از فیدرهای مربوط به سیستمهای توزیع تحت تاثیر عوامل ناشی از هارمونیک ها قرار می گیرند. مصرف کننده های برق خود هم می تواند تولید کننده هارمونیک باشند و هم در صورت وجود هارمونیک مشکلات زیاد تري از تولید کننده هاي برق تحمل می کنند . اعوجاج ها ر مونیکی در بسیاری از دوره ها در سیستم های قدرت الکتريکی جریان متناوب وجود داشته و دنبال شده است .

جستجوی کتب و منابع و مطالب تکنیکی دهه های قبل و اخير نشان می دهد که مقالات مختلفی در رابطه با این موضوع انتشار یافته است . اولین منابع ها ر مونیکی ترانسفور ماتور ها بودند و نخستین مشکل نیز در سیستم های تلفن پدید آمد .

استفاده از لامپ های قوس الکتریکی بدلیل مولفه های خاص هارمونیکی توجهات خاصی را برانگیخت ولی این مسائل به اندازه اهمیت مسئله مبدل های الکترونیک قدرت در سالهای اخیر نبوده است . با پیشرفت تکنولوژی در سالهای اخیر استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت نیز افزایش چشمگیری داشته است. در طی سالهای اخیر پژوهشگران متوجه شده اند که اگر سیستم انتقال به نحو مناسبی طراحی شود به نحوی که بتواند مقدار توان مورد نیاز بارها را به راحتی تامین کند ، احتمال ایجاد مشکل ناشی از هارمونیک ها برای سیستم های قدرت بسیار کم خواهد بود . گرچه این هارمونیک ها موجب مسائلی در سیستم های مخابراتی شوند . اغلب در سیستم های قدرت مشکلات زمانی بروز کنند که خازنهای موجود در سیستم باعث ایجاد تشدید در یک فرکانس هارمونیکی شوند . در این شرایط اغتشاشات و اعوجاجها ، بسیار بیشتر از مقادیر معمول می گردند امکان ایجاد این مشکلات در مورد مراکز کوچک مصرف وجود دارد ولی شرایط بدتر در سیستم های صنعتی بدلیل درجه زیادی از تشدید رخ می دهد .



1- تعریف هارمونیک :

امروزه واژه هارمونیک ها در رابطه با مسائل سیستم قدرت زیاد بکار می رود . جهت درک بیشتر به پاره ای از مفاهیم مربوط به هارمونیک های سیستم قدرت پرداخته می شود . اساسا هر موج متناوبی می تواند بوسیله مجموعه ای از موج های سینوسی توصیف گردد که این مجموعه بنام سری فوریه ریاضی دان فرانسوی (1768-1830) معروف است

$$u_{(t)} = u_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} (u_{(n)s} \sin(n\omega t) + u_{(n)c} \cos(n\omega t)) \quad (2-1)$$

سری مربوطه به دو بخش قابل تفکیک می باشد .

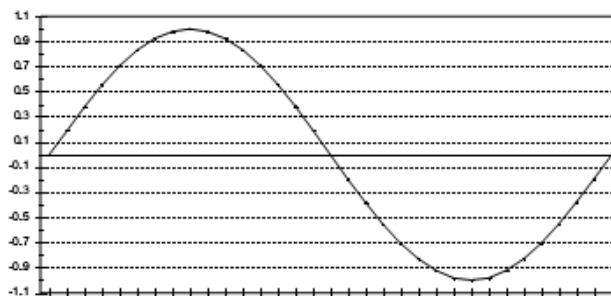
$$u_{(n)s} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(t) \sin(n\omega t) d\omega t \quad (2-2)$$

$$u_{(n)c} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(t) \cos(n\omega t) d\omega t \quad (2-3)$$

در این روابط n مرتبه n ام هارمونیک و t زمان اصلی پریود و $\omega = 2\frac{\pi}{t}$ می باشد .

فرکانس هر یک از موج های سینوسی این مجموعه ضریب صحیحی از فرکانس موج تناوبی اولیه یا پایه می باشد . هر جمله این سری بعنوان یک هارمونیک فرکانس پایه تعریف می گردد . جمله ای که فرکانس آن همان فرکانس پایه است . هارمونیک اول یا بعضی اوقات پایه نامیده می شود و جمله ای که فرکانس آن دو برابر فرکانس پایه است هارمونیک دوم و بقیه به همین صورت نام گذاری می گردند . فرکانس 60hz به این معنی می باشد که 160 بار بر ثانیه نوسان دارد شکل موج افزایش یافته تا ماکزیمم مقدار

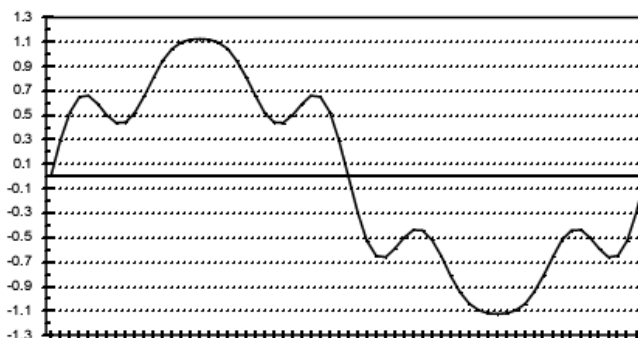
بالا رفته سپس تا صفر کاهش پیدا می کند و در ادامه این کاهش تا ماکزیمم مقدار منفی کاهش پیدا می کند و سپس دوباره به صفر برمی گردد بر آورد هر کدام از این تغییرات که اتفاق می افتد به تابعی به نام شکل موج سینوسی نشانه داده شده در شکل 2-1 بر می گردد این تابع در مقدار زیادی از آثار طبیعی اتفاق می افتد از قبیل حرکت رفت و برگشت آونگ یا ارتعاش رشته های و یلون زمانی که آنرا به صدا در آورند. فرکانس های مختلف هارمونیک به فرکانس بنیادی و اصلی وابسته می باشند .



شکل 2-1 شکل موج سینوسی پایه

برای مثال : هارمونیک دوم در یک سیستم 60hz برابر با $2 \times 60\text{hz}$ یا 120hz می باشد

هارمونیک سوم برابر $3 \times 60\text{ Hz} = 180\text{ Hz}$ و هارمونیک پنجم برابر $5 \times 60\text{ Hz} = 300\text{ Hz}$ می باشد. شکل 2-1 نشان می دهد که چگونه یک سیگنال با دو هارمونیک در اسیلوسکوپ ظاهر می شود.



شکل 2-2 جمع دو هارمونیک

در مدل کردن فرکانس های مختلف با استفاده از سری فوریه 2 پروسه مختلف وجود دارد. FFT^1 برای تبدیل فوریه پیوسته و DFT^2 برای تبدیل فوریه گسسته استفاده می شود. رابطه DFT بصورت زیر می باشد:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j 2\pi \frac{kn}{N}}$$

(2-4)

N یک عدد صحیح برای دوره T و x (n) دامنه برای هر K می باشد.

N-1 و 000 و 2 و 1 و K = 0

این روش تحلیل زمانی کاربرد درست و صحیح دارد که سیگنال ترکیب شده با سیگنال اصلی و پایه باشد و سیگنال هارمونیک در یک رنج فرکانسی که نایکتوئیت نامیده می شود قابل دسترسی باشد. برای مثال : اگر شکل موج ولتاژ شامل 60 HZ و 200 HZ باشد ، FFT تبدیل فوریه پیوسته نمی تواند فرکانس 200 HZ را تشخیص دهد ، آن تنها فرکانسهای 60- 120- 180- 240 را می شناسد. در نتیجه سیگنال 200 HZ اندکی در 180 HZ و اندکی در 240 HZ ظاهر می شود. جهت مقایسه امواج اعوجاج یافته با موج سینوسی خالص شاخص های مختلفی را تعریف کرده اند.

¹ - FFT: Frequency Fourier Transform

² - DFE: The Discrete Fourier Transform

ضریب اعوجاج کلی :

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \quad \text{ولتاژ} \quad (2-5)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}} \quad \text{جریان} \quad (2-6)$$

مقدار موثر:

$$U_{Rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt} = U_{(1)} \sqrt{1 + THD_u^2} \quad (2-7)$$

$$I_{Rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} \quad (2-8)$$

$$= I_{(1)} \sqrt{1 + THD_I^2}$$

یکی از شاخص های مهم در تعیین میزان اعوجاج هارمونیک ضریب اعوجاج کلی یا THD^3 می باشد. این ضریب که معرف میزان تمامی مولفه های هارمونیکی موجود در ولتاژ و یا جریان است حائز اهمیت می باشد و نبایستی از میزان معینی (5 درصد از شبکه های توزیع) تجاوز نماید. ضریب THD معمولاً بر حسب درصد بیان می شود.

برای مثال :

THD: -³ضریب اعوجاج کلی

$$\begin{aligned}
\text{THD} = 10\% & \Rightarrow U_{\text{rms}} = 1/005 \text{ u (1)} \\
\text{THD} = 25\% & \Rightarrow U_{\text{rms}} = 1/031 \text{ u (1)} \\
\text{THD} = 50\% & \Rightarrow U_{\text{rms}} = 1/118 \text{ u (1)} \\
\text{THD} = 100\% & \Rightarrow U_{\text{rms}} = 1/414 \text{ u (1)}
\end{aligned}$$

در ادامه بعضی از روابط مورد نیاز یادآوری می‌گردد :

توان موثر یا توان لحظه ای:

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = p_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} p_{(n)}$$

(2-9)

$$p_{(n)} = u_{(n)} i_{(n)} \cos(\varphi_{(n)})$$

(2-10)

توان راکتیو:

$$Q = Q_{(1)} + \sum_{n=2}^{\infty} Q_{(n)}$$

(2-11)

$$Q_n = U_n I_n \sin(\varphi_{(n)})$$

(2-12)

توان ظاهری:

$$S = U_{Rms} \cdot I_{Rms}$$

(2-13)

توان اغتشاش:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (2-14)$$

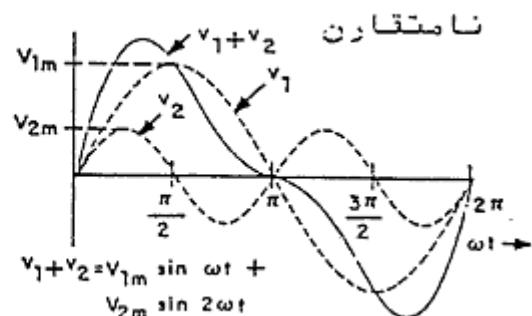
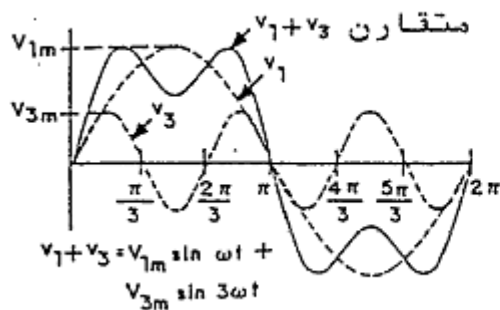
ضریب توان:

$$P_f = \frac{P}{S} \quad (2-15)$$

زاویه اختلاف فاز اصلی ، پایه:

$$\cos \varphi = \frac{P_{(1)}}{U_{(1)} \cdot I_{(1)}} \quad (2-16)$$

موجهای بدست آمده هارمونیک با توجه به فرکانس پایه 2 نوع می باشند ، موجهای متقارن و موجهای نا متقارن، موجهای متقارن تنها دارای هارمونیک فرد می باشند در حالیکه موجهای غیر متقارن علاوه بر هارمونیک های فرد دارای هارمونیک های زوج نیز می باشند. شکل زیر دو نمونه موج نا متقارن و متقارن را نشان می دهد:



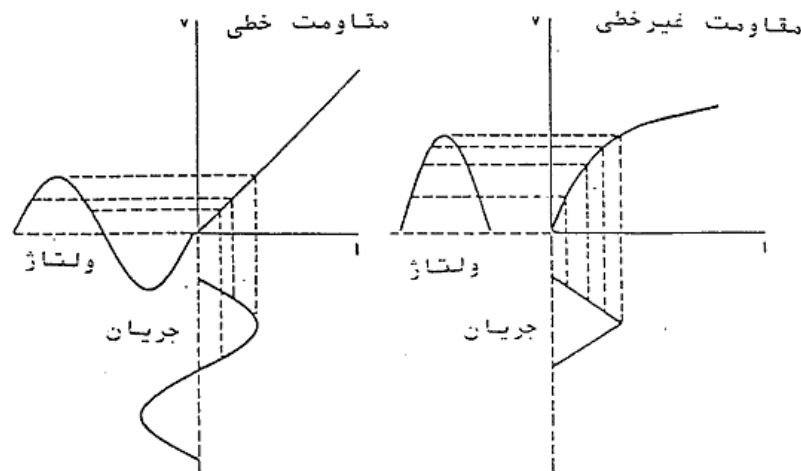
شکل 2-3 شکل موج های متقارن و نا متقارن

بیشتر وسایل و تجهیزات سیستم قدرت متقارن می باشند و در نتیجه در حالت مانا تنها هارمونیک های فرد بدون مولفه DC تولید می گردد. تقارن در اینجا بدین معنی است که وقتی جریان از یک وسیله خارج می گردد همان مشخصه را دارد که در زمان ورود

بوسیله داشته است یا به عبارت دیگر پاسخ وسیله به جریانهای مثبت و منفی یکسان است.
موارد استثنایی عدم تقارن هم در سیستم های قدرت وجود دارد که یکسو کننده ها و
اینورتر ها از این دسته هستند.

2 - منابع ایجاد هارمونیک :

علت ایجاد هارمونیک ها وجود عناصر غیر خطی در سیستم قدرت می باشند. عناصر غیر خطی جزئی از مدار الکتریکی است که در آن ولتاژ متناسب با جریان نمی باشد. این بارها باعث آسیب رساندن به شکل موج ولتاژ و جریان می شوند. در یک عنصر خطی مانند راکتور هوایی زمانی که ولتاژ مشخصی به سر آن اعمال می شود جریان معینی اندازه گیری می شود که عموماً لزومی ندارد که این جریان دارای همان شکل موج ولتاژ باشد. در هر حال اگر ولتاژ دو برابر شود جریان نیز دو برابر خواهد شد و شکل موج جریان همان نوع شکل موج قبلی را خواهد داشت. این موضوع در مورد عناصر غیر خطی صادق نمی باشد و جریان یک شکل موج متفاوتی به خود خواهد گرفت. دو مقاومت را که دارای مشخصه $V-I$ مطابق شکل (3-1) در نظر می گیریم یکی از مقاومت ها خطی است و مشخصه $V-I$ یک خط مستقیم است و دیگری یک مقاومت غیر خطی است. اگر یک ولتاژ سینوسی به هر دو مقاومت اعمال شود متوجه خواهیم شد که جریان در مقاومت غیر خطی تغییر شکل خواهد داد. این یک پدیده اساسی در ایجاد هارمونیک ها در سیستم قدرت می باشد.



شکل 3-1 مشخصه ولتاژ و جریان در مقاومت خطی و غیر خطی

غیر خطی بودن نباید با وابستگی فرکانس اشتباه شود. بعنوان مثال : امپدانس خط انتقال با تغییر فرکانس تغییر میکند ولی این امپدانس در هر فرکانس یک المان خطی است و وابستگی فرکانس باعث انحراف شکل موج نمی شود.

در یک سیستم قدرت تقریباً کلیه امپدانسهای سری خطی هستند این امپدانسها اغلب امپدانس خطوط ، کابلها و ترانسفورماتورها می باشند. عناصر غیر خطی معمولاً بصورت موازی به شبکه قدرت متصل می شوند. در مورد ترانسفورماتورها مسئله کمی فرق می کند زیرا هر دو مشخصه خطی و غیر خطی را دارا می باشند. امپدانس (اتصال کوتاه)

ترانسفورماتورها بصورت سری در مدار قرار می گیرند خطی است ، در حالیکه امپدانس مغناطیس کنندگی که بطور موازی در مدار قرار قرار گرفته غیر خطی می باشد. گرچه ژنراتورها هارمونیک تولید می کنند ولی عموماً به علت کم بودن مقدار هارمونیک های تولیدی از لیست منابع تولید هارمونیک حذف می شوند. بیشترین تولید هارمونیک در سیستم قدرت به علت وجود بارهای غیر خطی و یا تجهیزاتی است که در آنها قطع و وصل مکرر انجام می گیرد.

سه دسته عنصر غیر خطی در سیستم قدرت موجود دارد:

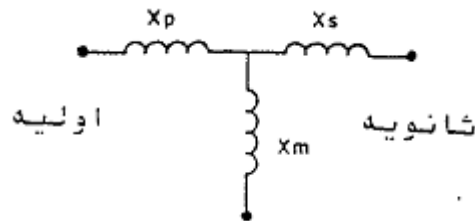
وسایل فرو مغناطیس

مبدل های قدرت الکترونیکی

تجهیزات تخلیه ای

3-1- وسایل فرو مغناطیسی :

این دسته وسایلی هستند که بر اساس وجود یک سیم پیچ در هسته آهنی ساخته می شوند. ترانسفورماتورها و موتورها عمومی ترین وسایل از این نوع هستند. خاصیت مغناطیسی موتورها بخاطر فاصله هوایی خطی تر از خاصیت مغناطیسی ترانسفورماتورها است. شکل (3-2) مدار معادل « T » موتورها و ترانسفورماتورها را نشان می دهد که معمولا اساس محاسبات و بررسی این تجهیزات است. امپدانس های سری خطی هستند ولی امپدانسهای موازی بطور فاحشی غیر خطی هستند.



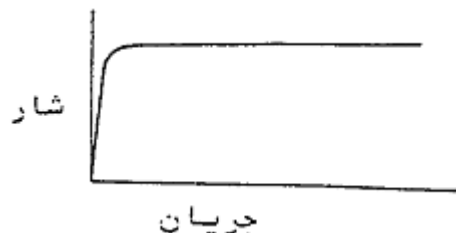
شکل 3-2 دیاگرام تك خطي مدار معادل T موتور و ترانسفورماتور

X_p امپدانس اولیه

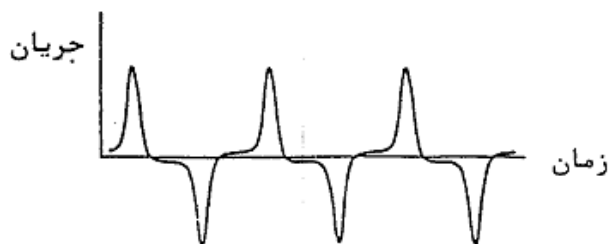
X_s امپدانس ثانویه

X_m امپدانس مغناطیس کننده (تحريك)

شکل (3-3) رابطه کلی شار مغناطیسی و جریان را برای یک ترانسفورماتور نشان می دهد. ولتاژ سینوسی در ترانسفورماتور ایجاد شار مغناطیسی سینوسی می نماید ولی موج جریان مغناطیسی با تحریک در شکل (3-4) نمایش داده شده است.



شکل 3-3 رابطه شار مغناطیسی و جریان در ترانسفورماتور



شکل 3-4 شکل موج جریان مغناطیس کنندگی

مقدار هارمونیک ها در جریان تحریک یک ترانسفورماتور نمونه بر حسب درصدی از مقدار جریان تحریک در فرکانس پایه یک ترانسفورماتور در جدول (3-1) نشان داده شده است.

جدول 3-1 مقدار هارمونیک در جریان تحریک ترانسفورماتور

مقدار هارمونیک به درصد	مرتبه هارمونیک
50	سوم
20	پنجم
5	هفتم
2/6	نهم

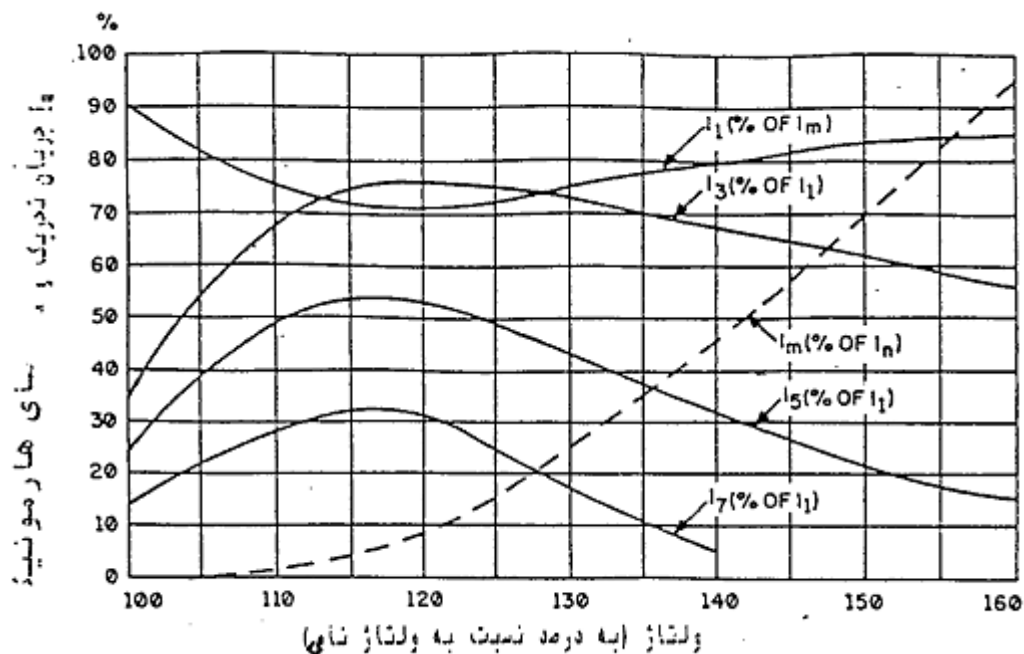
برای کاهش مقدار هارمونیک های مضرب 3 (هارمونیک های سوم و نهم و ...) در

سیستم های سه فاز سیستم قدرت از نوع اتصال مثلث بسته استفاده می شود ولی با این حال هارمونیک های پنجم و هفتم کماکان در سیستم قدرت باقی می مانند.

خوشبختانه جریان تحریک فقط 5% تا 1% میزان جریان نامی ترانسفورماتورها می باشد. در نتیجه هارمونیک های ایجاد شده توسط ترانسفورماتورها معمولاً مشکلی در سیستم قدرت بوجود نمی آورند مگر اینکه سیستم قدرت در یک هارمونیک مشخص به نوسان درآید ولی با توجه به تعداد زیاد ترانسفورماتورها در سیستم قدرت و بخصوص اینکه تعداد زیادی از آنها بار کمی دارند هارمونیک تولیدی آنها در شبکه مقدار نسبتاً قابل توجه ای است.

وقتی ولتاژ افزایش می یابد هسته مغناطیسی بیشتر اشباع شده و جریان مغناطیسی افزایش فوق العاده پیدا می کند در نتیجه مقدار هارمونیک ها نیز افزایش می یابد.

مقدار جریان تحریک ترانسفورماتور و همچنین مقدار هارمونیک های آنها وابستگی زیادی به اندازه ولتاژ اعمالی دارد شکل 5-3 زیر این موضوع را نشان می دهد.



شکل 3-5 نسبت ولتاژ و جریان تحریک به هارمونیک

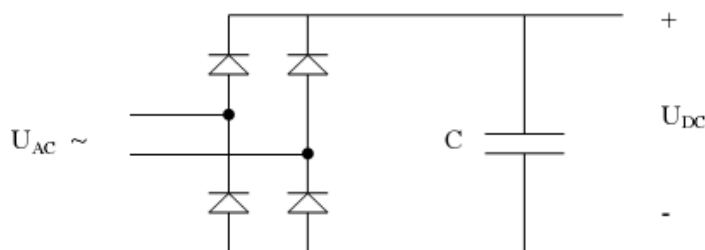
این مشکل معمولاً در زمان کم باری ترانسفورماتورها و سیستم قدرت پیش می آید که باید به آن توجه شود.

3-2- مبدل‌های الکترونیکی قدرت :

بعلت تنوع فراوان مبدل‌های الکترونیکی قدرت قرار دادن آنها در یک گروه شاید کار خیلی درستی نباشد چرا که برخی یکسو کننده ها و برخی اینورترها و بعضی از هر دو خاصیت برخوردار می باشند. یکی از منابع اصلی هارمونیک جریان اختلاف فازی است که توسط یکسو کننده ها تولید می شوند اینها اغلب مبدل های ثابتی هستند این نوع وسایل برق AC را گرفته و به DC تبدیل می کنند. بعضی از این مبدل‌ها برق AC در فرکانس های مختلف با تغییر زاویه آتش استفاده و بکار می برند. زاویه آتش مرجعی است که از آن برای کنترل ماشین ها که تعیین کننده هستند چگونه جریان هدایت و نوسانات فاز شروع و پایان یابد. نوع دیگر تبدیل کننده ها در ذوب مواد و ایجاد جریان بالا در ریخته گری و کوره

های قوس الکتریکی و بیشتر کامپیوترهای شخصی و تجهیزات جانبی و پرینترها وجود دارند. تجهیزات الکتریکی که قدرت های کم مورد استفاده قرار می گیرند از یکسو کننده ها برای تبدیل ولتاژ AC به DC در ولتاژهای مختلف استفاده می کنند. این کار با استفاده از ترانس کاهنده و دیود و خازن مانند شکل 3-6 برای قدرت های مختلف انجام می شود این توان معمولا برای سیستم های تک فاز پایین بوده و در حدود 1w تا 1kw می باشد مجموع هارمونیک و ضریب اعوجاج کلی TDH برای جریان خطی در حدود بیشتر از 100% و شامل تمام مضرب های فرکانس پایه می باشد. در بعضی موارد ضریب اعوجاج کلی TDH به 150% نیز می رسد. در سیستم تک فاز گروههایی که تاثیر گذار هستند شامل :

- 1 - تلویزیون ها
- 2 - دستگاه های ضبط ویدئو
- 3 - کامپیوتر ها
- 4 - پرینترها
- 5 - کنترل کننده های سرعت قدرت کم
- 6 - لامپ های فلورسنت
- 7 - usp^4 های کوچک

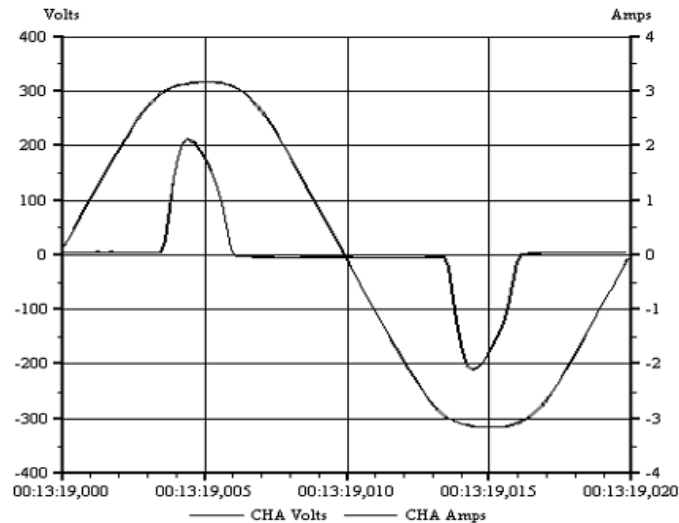


شکل 3-6 مبدل یکسو کننده

USP: ⁴منبع ذخیره ولتاژ برای مواقع اضطراری

منبع تغذیه جریان دارای خازن است مقدار ولتاژ در آن در هر لحظه وابسته به مقدار انرژی است که از منبع انرژی باقی مانده است. هنگامی که مقدار ولتاژ ورودی بیشتر از ولتاژ خازن باشد دیود می تواند جریان را به درستی هدایت کند.

شکل 3-7 شکل موج نشان داده شده مضربی مثلثی بوده و نسبت به فرکانس 60 HZ



واقعی نیست.

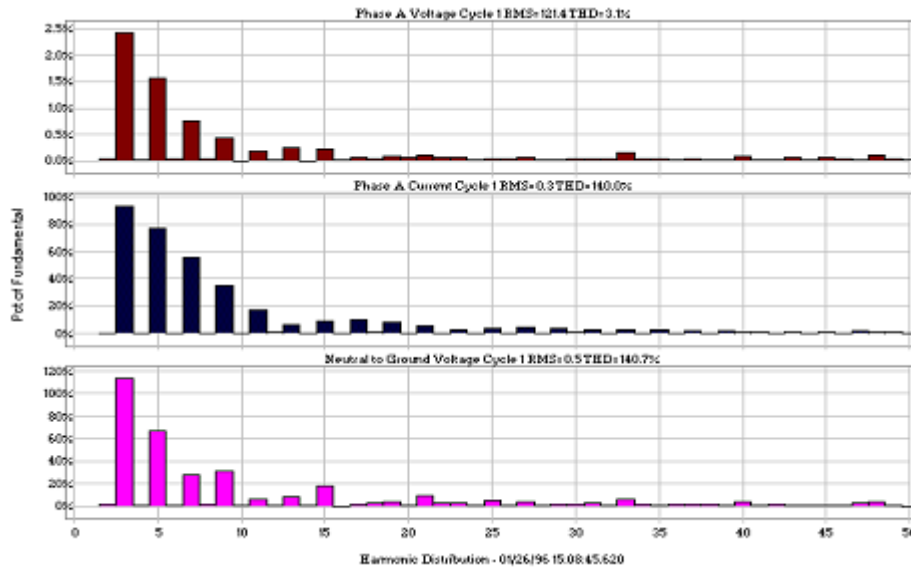
شکل 3-7 شکل موج مصرفی مثلثی

در لامپهای فلورسنت یک عنصر غیر خطی بوده و می تواند بعنوان منبع هارمونیک شناخته شود. جدول 3-2 مقادیر هارمونیک موثر در لامپ فلورسنت را نشان می دهد. هارمونیک سوم هارمونیک موثر و بیشترین تاثیر را دارد.

جدول 3-2 مقدار هارمونیک موثر در لامپ فلورسنت

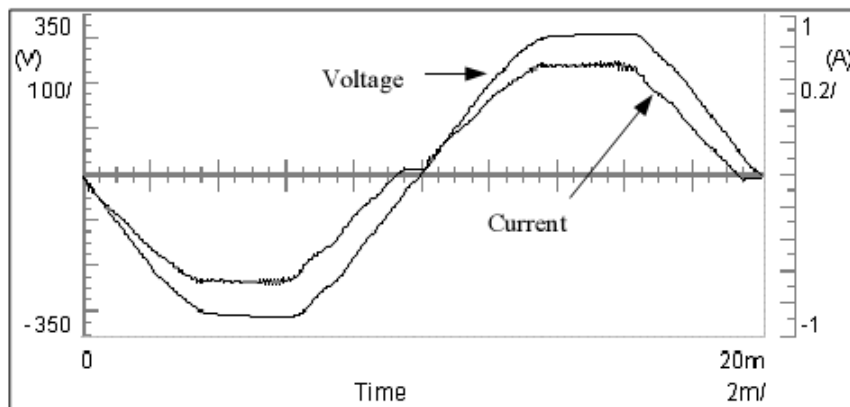
درصد هارمونیک	شماره هارمونیک
4%	2
20%	3
1%	4

5	%10
6	%1



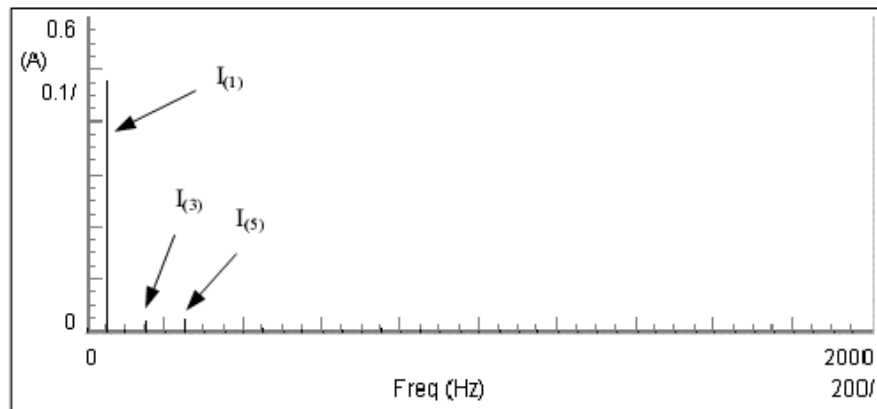
شکل 3-8 نشان دهنده طیف هارمونیک جریان نشان داده در شکل 3-7 می باشد

بعضی از وسیله ها از سلف و ترانزیستور بجای دیود برای فرکانسهای بالا استفاده می کنند یکسو کننده های متفاوتی وجود دارند برای فرکانسهای مختلف مزیتی که اینها دارند موجب می شوند که شکل موج جریان نزدیکتر به شکل موج سینوسی شود.



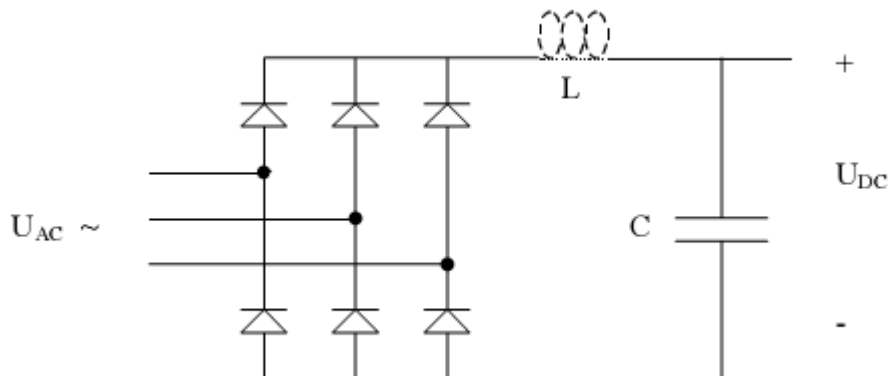
شکل 9-3 شکل موج ولتاژ و جریان

در این مثال : هارمونیک زمینه شامل اغتشاش ولتاژ و جریان می باشد و همچنین شامل هارمونیک مرتبه پایین (3 و 5 و 7) با دامنه پایین می باشد.



شکل 10-3 نمودار جریان نسبت به فرکانس

در این نوع یکسو کننده ها ضریب اعوجاج کلی THD در حدود 7% می باشد.
 بارهای سه فاز : یکسو کننده های سه فاز در توانهای بالا استفاده می شوند. در حدود MW می باشند. یکسو کننده های سه فاز مشابه تک فاز هستند.



شکل 11-3 یکسو کننده سه فاز

یکسو کننده ها می توانند توسط دیود یا ترایستور یا ترانزیستور انجام پذیرد.

برای فرکانس حدود 7 الی 8 khz از ترانزیستور استفاده می شود. برای قدرت های کمی بالاتر از خازن و برای یکسوکننده های بزرگتر از يك سلف و خازن استفاده می شود
بیشترین گروه استفاده کننده از یکسو کننده های سه فاز شامل موارد زیر می باشد:

1 - کنترل سرعت درایو ها

2 - Usp بزرگ

3 - کوره های قوص الکتریکی

4 - خطوط HVDC⁵

5 - وسایل نقلیه برقی

شکل طیف جریان شامل مضارب زوج (نه مضرب 3) می باشند، زاویه اختلاف فاز در سیم سه فاز 180 درجه در مقایسه با تک فاز متفاوت می باشد.

در تبدیل DC اگر از سلف استفاده نشود ضریب THD به 200 % افزایش می یابد اما با استفاده از سلف بزرگ این مقدار به 25 % کاهش می یابد. در ادامه یک مبدل 6 پالسه دیود و یا یکسو کننده ترستوری در بخش صنعتی را مورد بررسی قرار می دهیم.

ولتاژ ورودی 400 VAC نسبت تبدیل ترانسفورماتور $25/5/0.4KV$ و 1000KVA و

$$U_k = \%6/2$$

اتصال 11 Dyn توان اسمی در حدود 1 KW الی 75 KW سلف مورد استفاده

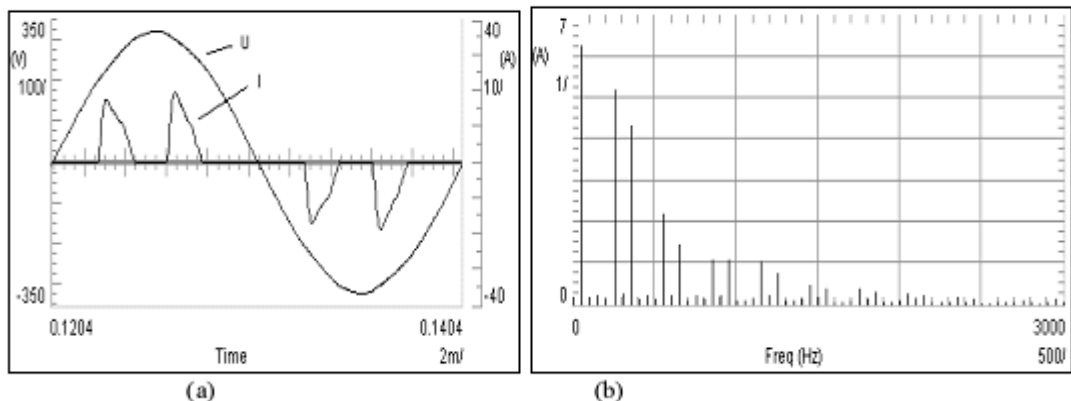
$$80L = \text{تا } MH/KW0$$

$$1100C = \text{تا } MF/KW40$$

شکل 12-3 مبدل 2/2 KW می باشد

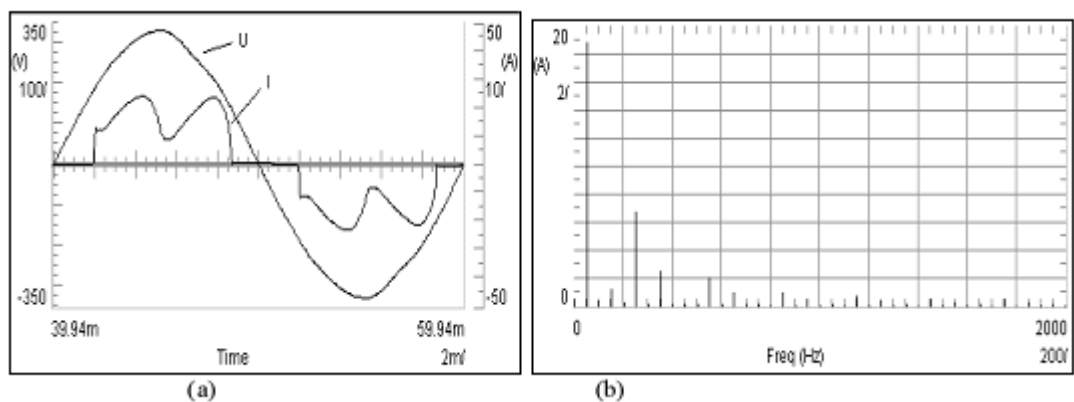
شکل موج یکسوشده موج می باشد با توجه به شکل دیده می شود که در یک نیم سیکل 2 پالس جریان ایجاد گردیده است و شکل موج ولتاژ تغییر قابل ملاحظه ای پیدا نکرده است.

HVDC-⁵ خطوط ولتاژ بالا مستقیم



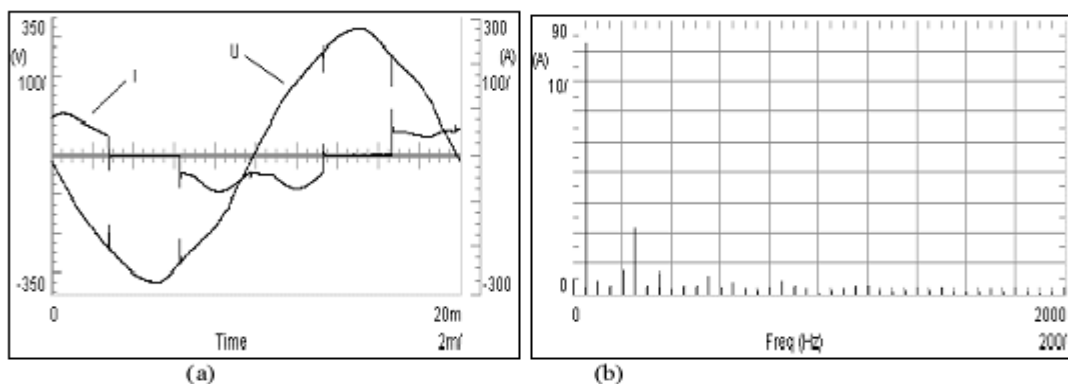
شکل 3-12 شکل موج یکسو شده توسط یکسو کننده سه فاز

در مثال بعدی شکل 3-13 توان تبدیلی 22 KW توسط یکسو کننده دیود برای استفاده در ماشین فرس می باشد. شکل موج جریان کمی صاف تر شده است اما هنوز 2 پالس را در مقابل یک پالس شکل موج ولتاژ ایجاد کرده است.



شکل 3-13 شکل موج یکسو شده برای استفاده در ماشین فرس

در مثال بعدی در شکل 3-14 نشان داده شده که جریان برای 40 KW یکسو شده توسط ترستور می باشد. جریان در حدود 90 درجه شیفت پیدا کرده است مقدار شیفت یافته با توجه به n مضرب هارمونیک $90 \times n$ می باشد.



شکل 3-14 شکل موج یکسو شده توسط تریستور

مقدار هارمونیکهای جریان در یک نمونه مبدل جریان 6 ضربه ای سه فاز در جدول 3-3 نمایش داده شده است.

جدول 3-3 مقدار هارمونیک جریان در مبدل 6 ضربه ای

مقدار هارمونیک به درصد	مرتبه هارمونیک
17/5	پنجم
11/1	هفتم
4/5	یازدهم
2/9	سیزدهم
1/5	هفدهم
1	نوزدهم
0/9	بیست و سوم
0/8	بیست و پنجم

هارمونیک سوم مقدار قابل ملاحظه ای دارد و اصولاً در اینگونه وسایل مقدار هارمونیک تا 50 درصد جریان مصرفی آنها در در فرکانس پایه می رسد.

3-3-تجهیزات تخلیه ای:

در سیستم های قدرت وسایلی که بر اساس تخلیه گازها و یا ایجاد قوس و جرقه کار می کنند فراوان وجود دارد. این وسایل شامل لامپهای فلورسنت ، لامپهای بخار سدیم و بخار جیوه و کوره های قوس الکتریکی هستند. همه اینها هارمونیک های مشابه تولید می کنند. در این گروه کوره های قوس الکتریکی با اهمیت ترین تولید کننده هارمونیک ها می باشد زیرا آنها با توجه به ظرفیت بالای خود مقدار زیادی هارمونیک در یک نقطه ایجاد می نمایند.

قوس الکتریکی در صنعت برق دارای اهمیت فوق العاده است و موارد مصرف مختلف دارد از جمله کاربردهای روشنایی ، ذوب فلزات و جوشکاری را می توان نام برد. بارهای سنگینی چون کوره های قوس ، پمپ ها و موتورهای باعث افزایش تغییرات نوسانی ولتاژ در شبکه می شوند. در بیشتر حالتها این تغییرات ولتاژ با فرکانس پایین تکرار می شوند که به این پدیده فیلکر می گویند. به منظور بررسی فیلکر ولتاژ ناشی از قوس الکتریکی رابطه زیر در نظر گرفته می شود.

$$V_T(i) = V_M(i).[1 + F(t)] \quad (3-1)$$

در این رابطه $V_T(i)$ ولتاژ مدوله شده با فیلکر می باشد.

$V_M(i)$ نیز ولتاژ نمونه برداری شده وابسته به جریان می باشد.

$F(t)$ نیز تابع فیلکر می باشد.

اگر فیلکر به صورت سینوسی تغییر کند این تابع به صورت رابطه زیر می باشد:

$$F(t) = K.\sin \omega_f t \quad (3-2)$$

اگر فیلکر ایجاد شده به صورت تصادفی تغییر کند رابطه مطابق (3-3) خواهد شد:

$$F(t) = K.N(t) \quad (3-3)$$

در حالتی که ولتاژ و جریان سه فاز در سیستم قدرت اختلاف فاز 120 درجه نداشته باشند شاخص عدم تعادل ولتاژ و جریان مطرح می گردد. با توجه به اینکه کوره های قوس الکتریکی عدم تعادل را در سیستم های قدرت ایجاد می کنند لذا لازم است این مبحث به طور کامل مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. (به بخش 4 مراجعه شود)

(X_a, X_b, X_c) را می توان به سه دسته متعادل

(X_0, X_1, X_2) تجزیه نمود که توالی صفر و مثبت و منفی نامیده می شوند. بنابراین

شاخص عدم تعادل بصورت نسبت بین ولتاژ مولفه منفی به مولفه مثبت معرفی می شود.

یعنی :

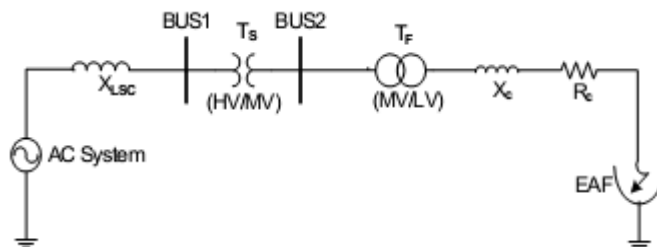
$$X_x = \frac{|X_2|}{|X_1|} \times 100$$

(3-4)

مدل سازی سیستم توزیع با بار دارای قوس الکتریکی :- 4-3

در شکل 3-15 دیاگرام تك خطي زیر فرض می شود سیستم توزیع دارای باری نظیر کوره قوس الکتریکی می باشد. در این شکل باس 1 بیانگر نقطه اتصال مشترک می باشد که در حقیقت باس تغذیه کننده اصلی ترانسفورماتور کوره می باشد. برای تغییر دادن توان $(MV/LV)T_F$ استفاده می شود. این

ترانسفورماتور دارای تب چنجر بوده که با استفاده از آن می توان ولتاژ کوره را تغییر داد.



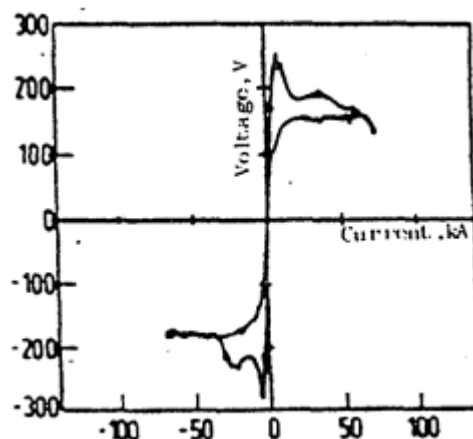
شکل 3-15 دیاگرام تك خطي

در این شکل مقادیر R_c, X_c اندوکتانس و مقاومت خطوط انتقال (کابلها) و بین الکترودهای کوره می باشند همچنین X_{Lsc} راکتانس اتصال کوتاه در باس pcc می باشد. با توجه به مقادیر زیر اثر قوس الکتریکی بر سیستم قدرت شکل 3-15 مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرد.

$$R_c = 0.4m\Omega \quad X_c = 2.356m\Omega \quad X_{Lsc} = 9.4245\Omega$$

$$F_{sys} = 50Hz$$

با توجه به مقادیر فوق و در نظر گرفتن شکل 3-16

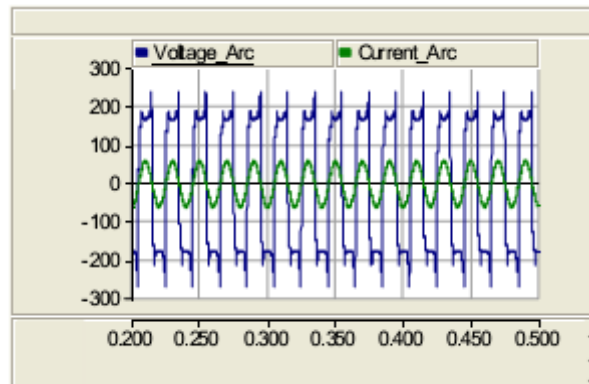


شکل 3-16 رابطه بین ولتاژ و جریان يك قوس الکتریکی در حالت واقعی و در فرکانس 50 هرتز

مشخصه ولتاژ – جریان قوس الکتریکی در شکل 3-17 نشان داده شده است . همچنین منحنی های تغییرات ولتاژ و جریان قوس در شکل 3-18 نشان داده شده است.

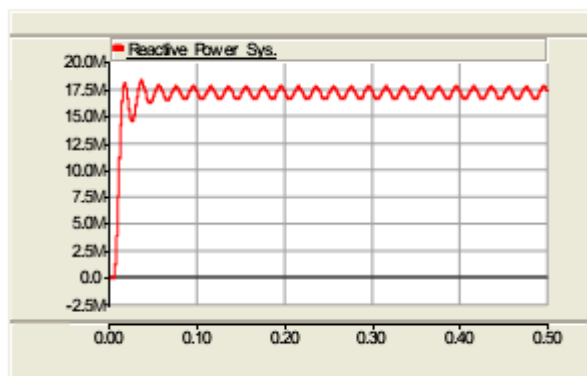


شکل 3-17 منحنی مشخصه ولتاژ – جریان قوس الکتریکی

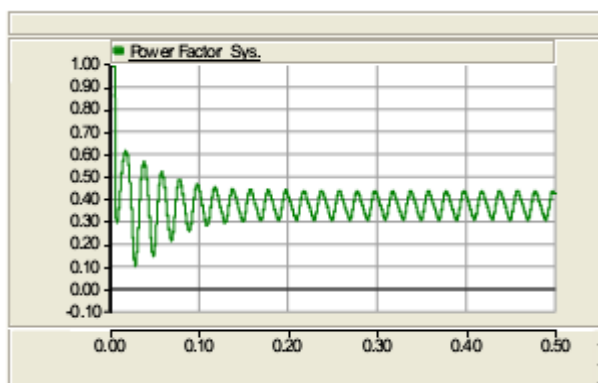


شکل 3-18 منحنی ولتاژ و جریان قوس الکتریکی

در سیستم های قدرت به خصوص در سیستم های توزیع ، توان راکتیو و ضریب توان یکی از مهمترین پارامتر های مورد بررسی هستند در این راستا شکل 3-19 و میزان تغییرات توان راکتیو در باس اصلی سیستم را نشان می دهد از طرفی شکل 3-20 نیز تغییرات ضریب توان را در این باس نشان می دهد .

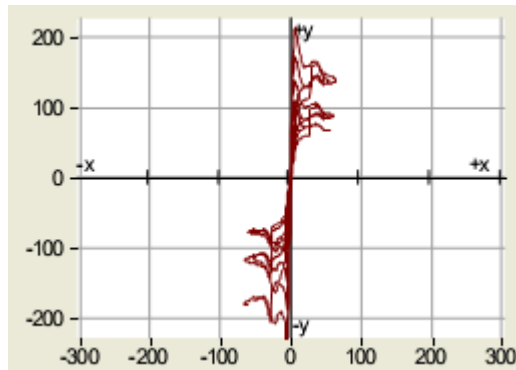


شکل 3-19 منحنی تغییرات توان راکتیو در باس اصلی سیستم

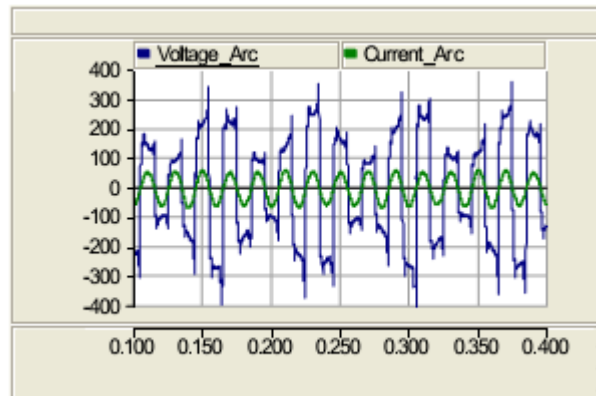


شکل 3-20 منحنی تغییرات ضریب توان در باس اصلی سیستم

با توجه به رابطه فیلکر ولتاژ سینوسی منحنی مشخصه ولتاژ – جریان بدست آمده بصورت شکل 3-21 و 3-22 می باشد .



شکل 3-21 منحنی ولتاژ-جریان قوس الکتریکی در حالت فلیکر سینوسی



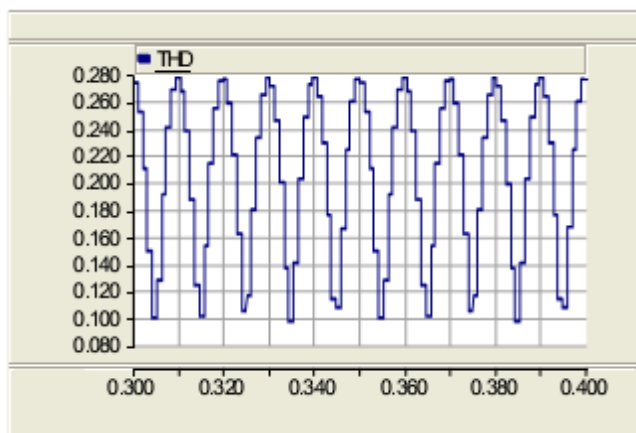
شکل 3-22 منحنی ولتاژ و جریان قوس الکتریکی در حالت فلیکر

جدول 3-4 میزان هارمونیک های ایجاد شده در ولتاژ باس pcc

هارمونیک	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7
← ↓ حالت							
عدم تعادل	۱۳۷,۶۵	۲۵,۹۵	۱۶,۰۳	۱۲,۲۱	۱۰,۲۸	۱۰,۱۰۷	۱۳,۵۸
فلیکر سینوسی	۱۳۵,۶۷	۲۱,۸۶	۱۵,۲۶	۱۱,۶۱	۹,۶۱	۹,۶۰۱	۱۲,۹۳
فلیکر تصادفی	۱۳۶,۸۹	۲۲,۰۱	۱۶,۰۵	۱۳,۵۴	۱۰,۰۱	۹,۸۱	۱۳,۶۸

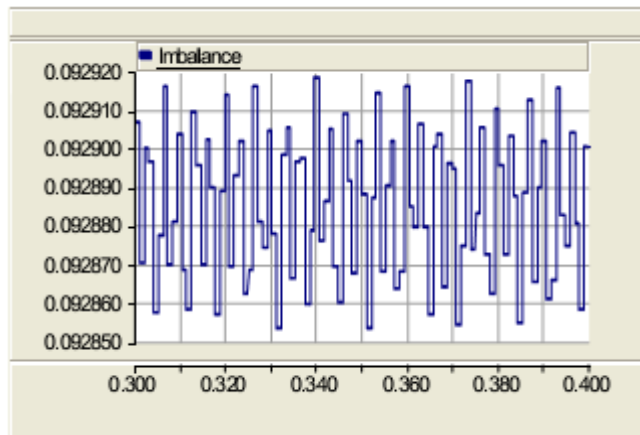
با توجه به جدول (3-4) :

مشاهده می شود که هارمونیک زوج نیز در سیستم تغذیه ایجاد می شوند این موضوع باعث می شود تا تحلیل این سیستم بسیار دقیقتر شود و به حالت واقعی نزدیکتر شود که میزان THD ولتاژ فاز a باس pcc در شکل 3-23 نشان داده شده است همچنین میزان شاخص عدم تعادل ولتاژ این باس نیز در شکل 3-24 آورده شده است .



شکل 3-23 میزان تغییرات THD در ولتاژ باس pcc





شکل 24-3 میزان تغییرات شاخص عدم تعادل در ولتاژ باس pcc

با توجه به تحلیل هارمونیک در سیستم قدرت مشاهده می شود که کلیه هارمونیک های ایجاد شده توسط کوره قوس در باس اصلی تغذیه کننده اثر می گذارند . از طرفی در می یابیم که زمانی باری دارای قوس الکتریکی باشد باعث می شود ضریب توان در سیستم کاهش یابد و به دنبال آن باعث افزایش تلفات و کاهش بازده در کل سیستم گردد . در جدول 3-5 مقدار هارمونیک های جریان در یک دستگاه تخلیه ای یکفاز نشان داده شده است .

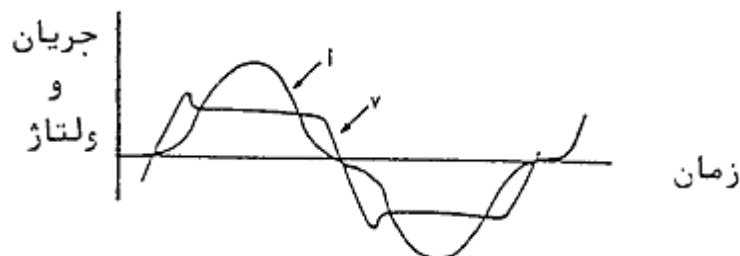
جدول 3-5 مقدار هارمونیک در مرتبه آن در دستگاه تخلیه ای تک فاز

مرتبه هارمونیک	مقدار هارمونیک ها	در دستگاه تخلیه های سوم و نهم
سوم	15	
پنجم	4	
هفتم	1/5	
نهم	1	

سه فاز متعادل هارمونیک حذف شده وجود ندارد .

ولی در رابطه با بررسی و مطالعه کوره های سه فاز بخاطر وجود عدم تعادل شدید بار در طول ذوب همیشه این هارمونیک ها را در نظر می گیرند .

همچنین هارمونیک های زوج ممکن است در کوره های قوسی که بخاطر عمل ایجاد قوس شدید و ناهماهنگ که ایجاد جریان نامتعادل در قسمت مثبت و منفی سیکل جریان می نمایند یافت می شوند .



شکل 25-3 شکل موج ولتاژ و جریان برای یک کوره قوس الکتریکی

3-5- منابع جدید تولید هارمونیک ها :

با پیشرفت تکنولوژی شبکه قدرت با منابع جدیدی که ایجاد هارمونیک می کند روبرو می باشد .

تعدای از منابع جدید هارمونیک شناخته شده اند و در همگی آنها از تکنولوژی قطع و وصل الکترونیکی و کنترلرهای میکروپروسسوری استفاده می گردد . با پیش بینی استفاده این وسایل در صنعت و همچنین تاکید در صرفه جویی انرژی انتظار می رود که در آینده مسئله هارمونیک های این وسائل در سیستم های قدرت مسئله قابل ملاحظه ای باشد . تمهیدات لازم برای صرفه جویی انرژی مانند ساخت موتور های برقی با راندمان بالا و همچنین متعادل کننده های بار که معمولا در آنها از نیمه هادی های قدرت در راه اندازی و قطع استفاده می شوند . این دستگاه ها اغلب ولتاژهای نامنظم و شکل موجهای جریانی را که مملو از هارمونیک ها هستند تولید می کنند .

- دستگاه های کنترل کننده موتور ها همانند کنترل کننده های سرعت ماشینها ، قطار

های برقی و وسایل حمل و نقل

- صرفه جویی انرژی و کنترل موتورها

- سیستم انتقال جریان مستقیم با ولتاژ بالا و همچنین پستهای تبدیل سیستم AC به DC

- اتصال نیروگاه های انرژی خورشیدی و بادی به سیستم توزیع
- جریان کننده های بار راکتیو استاتیکی که بطور وسیعی جایگزین کندانسور های سنکرونی می شوند .
- گسترش استفاده از وسائل نقلیه برقی که نیاز شدیدی به مقدار برق یکسو شده برای شارژ باطریها دارند .
- استفاده احتمالی از دستگاه های تولید برق مستقیم مانند : نیروگاه های سلول سوختی (full cell) و باطری های ذخیره کننده که احتیاج به مبدل های قدرت جریان مستقیم به جریان متناوب دارند (Dc به Ac)
- مبدل های فرکانس مورد استفاده در ماشین های سرعت کم و گشتاور زیاد
- انتقال برق به صورت جریان مستقیم با ولتاژ فشار قوی
- مصرف برق وسایل حمل و نقل
- یکسو سازی برای شارژ نمودن باطری
- مبدل های کاهنده فرکانس (سیکلوکانورتر)
- مدولاسیون ضربه ای منقطع (PBM) :
- منابع تغذیه غیر معمول انرژی در سیستمهای توزیع
- صرفه جویی انرژی و کنترل موتور ها :
- موتورهای الکتریکی مصرفی حدود 60 درصد کل مصرف برق کشورهای پیشرفته را دارند و 40 درصد این مصرف در موتورهای صنعتی است . نود درصد موتورهای الکتریکی بین 1 تا 150 کیلو وات دارند و معمولاً در فن ها ، پمپ ها و دمنده ها و تولید فلزات بکار می روند در نتیجه لازم است جهت صرفه جویی انرژی به راندمان موتورهای القایی و سابی که موتور ها آنها به حرکت در می آورند توجه شود .
- بهبود طراحی موتور جهت افزایش راندمان :
- این مورد باعث افزایش هارمونیک نمی گردد .
- تطبیق قدرت خروجی مورد نیاز مکانیکی با تنظیم قدرت ورودی الکتریکی :
- روش مستقیم تطبیق بار خروجی ورودی ، تبعیت ورودی موتور از خروجی آن می باشد
- این سیستم به موتور اندوکسیونی با تغییر دهنده ولتاژ با سرعت نیاز دارد .

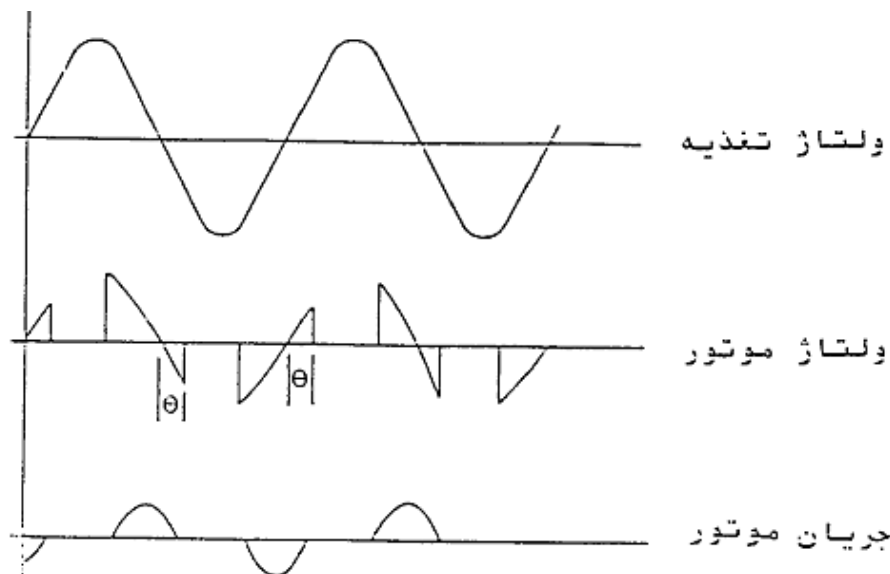
این مورد هارمونیک تولید می کند .

هارمونیک های تولید شده توسط این سیستم مانند هارمونیک های یکسو کننده های دارای کنترل فاز می باشد .

کنترل ضریب قدرت موتور :

ضریب قدرت موتور در بی باری 17% و در بار داری 9% می باشد . تحقیقات نشان می دهد که بیشترین امکان صرفه جویی انرژی در حالت بی باری موتور وجود دارد . کنترل کننده ضریب قدرت همواره ضریب قدرت موتور را محاسبه و با بریدن موج ولتاژ ضریب قدرت را ما کزیمم و تلفات را مینیمم می نماید و با اصلاح ضریب قدرت در حالت بی باری تلفات سیستم توزیع برق نیز کاهش می یابد که خود صرفه جویی دیگر است

شکل 3-26 شکل موج ولتاژ و جریان حاصل از کارکرد کنترل کننده ضریب قدرت را نشان می دهد .



شکل 3-26 شکل موج ولتاژ و جریان مصرفی موتور

هر دو موج دارای هارمونیک می باشند . اگر چه اینگونه کنترل کننده های ضریب قدرت بنام ثابت نگهدارنده ضریب قدرت موسوم می باشند ولی ضریب قدرت واقعی بعلت اضافه شدن هارمونیک ها ثابت نمی ماند و تغییر می کند .

مصرف برق وسایل حمل و نقل :

ایجاد سیستم های حمل و نقل سریع و همچنین بهبود سیستم راه آهن ها همواره با برقی کردن آن همراه است . تغذیه یکسو کننده های این سیستم ها از شبکه برق باعث ایجاد هارمونیک ها در شبکه می گردد که ممکن است مسئله ساز باشند . در مورد مصرف برق وسایل حمل و نقل مشکل هارمونیک حاصل از استفاده از تکنولوژی حالت جامد و کنترل موتور ها هم وجود دارد . در گذشته مشکل اصلی وسایل حمل و نقل برقی در لحظه شروع بکار آنها و افت ولتاژ ناشی از آن بوده است در حالیکه مشکلات جدید تنها در شرایط گذاری راه اندازی نبوده و بلکه مشکل پایدار وجود هارمونیک ها در حالت کار عادی وسایل حمل و نقل می باشد .

انتقال برق به صورت جریان مستقیم با ولتاژ فشار قوی :

انتقال قدرت به صورت ولتاژ فشار قوی بصورت جریان مستقیم را می توان بصورت یک منبع هارمونیک های جریان در نظر گرفت .

منابع تغذیه غیر معمول انرژی در سیستمهای توزیع :

در آینده نه چندان دور امکان نصب دستگاه های ذخیره انرژی به ظرفیت 5 تا 10 مگا وات همراه با مسقلاات تبدیل AC به DC در پست های برق سیستم فوق توزیع پیش بینی می گردد .

در ضمن یکسو کننده های یکفاز و سه فاز با ظرفیت کمتر از 10 کیلو وات در فیدر های توزیع کاربرد خواهد داشت . در نتیجه امکان تداخل های الکتریکی ناشی از هارمونیک به خصوص در فرکانس بالا وجود خواهد داشت. کاربرد انرژی های نو مانند باد ، انرژی خورشیدی ، سلول های سوختی (fuel cell) و یا با طری های پیشرفته در شبکه های قدرت به هنگامی که تبدیل AC به DC مورد نیاز است باعث افزایش هارمونیک های جریان ولتاژ با اندازه زیادی در سیستم قدرت می شود . بنابراین رعایت تطبیق هماهنگی در استفاده از این نوع انرژی ها جهت کاهش تداخل هارمونیک ها لازم است مورد توجه قرار گیرد .

یکسو سازی برای شارژ نمودن باطری :

تا آخر قرن بیستم سیستم ممکن است اتومبیل های برقی قسمتی از بار شرکت های برق را تشکیل دهند و با توجه به اینکه جریان تغذیه شارژ کننده باطریها غیر سینیوسی است و در نتیجه هارمونیک های زیادی را تولید نمایند که ممکن است باعث مشکل کردند .

مبدل های کاهنده فرکانس (سیکلوکانورتر) :

مبدل های کاهنده فرکانس بخوبی جای خود را در صنایع باز کرده اند . آنها دستگاه های مطمئنی هستند که طیف وسیعی از کاربردها را دارند، آنها در دستگاه های پنبه پاک کنی، موتور های خطی تولید کننده های قدرت راکتیو استاتیکی بکار می روند . در آسیابهای بزرگ نیز از مبدل های فرکانس با ظرفیت بالای 8 مگا ولت آمپر استفاده می گردد .

هارمونیک های تولید شده توسط مبدل های فرکانس مشخصات مخصوص به خود را دارند و مانند هارمونیک های تولید شده توسط یکسو کننده ها نیستند .

فرکانس هارمونیک های یکسو کننده با P ضربه (پالس) از رابطه زیر بدست می آید .

$$F = (p.n \pm 1) f \quad (3-5)$$

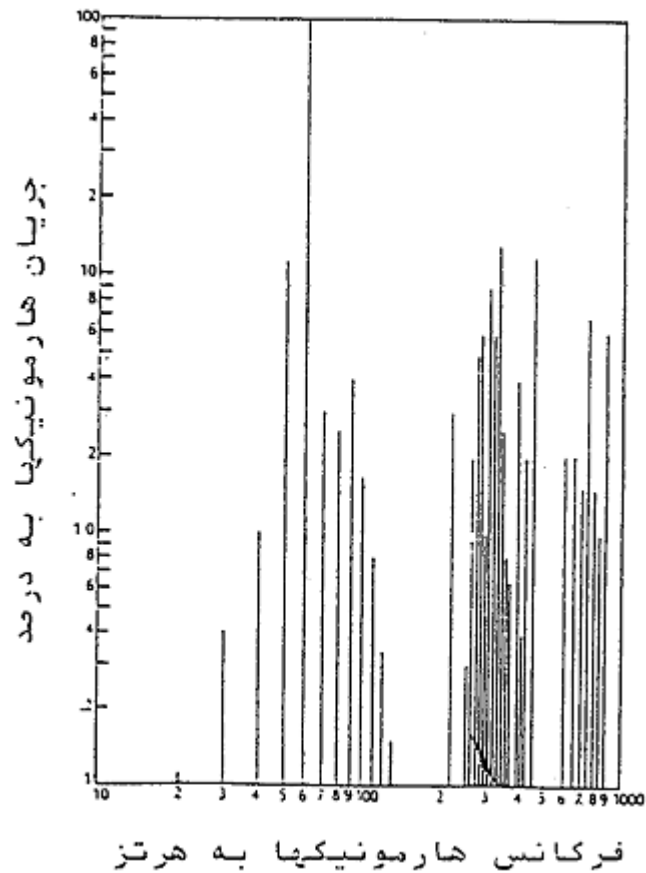
که f فرکانس اصلی و p تعداد ضربه یکسو کننده و n برابر 1 و 2 و 3 و می باشد .

مشخصه فرکانس هارمونیک های مبدل های فرکانس از رابطه زیر محاسبه می گردند .

$$F = (p.m \pm 1) f + 6n f_0 \quad (3-6)$$

که f_0 فرکانس خروجی مبدل فرکانس و m برابر 1 و 2 و 3 و می باشند

شکل 3-27 یک مبدل فرکانس با خروجی سه فاز شش ضربه ای با فرکانس 60 Hz و فرکانس خروجی 5 Hz را نشان می دهد .



شکل 3-27 مبدل فرکانس با خروجی سه فاز شش ضربه ای

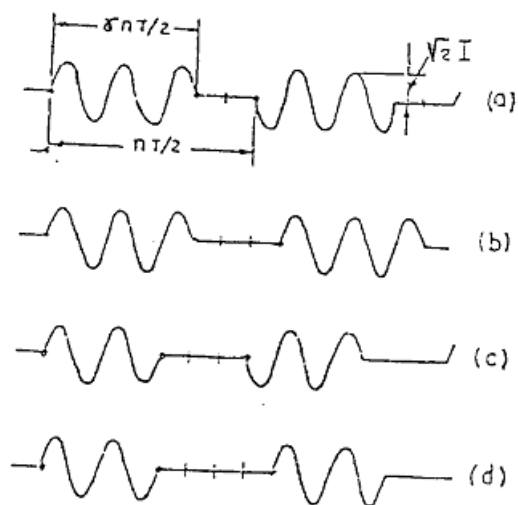
بار نامتعادل و همچنین غیر متقارن بودن ولتاژها و زاویه آتش باعث ایجاد هارمونیک های که بنام هارمونیک های غیر مشخصه است می گردد .
فرکانس این هارمونیک ها برابر

$$F = (p.m \pm 1) + 2n f_0 \quad (3-6)$$

مدولاسیون ضربه ای منقطع (PBM) :

روش مدولاسیون ضربه ای منقطع (PBM) جهت کنترل بار قطع و وصل مدارات بکار می روند . روش کار در این سیستم به این صورت است که ترسیاتور سیستم کنترل برای چند نیم سیکل بصورت نیم سیکل بصورت پیوسته جریان را هدایت و برای چند نیم سیکل بعدی جریان را بلوک یا قطع می نماید و این موضوع بصورت تناوبی ادامه پیدا می کند . معمولاً مجموع کل نیم سیکل های هدایت و قطع را با N و تعداد نیم سیکل های هدایت در هر بریود مدولاسیون ضربه ای منقطع را بالا نشان می دهد .

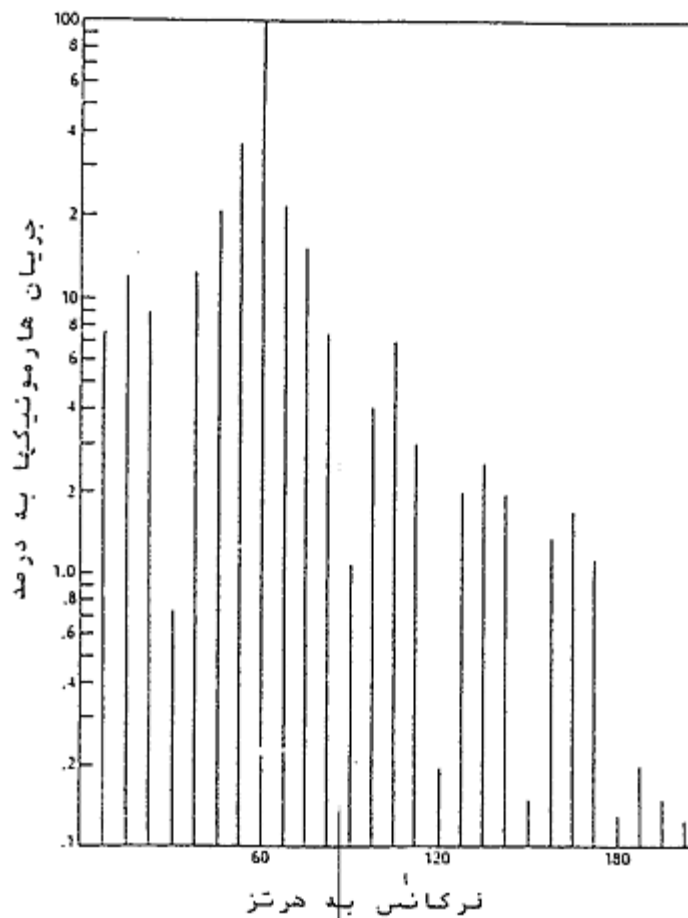
شکل 3-28 شکل خروجی چهار نوع مختلف موجود مدولاسیون ضربه ای منقطع را نشان می دهد .



شکل 3-28 مدلهای مختلف مدولاسیون ضربه ای

کاربرد این سیستم در کوره های قوس و ماشینهای نقطه جوش و گرمکن قالبگیر ها می باشد .

سیستم های کنترل PBM با ولتاژ های تا 2000 ولت برای کنترل کوره های قوسی 2 مگا ولت ساخته شده و مورد استفاده قرار می گیرند . جریان تولید سیستم PBM عملاً فاقد هارمونیک های با فرکانس بیشتر از 150 Hz (بالاتر از هارمونی سوم) می باشد و معمولاً اختلالی روی دستگاه های رادیو ، تلویزیون و تلفن ندارد و شکل 3-29 هارمونیک های تولید شده در مورد یک کنترل کننده PBM را نشان می دهد .



شکل 3-29 هارمونیک تولیدی در یک کنترل کننده PBM

مطالعات نشان می دهد که سیستم PBM سر فاز مولفه جریان DC (هارمونیک صفر) به شبکه تزریق می نماید. که البته عملکرد نادرست رله های حفاظتی و اشباع شدن ترانسفورماتور های جریان شبکه می گردد همچنین این سیستم ممکن است باعث عبور جریانهای زیاد ضربه ای در سیم های نوترال نیز می گردد .

4- اثرات هارمونیک :

فرض می کنیم یک جریان هارمونیکی از یک شبکه توزیع سه فاز مدل شده عبور نماید. برای یک شبکه n تینه تلفات اکتیو (P_L) برای هر مرتبه هارمونیک بیان می شود برابر با مجموع تلفات اکتیو تزریقی است.

$$P_L = \sum_{n=1}^n P_n$$

(4-1)

P_n تلفات اکتیو تزریقی به شینه n ام از رابطه 3 محاسبه می شود:

$$P_n = R_e (\sqrt{3} V_n e^{j\theta_{v_n}} (I_n \cdot e^{j\theta_{i_n}})^*)$$

(4-2)

$$P_n = \sqrt{3} V_n I_n \cos(\theta_{v_n} - \theta_{i_n})$$

3(4-)

معادله 3-4 نشان می دهد اطلاعاتی درباره دامنه و فاز جریان و ولتاژ هارمونیکی منبع تغذیه و بار هر باس برای محاسبه تلفات اکتیو با هر مرتبه هارمونیک مورد نیاز می باشد. بطور کلی تلفات اکتیو از رابطه 4 بدست می آید.

$$P_L = RI_{Rms}^2 = R \left[\sum_{n=1}^{n_{max}} I_n \right] = RI^2 + R \sum_{n=1}^{n_{max}} I_n^2 \quad (4-4)$$

$$R \sum_{n=2}^{n_{max}} I_n^2, P_L^{FND}$$

RI_1^2 مربوط به تلفات اکتیو هارمونیک اصلی می باشد

هارمونیک اکتیو می باشد.

$$\frac{P_L^H}{P_L^{END}} = \frac{R \sum_{n=1}^{n_{max}} (I_n)^2}{R \cdot I_1^2} = \frac{\sum_{n=2}^{n_{max}} I_n^2}{I_1^2} \quad (4-5)$$

در یک محیط هارمونیک رابطه بین جریان هارمونیک و جریان فرکانس اصلی مطابق رابطه 4-7 می باشد:

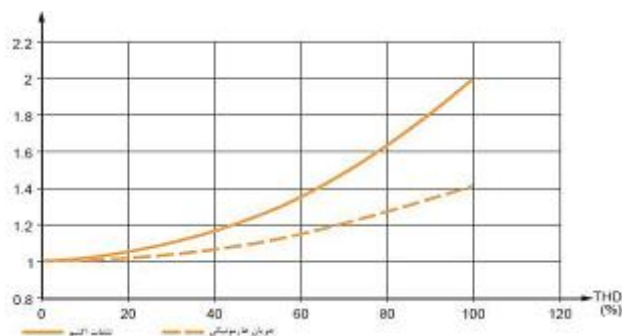
$$THD = \sqrt{\left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2 - 1} \quad (4-6)$$

$$I_h = I_1 \sqrt{(1 + THD^2)} \quad (4-7)$$

با جایگزینی معادله 4-7 در 4-5 رابطه بین تلفات اکتیو اصلی و تلفات هارمونیک بصورت ذیل ارائه می گردد:

$$\frac{P_L^H}{P_L^{FND}} = 1 + THD^2 \quad (4-8)$$

به عبارت دیگر هرچه THD بیشتر باشد تلفات در حالت تغذیه هارمونیک نسبت به تلفات با موج سینوسی خالص بیشتر خواهد بود. تلفات توان اکتیو متناسب با جریان اصلی می باشد. لذا در حالتی که جریان هارمونیک از باری کشیده شود، مقدار جریان و ولتاژ هارمونیک از حالت اصلی بیشتر می شود شکل 4-1 نشان می دهد با افزایش THD مقدار جریان هارمونیک و تلفات اکتیو افزایش می یابد.



شکل 4-1 نسبت THD به مقدار جریان هارمونیک

وجود هارمونیک باعث می شود ادارات و کارخانجات نتوانند کار خود را بدرستی انجام دهند اثر هارمونیک در مدار سه فاز بصورت افزاینده ای در نول اثر می کنند. ولتاژ و جریان پایه در یک سیستم سه فاز متعادل بصورت زیر می باشد:

$$i_R(t) = i(t)$$

(4-9)

$$i_S(t) = i(t - \frac{T}{3})$$

(4-10)

$$i_T(t) = i(t + \frac{T}{3})$$

(4-11)

در نتیجه شیفیت یافته در اثر هارمونیک بصورت زیر می باشد:

$$i_{R(n)}(t) = \sqrt{2}I_{(n)} \cos(n2\pi f_0 t + \varphi_{(n)})$$

(4-12)

$$i_{s(n)}(t) = \sqrt{2}I_{(n)} \cos(2n\pi f_0 t + \varphi_{(n)} - n\frac{2\pi}{3})$$

(4-13)

$$i_{T(n)}(t) = \sqrt{2}I_{(n)} \cos(2n\pi f_0 t + \varphi_{(n)} + n\frac{2\pi}{3})$$

(4-14)

برای مثال : روابط هارمونیک هفتم بصورت زیر می باشد:

$$i_{R(7)}(t) = \sqrt{2}I_{(7)} \cos(7 \times 2\pi f_0 t + \varphi_{(7)})$$

(4-15)

$$i_{s(7)}(t) = \sqrt{2}I_{(7)} \cos(7 \times 2\pi f_0 t + \varphi_{(7)} + \frac{2\pi}{3})$$

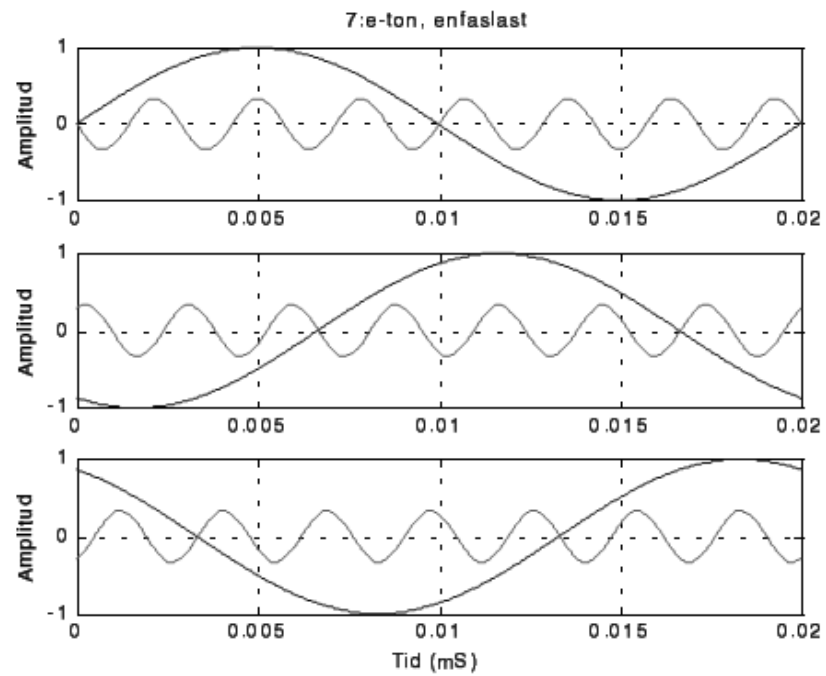
(4-16)

$$i_{T(7)}(t) = \sqrt{2}I_{(7)} \cos(7 \times 2\pi f_0 t + \varphi_{(7)} - \frac{2\pi}{3})$$

(4-17)

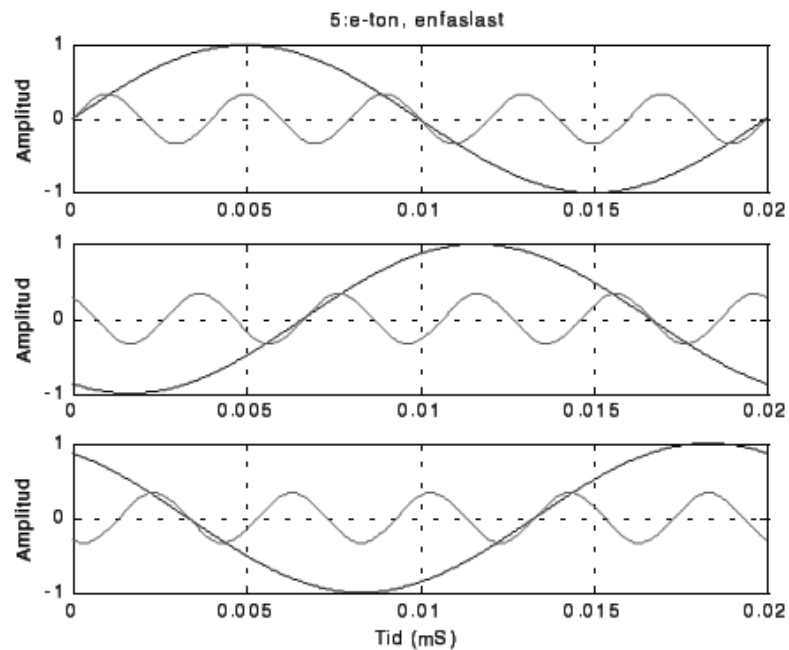
در دو شکل 4-2 و 4-3 هارمونیک 7 و 5 یک بار غیر خطی تک فاز نشان داده شده است:





شکل 4-2 هارمونیک 7

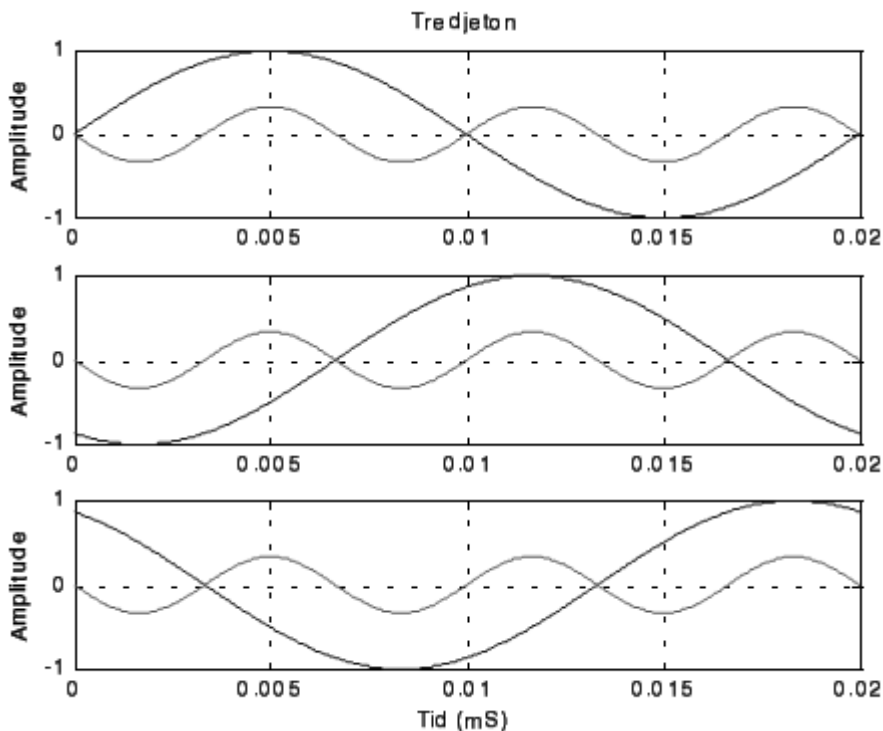
شکل



شکل 4-3 هارمونیک 5

برای یک سیستم سه فاز زاویه فاز 180 درجه شیفت پیدا می کند. برای هر دو هارمونیک 5 و 7 این مسئله صادق است.

شکل 4-4 هارمونیک سوم را در مرتبه سه می باشد:



شکل 4-4 هارمونیک 3

مرتبه سه برای هارمونیک نشان داده شده در شکل 4-4 تنها برای یک بار غیر خطی و تک فاز می باشد.

و 000

مرتبه مثبت فرکانس:

13 و 10 و 7 و 4 و 1

و 000

مرتبه منفی فرکانس:

14 و 11 و 8 و 5 و 2

و 000

مرتبه صفر فرکانس:

15 و 12 و 9 و 6 و 3

مرتبه صفر سه گانه نیز نامیده می شود.

در مرتبه و فرکانس مثبت فازها T و S و R (c و b و a) و در مرتبه منفی T و S و R

(c و b و a) می باشد. در مرتبه صفر سه فاز زاویه یکسان دارد.

شرایط غیر بالانس نا متقارن سیستم :

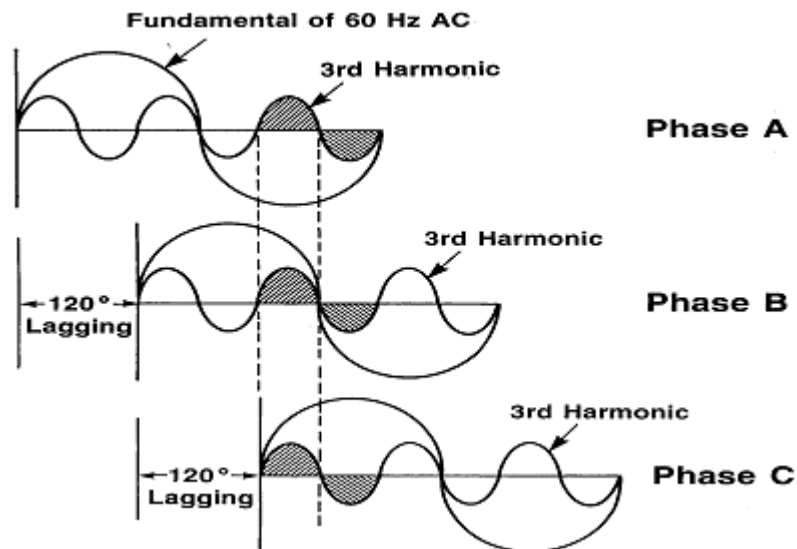
هنگامی که بار نا متقارن یا سیستم قدرت نا متقارن باشد تمام هارمونیک ها می تواند شامل مولفه های مرتبه های مختلفی شوند.

$$a = e^{j120^\circ} \quad \begin{bmatrix} U_{1(n)} \\ U_{2(n)} \\ U_{3(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{R(n)} \\ U_{S(n)} \\ U_{T(n)} \end{bmatrix}$$

(4-18)

در بیشتر قضیه اجزاء متقارن برای هر هارمونیک حکم فرما می باشد. اما برای هارمونیک سه گانه این می تواند بر حسب تنها اجزا مثبت و منفی می باشد. گردش بیش از حد هارمونیک در سیستم 3 فاز بصورت افزایشده ای در نول اثر می کنند. در اختلاف فاز 120 درجه هارمونیک بین اعداد شیفیت پیدا می کند زیرا مضرب صحیحی از آن هستند که تشکیل 360 درجه را می دهند.

هارمونیک سوم اعمالی برای هر فاز در شکل 4-5 نشان داده شده است.



شکل 4-5 هارمونیک سوم در فاز a,b,c

با توجه به اینکه دو نوع هارمونیک ولتاژ و جریان در سیستم های قدرت پدید می آید و با توجه به اینکه این اعوجاجها ناشی از عواملی هستند که بطور دائم در شبکه ها وجود دارند، لذا تجهیزات مورد استفاده در سیستمهای برق رسانی بطور دائم در معرض اعوجاجهای موجود در سیستم می باشد..

اصولاً هارمونیکهای ایجاد شده توسط بارهای غیر خطی می توانند بر دیگر بارهای مرتبط در محل اتصال تاثیر زیادی بگذارند. اعوجاجهای ولتاژی که توسط اعوجاجهای جریان ایجاد می شود تابعی از امپدانس سیستم و میزان جریان اعوجاج یافته است. بنابراین اگر امپدانس سیستم کم باشد اعوجاج ولتاژ ناچیز خواهد بود.

اصولاً اعوجاج ولتاژ دو اثر اصلی باقی میگذارد:

- گرم شدن اضافی ماشین ها
- خرابی بانک های خازنی

هارمونیک های جریان دارای اثرات متفاوتی می باشند. وقتی هارمونیک جریان زیاد باشد و در یک مسیر موازی با سیستمهای مخابراتی قرار داشته باشد باعث ایجاد تداخلات می گردد.

میزان تداخلات بستگی به مسیر و اندازه هارمونیک دارد. همچنین هارمونیک جریان باعث ایجاد تلفات اضافی سرگردان در ترانسفورماتورها می گردد و تلفات را در خطوط افزایش می دهد. وسایل اندازه گیری موجود در سیستمهای قدرت در این حالت دارای خطای اندازه گیری می شوند.

علاوه بر این هارمونیک ها باعث عملکرد نامناسب رله ها ، کلیدها ، فیوزها ، سیستم های فرمان از راه دور و دیگر وسایل و تجهیزات مورد استفاده در شبکه می گردند. بطور کلی اثرات هارمونیکها را می توان به سه دسته اصلی تقسیم نمود:

- اثرات بر عایقهای تجهیزات
- اثرات گرمایی بر تجهیزات
- عملکرد نامناسب تجهیزات

بررسی اثر هارمونیک ها بر تجهیزات شامل موارد زیر می باشد:

- اثر هارمونیک بر خازنها
- اثر خازنها بر هارمونیکها
- اثر هارمونیک بر روی لامپهای روشنایی و المانهای حرارتی
- اثر هارمونیک بر ماشینهای سنکرون (اندکسیونی)
- اثر هارمونیک بر ماشینهای سنکرون
- اثر هارمونیک بر ترانسفورماتورها
- اثر هارمونیک بر رله ها
- اثر هارمونیک بر وسایل اندازه گیری

- اثر هارمونیک بر کلیدها
- اثر هارمونیک بر عایق ها
- اثر هارمونیک بر فیوزها
- اثر هارمونیک بر سیستمهای مخابراتی

1-4- اثر هارمونیک بر خازن ها :

تجهیزات سیستمهای قدرت اغلب تحت تاثیر هارمونیک ولتاژ هستند. از مهمترین تجهیزاتی که تحت تاثیر هارمونیک ولتاژ قرار می گیرند خازنهای مورد استفاده در شبکه به منظور تصحیح ضریب قدرت می باشند. یکی از مواردی که باعث آسیب رسیدن به خازنها می گردد گرم شدن خازن ناشی از اضافه جریان شدید خازن می باشد. بالا بودن جریان ورودی به خازن حتی در صورت کم بودن هارمونیک ولتاژ امکان پذیر است. زیرا امپدانس خازن با عکس فرکانس در ارتباط است.

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

(4-19)

مسئله دیگری که در عملکرد خازنها ممکن است پدید آید مشکل عایقی است. زیرا اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک ها ممکن است بعدی برسد که بر خازن تاثیر بگذارد زیرا عموماً خازنها حساسترین عنصر در شبکه می باشند و اضافه ولتاژ آنها معمولاً نباید از 20 درصد ولتاژ پیک نامی بیشتر گردد. هارمونیک ولتاژ باعث میشود تا خازن با جریان و ولتاژی که متناسب با فرکانس هارمونیک می باشد تحریک شود و این جریان سبب تلفات می شود. استاندارد IEC 6083-1 اعلام می کند که جریان هارمونیکی عبوری از خازن نباید بیشتر از $\frac{1}{3}I_N$ جریان نامی باشد. لذا در این صورت بایستی خازن با ظرفیت بالاتر نصب گردد. خازنها مولد هارمونیک نیستند ولی بکارگیری خازن در شبکه هایی که دارای هارمونیک جریان یا ولتاژ است موجب بروز تشدید در شبکه برق می شود.

راکتانس خازنی با افزایش فرکانس کاهش و راکتانس سلفی با افزایش فرکانس افزایش می یابد. در نتیجه فرکانس خاصی تشدید رخ می دهد. هنگام بروز پدیده تشدید (مدار سری یا موازی LC) دامنه جریان سلف یا ولتاژ دو سر خازن ممکن است بسیار زیاد شود. استفاده از خازن در شبکه های توزیع عموماً برای تصحیح ضریب قدرت و پایداری ولتاژ می باشد و هر دو نوع اتصال سری یا موازی خازنها یا ترکیبی از آنها ممکن است موجود باشد. در مورد مدار سری در فرکانس رزونانس ، امپدانس کل شبکه به امپدانس مقاومت موجود در مدار کاهش می یابد و در صورت کوچک بودن این مولفه مقاومتی جریانهای بسیار زیادی از مدار عبور میکند. در مدارهای موازی فرکانس رزونانس امپدانس کل شبکه بسیار زیاد است در نتیجه (ناشی از یک تحریک بسیار کوچک) جریان چرخشی زیادی بین سلف و خازن عبور نموده و ولتاژ دو سر شبکه زیاد می شود. لذا در صورتیکه فرکانس رزونانس شبکه به یکی از هارمونیک های ایجاد شده در مدار نزدیک باشد ، جریانها یا ولتاژ بسیار بزرگی در شبکه هارمونیک دار تولید می شود، که چنین پدیده ای موجب خرابی بانک خازنی ، عملکرد نا صحیح و مکرر فیوزهای خازن و شکست عایقی در کابلها شود.

اثر هارمونیک ها بر تلفات دی الکتریک خازنها:

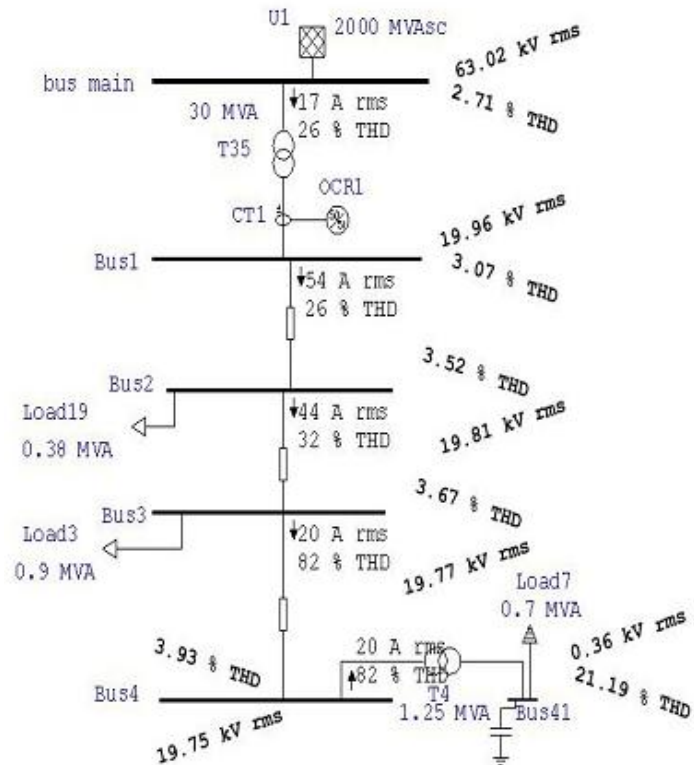
تلفات بانک های خازنی همان تلفات دی الکتریکی می باشند و از فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V^2 h c w h \tan \delta h$$

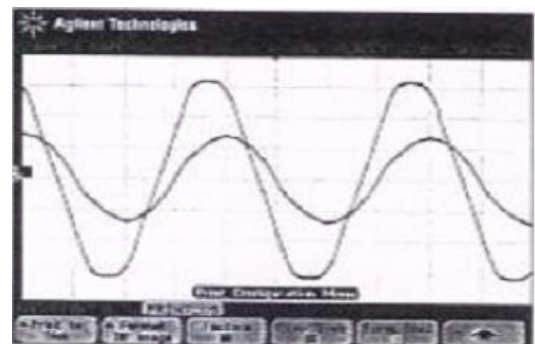
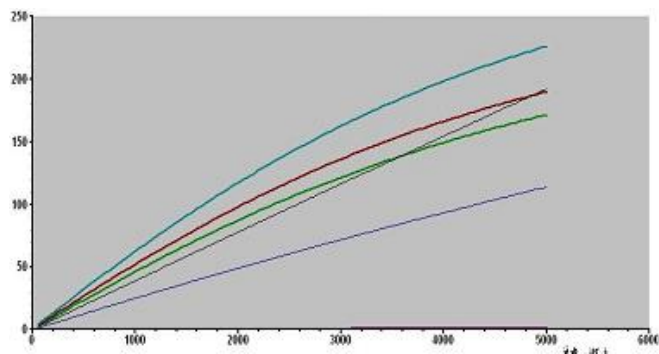
(4-20)

بررسی عملکرد خازن در محیط هارمونیک :

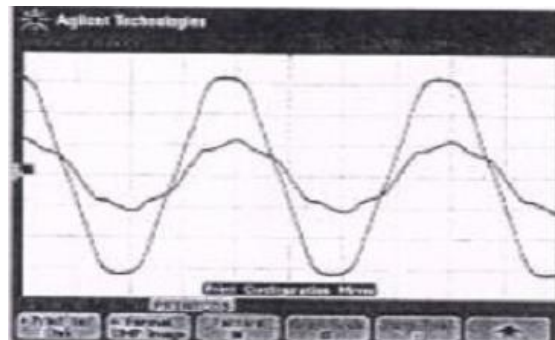
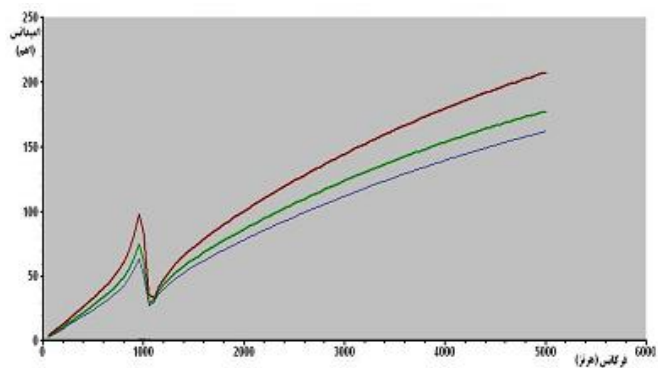
شبکه نمونه شکل 4-6 موجود است در شکل 4-7 ابتدا بانک خازنی از شبکه جدا می باشد با توجه به اینکه در زمان اندازه گیری باری که از تابلو تغذیه می گردد کم بود بنابراین اعوجاج کمی مشاهده می شود. ولی در اثر اضافه شدن بانک خازنی مطابق شکل 4-8 اعوجاج بیشتر در شکل موج مشاهده می کنیم بنابراین در این قسمت از شبیه سازی به اثرات خازن در محیطهای هارمونیک پرداخته می شود.



شکل 4-6 شبکه نمونه



شکل 4-7 دیتای گرفته شده بدون حضور خازن شکل 4-8 رابطه امپدانس با فرکانس (خازن در مدار نیست)



شکل 9-4 دیتای گرفته شده با حضور خازن 55 کیلووات شکل 10-4 رابطه امپدانس با فرکانس (خازن در مدار است)

با توجه به توضیحات قبل ملاحظه می شود با افزایش خازن (سه خازن 50 کیلووار در سه شینه که بار وجود داشت نصب گردید.) در شبکه هارمونیک (در حالت عادی خاصیت سلفی دارد) در یکی از فرکانسها تشدید صورت می گیرد و هر مقدار خازن افزایش یابد فرکانس تشدید به فرکانس قدرت نزدیکتر می شود که در این حالت اثرات مخربی بر شبکه اعمال می شود.

2-4- اثر هارمونیک بر روی لامپهای روشنایی و المانهای حرارتی :

تلفات در تجهیزات الکتریکی مقدار زیادی وابسته به اغتشاشات ولتاژ اعمالی به آنها می باشد. معادله کلی را که برای تلفات می توان نوشت بصورت زیر می باشد:

$$P = \sum V_h^n F(h)$$

(4-21)

که در آن پارامترها بصورت زیر تعریف شده اند:

V_h = مقدار موثر ولتاژ هارمونیک n ام

n = مقدار ثابت

$F(h)$ = تابعی است که بستگی به نوع تلفات دارد.

اگر لامپهای روشنایی و یا المانهای حرارتی را بعنوان یک مقاومت در نظر بگیریم قدرت جذب شده لامپهای روشنایی و المانهای حرارتی تلفات اهمی خواهند بود. در نتیجه در

رابطه (4-21) توان n برابر با 2 و تابع $F(h) = \frac{1}{r}$ خواهند شد.

یعنی داریم :

$$P = \sum V_h^2 \frac{1}{r}$$

(4-22)

در رابطه بالا r مقاومت لامپ یا المان حرارتی است.

اگر جذب قدرت در صورت اعمال موج ولتاژ سینوسی با مقدار V_R برابر مقدار زیر باشد:

$$P_R = \frac{V_R^2}{r}$$

(4-23)

آنگاه خواهیم داشت :

$$\frac{P}{P_R} = \frac{\sum \frac{V_h^2}{r}}{\frac{V_R^2}{r}} = \frac{V_h^2}{V_R^2}$$

(4-24)

$$\frac{P}{P_R} = \left(\frac{V_1}{V_R}\right)^2 \sum_{h=1} \left(\frac{V_h}{V_1}\right)^2$$

(4-25)

حال اگر مقدار موثر ولتاژ سینوسی اعمالی برابر با مقدار موثر مولفه اصلی موج ولتاژ

هارمونیک باشد یعنی $V_1 = V_R$ آنگاه خواهیم داشت:

$$\frac{P}{P_R} = \frac{V_1^2 + \sum_{h=2} V_h^2}{V_1^2} = 1 + (THD)^2$$

(4-26)

به عبارت دیگر هرچه ضریب اعوجاج کلی THD بیشتر باشد جذب قدرت یا بار مصرفی

در حالت تغذیه با موج هارمونیک نسبت به جذب قدرت یا بار مصرفی با موج سینوسی

بیشتر خواهد بود.

هارمونیک ها باعث جذب قدرت بیشتر و در نتیجه افزایش دمای المانهای حرارتی می

گردند و در نتیجه بر کاهش طول عمر این قبیل تجهیزات تاثیر می گذارند.

فرمول زیر برای تغییرات طول عمر پیشنهاد گردیده است:

$$\left(\frac{T_{MR}}{T_M}\right)^{2/7} = \frac{V_R}{V}$$

(4-27)

$$L = L_R \left(\frac{V_R}{V}\right)^{13/1} = L_R \left(\frac{T_{MR}}{T_M}\right)^{35/4}$$

(4-28)

T_{MR} : دما در ولتاژ نامی V_R

T_M : دما در ولتاژ V

L_R : عمر عادی با ولتاژ V_R

L : عمر لامپ با ولتاژ V

معادله فوق (4-28) به صورت واحد به صورت زیر نیز می باشد:

$$L = \frac{1}{V^n}$$

(4-29)

که در آن V برابر مقدار موثر ولتاژ (برحسب پریونیت) (برحسب ولتاژ نامی) و L نیز عمر به واحد بر حسب عمر نامی می باشد.

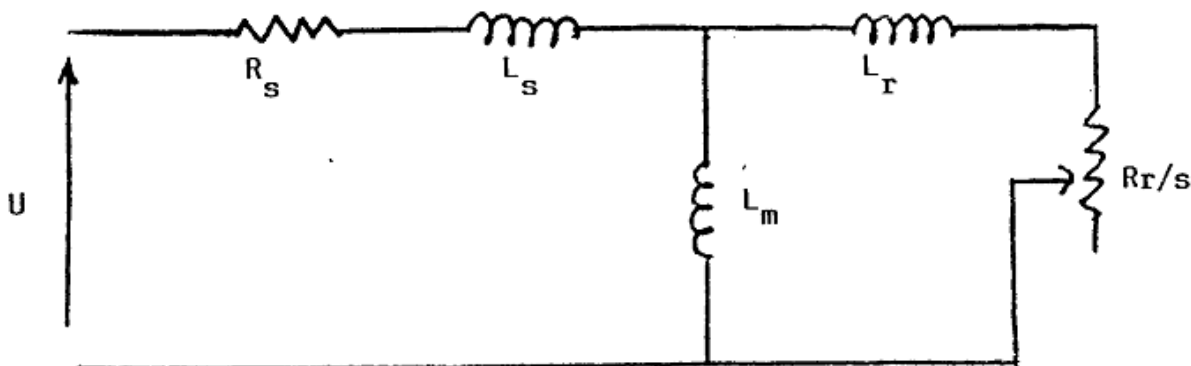
$$L = \frac{1}{(V_1^2 [1 + (THD)^2])^{n/2}}$$

(4-30)

که در آن n برابر با $13/1$ می باشد.

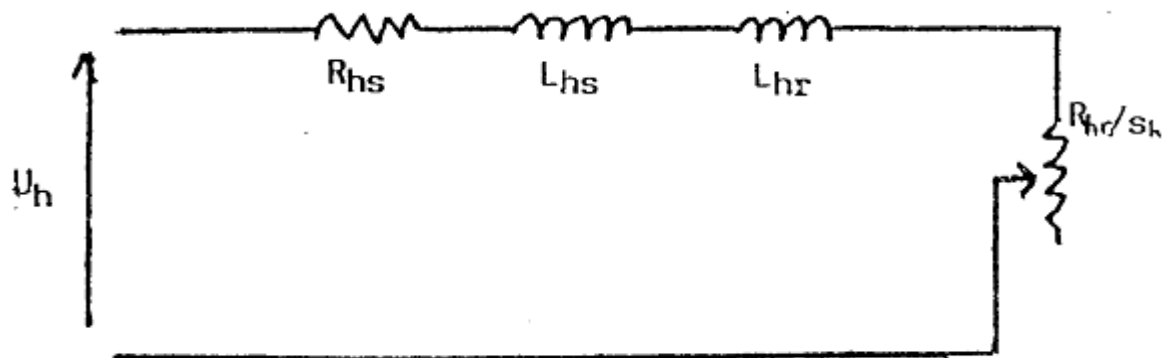
اثر هارمونیک بر ماشینهای آسنکرون (اندکسیونی) :

هارمونیک ها بر عملکرد و تلفات موتورهای اندکسیونی تاثیر زیادی دارند با توجه به مدار معادل موتورهای آسنکرون می توان تلفات و رفتار موتور را زمانی که شکل موج تغذیه آن کاملاً سینوسی نسبت و دارای اعوجاج است را بررسی نمود.



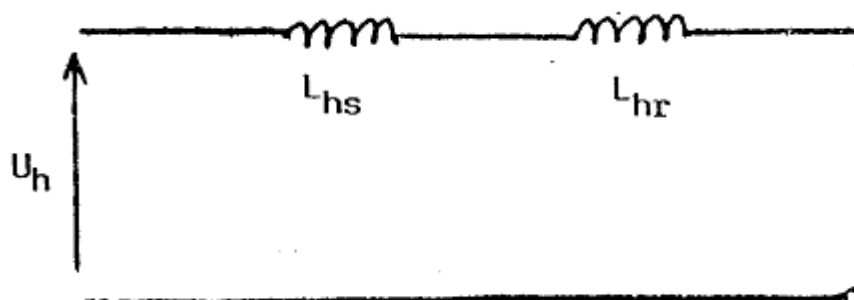
شکل 4-12 دیاگرام تك خطي ماشین آسنکرون

در صورتی که ولتاژ تغذیه موتور دارای هارمونیک باشد مدار معادل موتور در برابر مولفه های دیگر ولتاژ به صورت شکل 4-13 در می آید.



شکل 4-13 مدار معادل ماشین آسنکرون

در مدار معادل شکل بالا می توان R_{hs} و R_{hr} / sh در مقابل L_{hs} و L_{hr} صرف نظر نمود زیرا فرکانس موج ولتاژ هارمونیک بالا می باشد و اندوکتانس تاثیر بیشتری را در مدار معادل بوجود می آورد. در نتیجه مدار معادل ماشین آسنکرون سه فاز بصورت شکل 4-14 خلاصه می شود.



شکل 4-14 مدار معادل ساده شده ماشین آسنکرون

3-4- اثر هارمونیک بر ماشینهای آسنکرون :

هارمونیک ها میزان امپدانس ماشین سنکرون را تغییر می دهند در صورتیکه موج جریان دارای هارمونیک باشد امپدانس ماشین در برابر هر هارمونیکی برابر با امپدانس زیرگذاری ماشین ضربدر شماره هارمونیک خواهد بود. مسئله دیگری که هارمونیک جریان ایجاد می نماید تاثیر مکانیکی بر توربین و ژنراتور می باشد. در این حالت نوسانات مکانیکی بدلیل گشتاور پالسی ناشی از تداخل بین جریانهای هارمونیکی و مولفه میدان اصلی ایجاد می گردد که باعث آسیب رسیدن به محورها می گردد. از طرف دیگر در صورتیکه فرکانس موج هارمونیکی به نحوی باشد که تولید نوسانات پالسی کند و فرکانس این نوسانات با فرکانسهای طبیعی مکانیکی ترکیب ژنراتور توربین برابر شود آنگاه شرایط تشدید فراهم می آید و باعث اشکالات عمده ای بر محور توربین ژنراتور می گردد.

4-4- اثر هارمونیک ها بر ترانسفورماتورها:

اساسا ترانسفورماتورها برای فرکانس نامی و جریان سینوسی کامل طراحی و ساخته می شوند. تغذیه بارهای غیر خطی توسط ترانسفورماتور منجر به تلفات بیشتر ، پیری زودرس عایق ها و نهایتا کاهش عمر مفید ترانسفورماتورها می شود. جریان هارمونیکی سبب افزایش تلفات مسی و گردابی می شود. ولتاژ هارمونیکی سبب افزایش تلفات هیستریزیس می شود. به عبارت دیگر تلفات در سیم پیچ متناسب با توان دوم THD_i است ولی تلفات هسته رابطه خطی با THD_v دارد.

تأثیرات هارمونیک بر تلفات ترانس توسط رابطه (4-31) بیان می شود:

$$P_h = 3 \sum_h I_n^2 R_n + P_{fe} \sum_h \left(\frac{V_n}{V_1} \right)^2 \frac{1}{n^{2/6}} \quad (4-31)$$

R_n : مقاومت سیم مسی در فرکانس n ام

P_{fe} : تلفات آهنی در فرکانس اصلی

برای فرکانسهای مختلف R_n از معادله (4-32) بدست می آید:

$$R_n = R_1 (C_0 + C_1 n^b + C_2 n^2) \quad (4-32)$$

جدول (4-1) مقادیر تقریبی برای مفروضات معادله (4-32) می باشد:

جدول 4-1 مقدار تقریبی برای مفروضات معادله (4-32)

	C_0	C_1	C_2	b
توزیع	۰/۹-۰/۸۵	۰/۰۸-۰/۰۵	۰/۰۸-۰/۰۵	۱/۴-۰/۹
انتقال	۰/۸-۰/۷۵	۰/۱۳-۰/۱	۰/۱۳-۰/۱	۱/۴-۰/۹
	$C_0 + C_1 + C_2 = 1$			

معادله ساده شده (4-33) تلفات در ترانس را نشان میدهد:

$$P_n \approx \left(\frac{R_h}{R_1} \right) THD_I^2 P_{CU} + \left(\frac{1}{h_v^{2/6}} \right) (THD_V^2)^{M/2} P_{fe} \quad (4-33)$$

برای راحتی محاسبات مقادیری بشرح جدول زیر (4-2) منتج از اندازه گیری پیشنهاد می گردد:

جدول 2-4 مقدار تقریبی ضرایب منتج از اندازه گیری

ترانسفورماتور	THD_I	THD_v	R_Δ	R_Y
توزیع	۱۱٪	۵٪	$2R_1$	$4/7R_1$
قدرت	۷٪	۴٪	$4/4R_1$	$7/6R_1$

مثال نمونه : ترانس 200 HVA با سطح ولتاژ 20KV/400V مطابق جدول (3-4) در نظر گرفته و نتایج شبیه سازی مطابق جدول (3-4) ارائه می گردد. با توجه به اینکه ضریب قدرت بارهای غیر خطی پایین می باشد در این مقایسه ضریب قدرت 0/84 فرض گردید:

جدول 3-4 مشخصات ترانس (200KVA) و بار هارمونیک

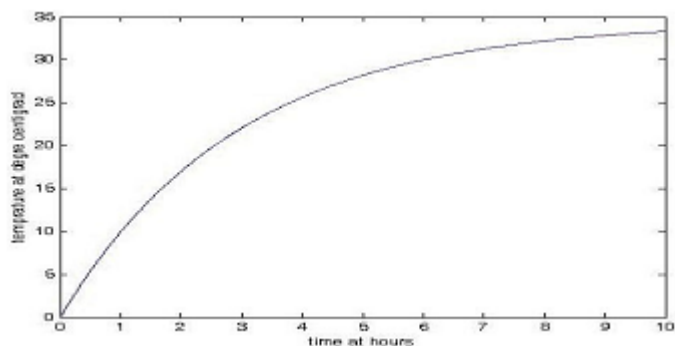
بار غیرخطی	بار خطی	شرح موارد
۲۰۰	۲۰۰	KVA قدرت نامی ترانس
۰/۸۴	۱	ضریب قدرت بار
۱۶۰	۱۶۰	(KW) بار متصل به ثانویه
۰/۰۸۲۳	۰/۰۸۲۳	مقاومت معادل (اهم)
۲۷۲	۲۷۲	Kg وزن هسته
۱۵۹	۱۵۹	Kg وزن مس
۲۰۰	۲۰۰	Kg وزن تانک
۲۱۵	۲۱۵	Kg وزن روغن
ONAN	ONAN	نوع سیستم خنک کنندگی

جدول 4-4 مقدار بار هارمونیکی برای مقایسه

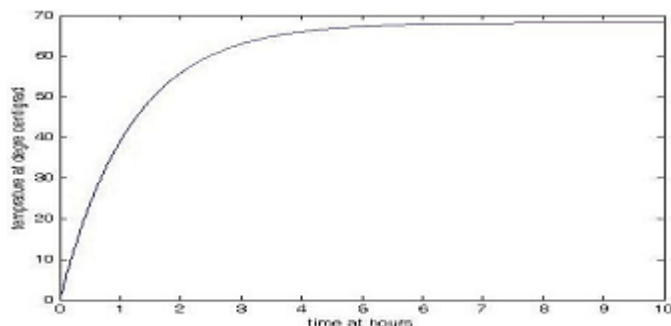
شرح موارد	بار خطی	بار غیر خطی
درصد هارمونیک سوم	۰	۵۸
درصد هارمونیک پنجم	۰	۳۰
درصد هارمونیک هفتم	۰	۲۰
درصد هارمونیک نهم	۰	۱۰
درصد هارمونیک یازدهم	۰	۷
درصد هارمونیک سیزدهم	۰	۳
درصد هارمونیک پانزدهم	۰	۲

جدول 4-5 نتایج حاصل از شبیه سازی

شرح موارد	بار خطی	بار غیر خطی
KVA ظرفیت مورد استفاده	۲۰۰	۱۹۴/۲۵۰
تلفات کل (KW)	۲/۸۴۳	۹/۰۱۵
حداکثر افزایش دمای روغن	۳۳/۳۱	۶۸/۲۵
(A) جریان مؤثر ثانویه	۱	۱/۲۱۷۶
راندمان ترانسفورماتور	۹۸/۲۵	۹۴/۶۶



شکل 4-15 منحنی تغییرات دمای روغن ترانس بر حسب زمان برای بار خطی



شکل 4-16 منحنی تغییرات دمای روغن ترانس برحسب زمان برای بار غیرخطی

نتایج جداول و شکل های (4-15) و (4-16)

مبین آن است که هارمونیک سبب افزایش

تلفات کاهش راندمان ، افزایش درجه حرارت روغن کاهش بارگیری موثر ترانس می

شود. همچنین هر تغییری در جریان هارمونیکی بار منجر به تغییر ضریب تلفات

هارمونیکی و در نتیجه تغییر تلفات ترانسفورماتور می شود.

4-5- اثر هارمونیک بر عملکرد رله ها :

بطور کلی رله ها وسایل حفاظتی هستند که بخشی از سیستم را که خطا در آنجا رخ داده

است از بقیه شبکه ایزوله می نمایند بطوریکه بقیه سیستم به طور عادی کار خود را دنبال

نماید. تحت چنین عملکردی سیستم حفاظتی باید قادر به تشخیص حالت عادی و وجود خطا

در سیستم باشد و به نحوی طراحی شده باشد که فقط در مقابل وجود خطا عکس العمل

نشان دهد. با چنین دیدی از عملکرد رله ها هر عاملی که سبب تاخیر و تسریع بی مورد

عملکرد رله ها گردد مشکلات زیادی را برای شبکه های توزیع به همراه خواهند داشت.

عوامل تاثیر گذار بر عملکرد نا مناسب رله ها :

- تنظیم نامناسب رله

- تنظیم نامناسب رله در ارتباط با دیگر رله ها

تاثیر هارمونیک ها بر روی رله ها

اثر هارمونیک بر روی رله یا هارمونیک ولتاژ بوده یا هارمونیک جریان می باشد.

رله ها با توجه به سیستم عملکردشان به یک نوع هارمونیک و یا هر دو نوع هارمونیک حساس می باشند. هر کجا که هارمونیک جریان وجود داشته باشد این هارمونیک جریان به علت عبور از امپدانس مسیر تولید هارمونیک ولتاژ می نماید و هر جا نیز هارمونیک ولتاژ وجود داشته باشد در بارها هارمونیک جریان ایجاد می کند.

استاندارد هایی که به منظور تست رله استفاده می شوند معمولاً موج سینوسی بدون هارمونیک را پیشنهاد می کنند. رله های استاتیکی که بایستی به مقدار موثر جریان حساس باشند معمولاً بر اساس اندازه گیری پیک موج جریان کار می کنند یعنی با توجه به سینوسی بودن موج مقدار موثر آن را محاسبه می نمایند. اگر شکل موج جریان دارای هارمونیک باشد مقدار موثری را که محاسبه می کند صحیح نمی باشد و دارای خطای عملکرد خواهند بود.

عکس العمل رله ها در مقابل هارمونیک به طور کلی به صورت موارد زیر می باشد: در برخی رله های اضافه جریان عملکرد رله بستگی به شکل موج جریان دارد و تنها درصد میزان هارمونیک موثر نیست. بعبارت دیگر اگر موجی که دارای میزان هارمونیک یکسانی باشد ولی شکل موج آن متفاوت باشد به اینگونه رله ها اعمال شود پاسخهای رله متفاوت خواهد بود. بنابراین نمی توان تنها با استفاده از درصد میزان هارمونیک ها عملکرد رله را مورد بررسی قرار داد.

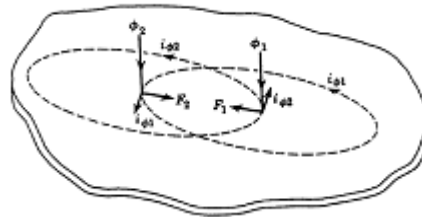
رله های اضافه جریان مانند رله اضافه ولتاژ از نمونه رله های القایی بوده که از مدل اصلاح شده گشتاور میسون تبعیت می کند. بنابراین این رله نیاز به گشتاور مثبت جهت عملکرد دارد ایجاد نیرو در رله های دیسکی الکترومکانیکی گشتاور متحرک در دیسک ایجاد می کند. در دو زمان متغیر فلو های ایجاد شده در فرکانس یکسان با اختلاف فاز θ بصورت عبارت (4-34) و (4-35) ارائه می گردد:

$$\phi_1 = \phi_1 m \sin(\omega t)$$

(4-34)

$$\phi_2 = \phi_2 m \sin(\omega t + \theta)$$

(4-35)



شکل 4-17 گشتاور توليدي در رله هاي الكترو مغناطيسي

هر فلو سبب القای ولتاژ در اطراف خود می گردد و گردش جریان در رتور چرخان تحت تاثیر دو ولتاژ می باشد فلو ایجاد شده توسط جریان در برابر گردش جریانهای دیگر عکس العمل نشان می دهد موجب عملکرد نا مناسب می شود که سبب عملکرد دیسک می شود. با عنایت به اینکه جریان دیسک اندوکتانس خودی ناچیز تولید می کند ، جریان و ولتاژ را هم فاز در نظر می گیریم.

نیروی مکانیکی در جهت خلاف بین هم به وجود می آورد که نیرو وارد بر دیسک بصورت اختلاف در نیرو بصورت رابطه (4-36) بدست می آید:

$$F \propto \phi_{1m} \phi_{2m} \sin \theta$$

(4-36)

اختلاف فاز θ فلو سبب ایجاد نیرو می کند. موارد بالا در حالت فرکانس اصلی بدست آمده است. لذا در صورت وجود هارمونیک فلو ایجاد شده ناشی از بارهای غیر خطی در فرکانسهای مختلف که با اختلاف فاز θ بصورت عبارت (4-37) و (4-38) ارائه می گردد:

$$\phi_1 = \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \phi_{1mh} \sin(h\omega t)$$

(4-37)

$$\phi_2 = \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \phi_{2mh} \sin(h\omega t + h\theta)$$

(4-38)

$$i_{\phi 1} \propto \frac{d\phi_1}{dt} \propto \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} h\omega \cdot \phi_{1mh} \cos(h\omega t)$$

(4-39)

$$i_{\phi 2} \propto \frac{d\phi_2}{dt} \propto \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} h\omega \cdot \phi_{2mh} \cos(h\omega t + h\theta)$$

(4-40)

$$F = F_2 - F_1 \propto (\phi_2 \cdot i_{\phi 1} - \phi_1 \cdot i_{\phi 2})$$

(4-41)

نتیجه نیرو متناسب با ضرب دوسری بدست می آید که عملاً نشان می دهد نیروی وارد بر دیسک تغییر می کند.

- در رله های سریع مقدار جریان لازم برای عملکرد رله در صورت وجود هارمونیک ها کمتر و یا بیشتر از مقدار نامی می گیرد ولی این تغییرات برای هارمونیک های زیاد نیز کمتر از 15 درصد است.
- رله هایی که دارای تاخیر زمانی هستند زمان عملکرد آنها شدیداً تحت تاثیر هارمونیک ها قرار دارند.
- در رله ها بستگی به نوع هارمونیک ممکن است گشتاور عمل کننده رله معکوس شود.

- رله های استاتیکی فرکانسی کم تحت تاثیر هارمونیک و ولتاژ قرار دارند، بنحویکه وجود 10 درصد هارمونیک ولتاژ ممکن است زمان عملکرد آنها را به دو برابر افزایش دهد از طرف دیگر اینگونه رله ها خیلی به هارمونیک های ولتاژ کسری (کمتر از 50 HZ) حساس هستند و برای عملکرد مناسب آنها بایستی اینگونه هارمونیک ها در کمتر از 5 درصد محدود گردند.
- وجود هارمونیک هایی با زوایای خاص نسبت به موج اصلی سبب می شود که در شکل موج ولتاژ هنگام عبور از نقطه صفر که مورد استفاده رله های فرکانسی هستند اغتشاش های خاصی بوجود آید بطوریکه عملکرد اینگونه رله ها شدیداً تغییر دهد.
- هارمونیک ها عملکرد خیلی سریع رله های دیفرانسیل را از بین می برند.
- وجود توالی صفر جریان ناشی از هارمونیک های مرتبه 3

جریان بر رله های

جریان زمین تاثیر می گذارند و باعث دادن فرمان قطع اشتباه می گردد. تحقیقات دیگر نشان می دهد که بطور کلی سطح هارمونیک که باعث عملکرد نامناسب بعضی از رله ها می گردد ، بیشتر از سطح قابل قبول هارمونیک در شبکه است لذا در صورتیکه سطح هارمونیک در حد معمول کمتر از 5 درصد قرار گیرد، عملکرد رله چندان دستخوش تغییر نمی شود ولی در بعضی نقاط که مقدار هارمونیک ها بسیار زیاد است (بیشتر از 10 درصد) عملکرد رله ها نیز دستخوش تغییرات زیادی می گردد.



4-6- اثر هارمونیک بر وسایل اندازه گیری:

اثر هارمونیک بر واتمترها:

واتمترها اندکسیونی هستند که تحت تاثیر فرکانس قرار می گیرند زیرا گشتاور وارد شده به دیسک آنها مناسب با فلو و جریان گردابی است که در دیسک القا می شود. فلو و جریان گردابی نیز با افزایش فرکانس کاهش می یابند بنابراین واتمترها دارای خطای منفی در فرکانس های بالاتر از فرکانس نامی هستند. به عبارت دیگر مقادیری که واتمترها نشان می دهند کمتر از مقدار واقعی می باشند. میزان تقریبی خطا برای هارمونیک دوم حدود 5% و برای هارمونیک دهم برابر با 56% می باشد از سوی دیگر اثر هارمونیک ها بر روی وسایل اندازه گیری بستگی به جهت عبور جریان هارمونیک دارد.

اثر هارمونیک بر کنتورها:

برای بررسی تاثیر هارمونیک بر کنتورها از روش تحلیل مدل ریاضی استفاده شده است تا بتوان عملکرد آن را برای ولتاژ و جریان غیر سینوسی شبیه سازی کرد. تعیین مدل ریاضی:

$$S = \frac{\sum_{k=1,3,5} k \omega c_k \tau_k \phi_{vk}'' \phi_{ik}'' \sin(\beta_{vk} - \beta_{ik})}{k_1 + \sum_{k=1,3,5} c_k \tau_k (k_{2\tau}' \phi_{vk}'' + k_{3\tau}' \phi_{ik}'')''}$$

(4-42)

درصد خطا از رابطه (4-43) به دست می آید:

$$\text{خطا} = \frac{(S - S_0)}{S_0} \times 100\% \quad (4-43)$$

که S سرعت دیسک بر اساس رابطه (1) و S_0 سرعت دیسک در فرکانس مبنای ω_0 (فرکانس اصلی) می باشد.

پاسخ کنتور به ورودی هارمونیک:

فرض کنیم جریان و ولتاژ ورودی به کنتور علاوه بر فرکانس اصلی شامل هارمونیک مرتبه h ام باشند یعنی:

$$V = V \cos \omega_0 t + V_h \cos(h\omega_0 t - \gamma_v) \quad (4-44)$$

$$i = I \cos(\omega_0 t - \theta) + I_h \cos(h\omega_0 t - \gamma_i) \quad (4-45)$$

توان متوسط که توسط کنتور باید ثبت کند به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} v.i.dt = \frac{VI}{2} \cos \theta + \frac{V_h I_h}{2} \cos(\gamma_v - \gamma_i) \quad (4-46)$$

در صورتیکه ورودیهای ولتاژ و جریان شامل هارمونیک باشند .

معمولاً اندازه هارمونیک h ام ولتاژ و جریان ، بیش از $\left[\frac{1}{h}\right]$ برابر مولفه اصلی نیست لذا

در نظر گرفتن هارمونیک 3 و 5 و 7 کافی است.

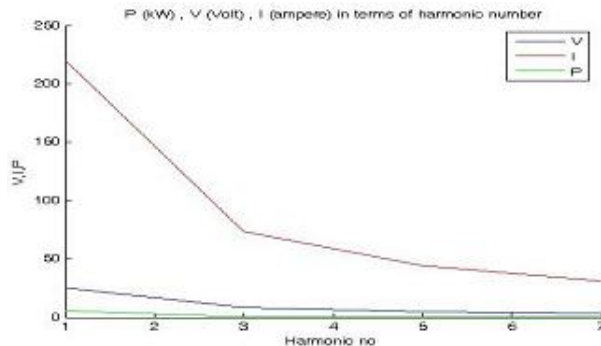
جهت بررسی تاثیر هارمونیک به شبیه سازی مسئله می پردازیم.

در این مثال:

$$I = 25A \quad V = 220V$$

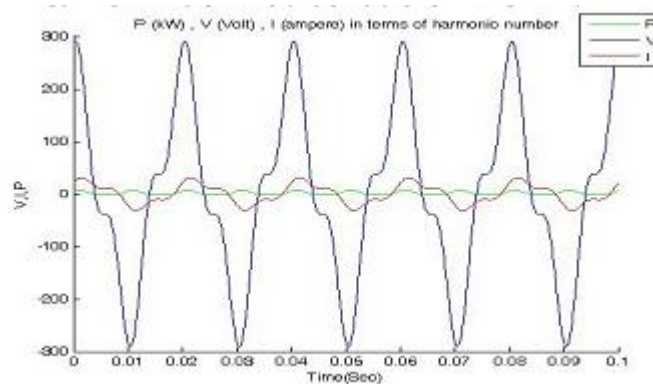
(4-47)

فرض می شود مطابق شکل (4-18) ملاحظه می شود با افزایش هارمونیک دامنه جراین و ولتاژ کاهش می یابد و لذا مقدار توان مصرفی که کنتور نشان می دهد کاهش پیدا می کند.

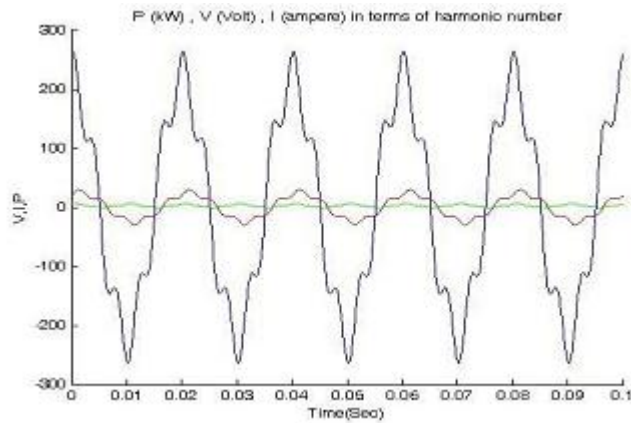


شکل 4-18 رابطه جراین و ولتاژ و توان با هارمونیک

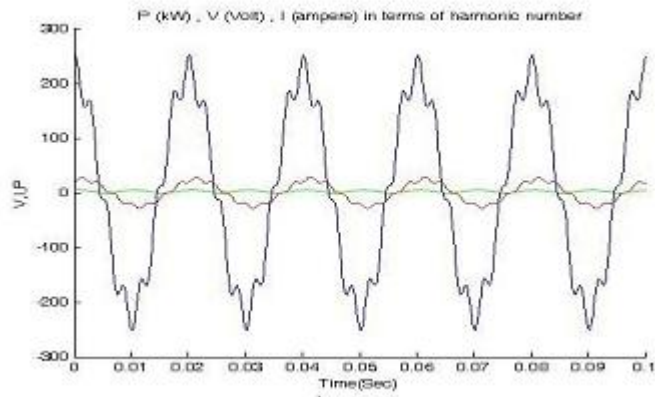
شکل (4-19) و (4-20) و (4-21) رابطه توان ، جراین ، ولتاژ بر حسب زمان در هارمونیک های مختلف نشان می دهد. نتایج حاصله نشان می دهد که در فرکانس های مختلف کنتور توان های متفاوتی را اندازه گیری می کند.



شکل 4-19 رابطه جراین و ولتاژ و توان (هارمونیک سوم) در کنتور بر حسب زمان



شکل 4-20 رابطه جریان و ولتاژ و توان (هارمونیک پنجم) در کنتور برحسب زمان

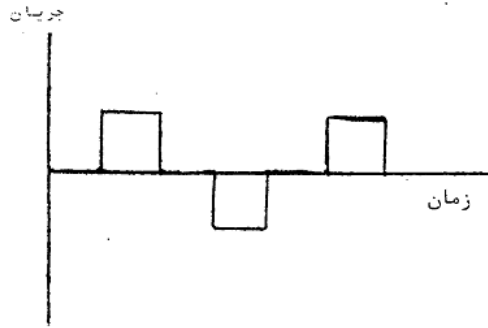


شکل 4-21 رابطه جریان و ولتاژ و توان (هارمونیک هفتم) در کنتور برحسب زمان

4-7-تاثیر هارمونیک بر کلیدها:

کلید ها وسایلی هستند که در صورت لزوم جریان مدار را قطع می کنند ، عملکرد صحیح کلیدها بستگی به شکل موج جریان دارد که قرار است توسط کلید قطع گردد در نتیجه در صورت وجود هارمونیک در جریان امکان دارد شکل موج جریان به نحوی باشد که در حوالی جریان صفر ، مشتق جریان مقدار بزرگی شود و در نتیجه سبب اشکال در قطع شدن جریان گردد.

نمونه ای از این نوع جریان ها ، جریان های مربوط به کانورتورها می باشند که در حوالی جریان صفر مقدار مشتق جریان بسیار زیاد است. شکل (4-22) شکل موج جریان یک مبدل را نشان می دهد.



شکل 22-4 موج جریان يك مبدل

از طرف دیگر بسیاری از خرابی دیژنکتورها یا مدارشکن ها (Circuit breaker)

دارای سیم پیچ طولانی کننده قوس ناشی از عدم عملکرد موفق این سیم پیچ ها در صورت وجود هارمونیک می باشند زیرا سیم پیچ طویل کننده قوس هنگامیکه عمل قطع در حال اتفاق است سبب حرکت قوس به مجرای قوس (arc - chute) می گردد. و در صورتیکه این عمل به علت وجود هارمونیک ها و در نتیجه زیاد شدن امپدانس آنها به صورت کامل انجام نگردد قوس دیرتر خاموش می گردد و سبب آسیب رساندن به دیژنکتورها می گردد. اثر هارمونیک ها بر عایق ها:

اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک ها می تواند بر توانایی عایق ها تاثیر بگذارد و سبب شکست آنها گردد و با توجه به اینکه عایق ها تقریباً در تمامی تجهیزات مورد استفاده در صنعت برق وجود دارند لذا بررسی تاثیر هارمونیک بر عایق ها لازم به نظر می رسد. از میان تجهیزات مورد استفاده خازنها حساسترین عنصر به حساب می آیند و اضافه ولتاژ آنها معمولاً نباید از 20% ولتاژ نامی بیشتر گردد.

اضافه ولتاژ قابل تحمل موتورهای الکتریکی از دیدگاه عایقی برابر یا بیشتر از دو برابر ولتاژ نامی موتور است. با توجه به چنین شرطی دیده می شود که هارمونیک ها تاثیر زیادی بر عایق های موتورها نخواهد گذاشت و هارمونیک ها بر تلفات موتور تاثیر بیشتری دارند.

همچنین هارمونیک ها بر عملکرد تجهیزاتی مانند برقگیرها که از فواصل هوایی استفاده می کنند تاثیر می گذارند در ضمن هارمونیک ها باعث گرم شدن اضافی تجهیزاتی که در آنها از نیمه هادیا استفاده می گردد می شوند. از دیگر عناصری که هارمونیکها بر عایق

آنها تاثیر می گذارند کابلها می باشند که این مسئله احتمال شکست عایقی در کابلها را به علت افزایش ولتاژ زیاد می کند.

8-4- اثر هارمونیک بر فیوزها :

با توجه به اینکه فیوزها عناصری هستند که گرم شدن آلمان آنها سبب سریعتر عمل نمودن آنها می گردد ، لذا وجود هارمونیک زیاد در شبکه باعث تغییر دادن منحنی مشخصه جریان – زمان فیوزها به دلیل گرم شدن اضافی آنها می شود.

این مسئله بخصوص در جریان های پایین اتصال کوتاه بیشتر نمایان می گردد.

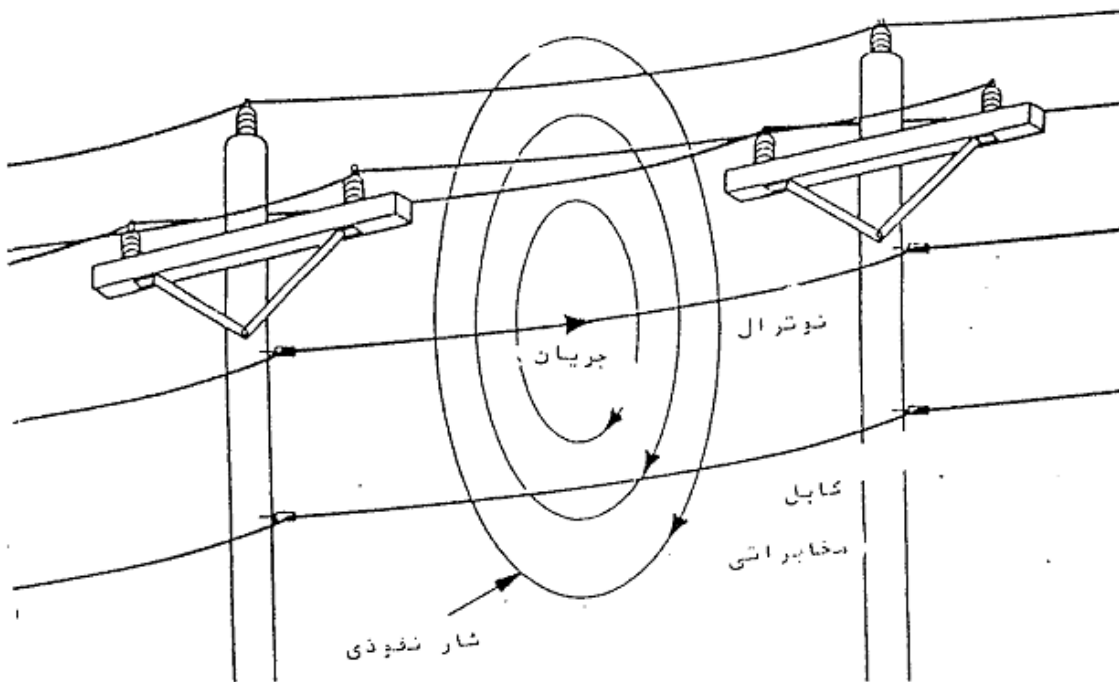
اثر هارمونیک ها بر سیستمهای مخابراتی :

از مهمترین مسائلی که هارمونیک جریان ایجاد می نماید تداخلات مخابراتی است.

جریان های هارمونیکی در صورت القا و یا هدایت مستقیم ، وارد سیستم های مخابراتی می شوند.

شکل (4-23) کوپلاژ و عمل القا توسط خطوط قدرت روی خطوط مخابراتی را نشان می

دهد



شکل 4-23

کوپلاژ و القاء از خطوط قدرت روی خطوط مخابرات

این نوع تداخل زمانی که در سیستمهای مخابراتی از سیم های معمولی استفاده می شد بسیار زیاد بوده و لیکن با توجه به اینکه در حال حاضر از سیم های تلفنی که دارای شیلد هستند و یا سیمهای تلفنی که به صورت زوج به هم پیچیده شده اند استفاده می شود اثر کوپلاژ القایی کمتر شده است.

4-9-تاثیرات دیگر هارمونیک ها :

هارمونیک ها علاوه بر موارد ذکر شده در بخشهای فعلی اثرات زیر را نیز دارا می باشد :

-تأثیر هارمونیک ها بر سیستم هایی که وظیفه انتقال فرمانی سیستمهای کنترل از راه دور بر عهده دارند . چنین تاثیری عملکرد نامناسبی را برای دستگاه اصلی باقی می گذارد .

- هارمونیک ها سبب اشباع هسته ترانسهای ولتاژ می گردد و باعث افزایش خطای اندازه گیری می گردد . در ترانسها جریان این تاثیر کمتر است ولی انرژی و توان و زاویه فاز ترانسفورماتور جریان تحت تاثیر قرار می گیرد.
- هارمونیک توالی صفر بر سیستم زمین تاثیر می گذارد و لازم است در انتخاب شرایط نامی چنین تجهیزاتی این مسئله مورد توجه قرار گیرد .
- هارمونیک ها بر عملکرد سیستمهای کنترل تاثیر می گذارند
- هارمونیک ها باعث افزایش تلفات در کابلها می گردند و در نتیجه در صورت وجود هارمونیک ها ظرفیت کابلها تا حدودی کاهش پیدا می کند .
- هارمونیک ها باعث افزایش تلفات در کابلها می گردند و در نتیجه در صورت وجود هارمونیک ها ظرفیت کابلها تا حدودی کاهش پیدا می کند.

5- روش‌های حذفی که هارمونیک طراحی بهتر منابع هارمونیک انجام گرفته است تا اینکه هارمونیک کمتری وارد شبکه نمایند ، لیکن هنوز برخی از بارهای غیر خطی بهتر در اندازه های کوچک و بزرگ وجود دارند که باعث تزریق هارمونیک در شبکه می گردند همچنین در شرایط گذرا نظیر وقوع اتصال کوتاه و عملیات کلید زنی جریانه‌ها از شکل سینوسی خارج می شوند و باعث به وجود آمدن هارمونیک در شبکه می گردند . بنابراین بایستی اقداماتی در جهت کنترل آنها صورت گیرد . در نتیجه از استفاده از وسایلی نظیر فیلتر ها اجتناب ناپذیر است . البته راه حل های دیگری نیز وجود دارند که در ادامه به آنها اشاره خواهیم کرد .

یکی از راه حل های ساده زمین کردن تجهیزات ساختمانی بطور درست می باشد با اینکه تقسیم مدار صورت گرفته و در صورت اضافه جریان تجهیزات حساس در مقابل اغتشاش هارمونیک ایزوله خواهند بود . راه حل دیگر اینکه سیم نول شبکه توزیع را افزایش داد بنحوی که برای هر فاز یک سیم نول داشته باشیم این کار باعث جلوگیری از اتلاف گرمایی خواهد شد.

راه حل دیگر استفاده از نوع خاصی ترانسفورماتور بنام

HMT_s می باشد ترانسهای

HMT_s می توانند موثر باشند آنها هم می توانند قابلیت بهبود داشته باشند و هم باعث کاهش هزینه شوند .

HMT_s در مورد بارهای مداری که توسط UPS بک آپ گرفته می شوند موثرند و آنها را حمایت می کنند .

در نصب ترانسفورماتور های HMT_s باید به وجود و یا عدم وجود فیلتر های اکتیو یا پسو بررسی شده و سپس به مدار مطابق با مشخصه شبکه و مدار اضافه شوند .

5-1- فیلترهای پسو :

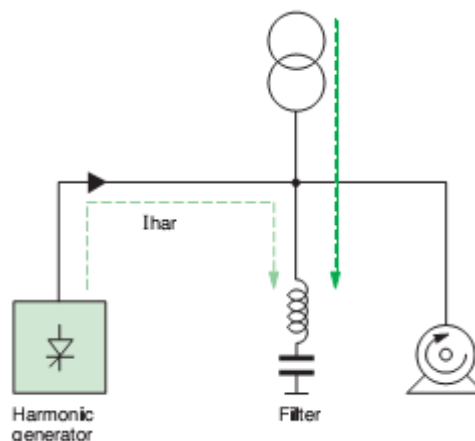
روشهای که از دیر باز مورد استفاده قرار گرفته مبتنی بر فیلتر پسو بوده است .

این فیلتر ها از مدارهای تشدید سری تشکیل می شوند که با بار بصورت موازی قرار می گیرند و هر یک بر روی فرکانس تنظیم می شوند هارمونیک های بار بجای عبور از منبع ، مسیر خود را از طریق فیلتر ها انتخاب می کنند

با توجه به تنوع هارمونیک ها ، تعداد آنها افزایش می یابد که افزایش هزینه ، افزایش تلفات و همچنین امکان وقوع تشدید در مجموعه هریک از بارها ، فیلتر و خط انتقال را بدنبال دارد.

در شکل (5-1) اتصال یک فیلتر پیسو به سیستم نشان داده شده است .

این وسیله یک مسیر با مقاومت پایین در مسیر هارمونیک ایجاد شده به زمین توسط یک مقاومت ایجاد می کند از نقص های این فیلتر ثابت بودن مقادیر شان می باشد یعنی اگر مشخصات شبکه توزیع تغییر کند شاید خود باعث ایجاد تشدید که خود باعث افزایش هارمونیک شوند تا کاهش آنرا انجام دهند .



شکل 5-1 اتصال فیلتر پیسو به سیستم

در رابطه زیر h_o مرتبه هارمونیک می توان فرکانسی تشدید بین سیستم القایی و بانک خازنی را بدست آورد.

$$h_o = \sqrt{\frac{SSC}{Q}}$$



SSC : مقدار اتصال کوتاه مدار برحسب KVA در نقطه اتصال خازن می باشد .

Q : توان بانگ خازنی بر حسب KVar می باشد.

h_o : فرکانس طبیعی هارمونیک می باشد بطور مثال برای یک سیستم 50 HZ برابر

f_{50} و برای یک سیستم 60 HZ برابر f_{60} می باشد .

بطور مثال زمانی که مقدار رابطه $h_o = \sqrt{\frac{SSC}{Q}} = 2/93$ بدست آید و با آن برای مقابله با

هارمونیک سوم خازن و سلف بکار رفته می توانند انجام دهند .

در سیستم 50 HZ فرکانس تشدید که بامنک خازنی و سلف می توانند با آن مقابله تا مقدار 190 HZ خواهد بود .

این مقدار برای $h_o = 3/8$ برای تقسیم 50 HZ خواهد بود و می توان هارمونیک 3 و 5 تغییر پیدا کند .

تغییر فرکانس پایه بین 50 HZ و 60 HZ ولتاژ خازن بین 7% الی 8% تغییر خواهد

کرد این مقدار تغییرات قابل ملاحظه می باشد و برای خازن مورد استفاده در فیلتر باید کافی گردد لذا از خازن طراحی شده برای سیستم 400 V استفاده می شود .

5-2- فیلتر های اکتیو :

فیلتر های اکتیو مبتنی بر تکنولوژی توان الکتریکی می باشند .

این فیلتر ها بطور کلی بصورت موازی با بار غیر خطی قرار می گیرند .

اساس کار فیلتر های اکتیو بدین صورت است که در ابتدا باید سیستم شناسایی کننده آن ،

مولفه های زاید (هارمونیک) جریان بار که یک جریان غیر خطی و محتوی مولفه

هارمونیک است ، شناسایی کند . گاه سیستم اینورتر فیلتر همراه با مدارات کنترلی مربوطه

با یستی مبادرت به تولید مولفه های زاید جریان نماید و آنرا به شبکه تزریق کند تا به این

صورت مولفه های زیاید از خط و منبع حذف گردد .

در بخش شناسایی روش های مختلفی مطرح است که می توان آنها را به دو دسته کلی تقسیم بندی کرد :

دسته اول : روشهایی است که در آنها اثر هر کدام از مولفه های زاید جریان بار ، بر روی مولفه های مختلف توان مورد بررسی قرار گرفته و از این طریق مولفه های هارمونیک شناسایی می شوند . این روش که در سال 1984 توسط Akagi ارائه شد مبتنی بر شناسایی هارمونیک با استفاده از تئوری می توان اکتیو لحظه ای می باشد .

روش دوم : روشهای است که صرفنظر از مفاهیم توان و اینکه هر مولفه زائد از جریان منجر به چه مولفه ای از توان خواهد شد به جریان بار به دید یک سیگنال نگاه می کند و برای جدا سازی مولفه زاید ، به استفاده از یک فیلتر بسیار تیز مولفه لاصلی جریان از جریانی بار جدا می شود و در نتیجه سایر مولفه ها ، به صورت مولفه های زاید شناسایی می شوند.در مورد انتخاب نوع فیلتر آنالوگ یا دیجیتال ، مشخصه فرکانس آن (پایین گذر یا میان گذر) ، بررسی لازم انجام گرفته است و نشان داده شده است که کاربرد فیلتر میان گذر بر فیلتر پایین گذر ارجعیت دارد .

همچنین در این بررسی نشان داده شده است که فیلتر دیجیتالی IIR جهت فیلتر اکتیو مناسب تر است .

باید خاطر نشان کرد روش Akagi در شرایط غیر سینوسی بودن ولتاژ قادر به شناسایی کامل هارمونیک نمی باشد .

از مزایای فیلتر های اکتیو می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- حذف ریسک اضافه بار

- سازگاری با ژنراتور های الکتریکی

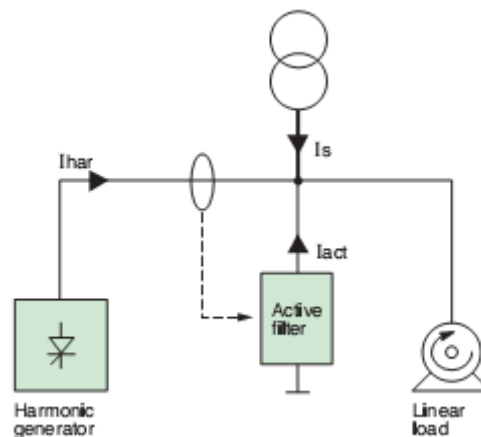
- قابلیت اتصال به هر نقطه از شبکه الکتریکی

- آنها همچنین می توانند ضریب توان را بهبود دهند

نوع دیگر از فیلتر ها به نام فیلتر های هیبرید می باشند . این نوع فیلتر ها مزیت های فیلتر های پیسو و اکتیو را دارا می باشند .

می توانند یکسری فرکانسها را که فیلتر پیسو فیلتر می کند و همچنین یک سری فرکانس که فیلتر اکتیو فیلتر می کند را شامل شده و هر دو فرکانس را فیلتر کند .

شکل (2-5) یک نمونه از آنرا نشان می دهد



شکل 2-5 اتصال فیلتر اکتیو به سیستم

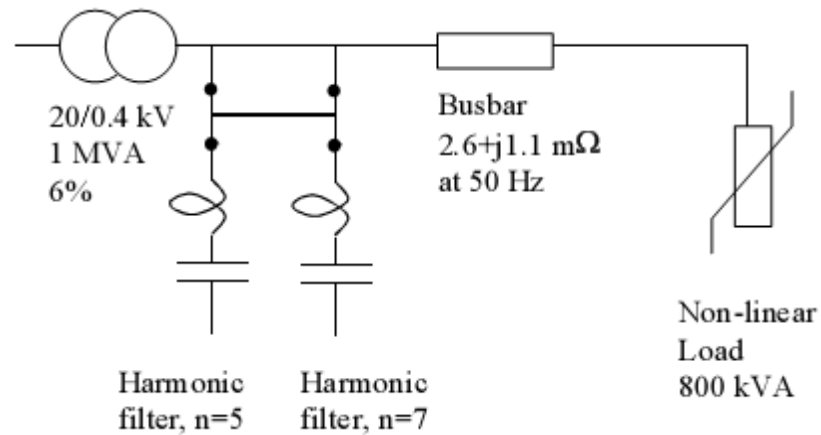
مثال : یک سیستم ولتاژ پایین یک بار غیر خطی را در شکل 3 تغذیه می کند .
مشخصات ترانس :

اتصال 20/04kv , 1MVA , Dyn11

مشخصات بار غیر ضربه ای :

6 ضربه ای یکسو شده توسط دیود با $\cos \varphi = 1$ می باشد .

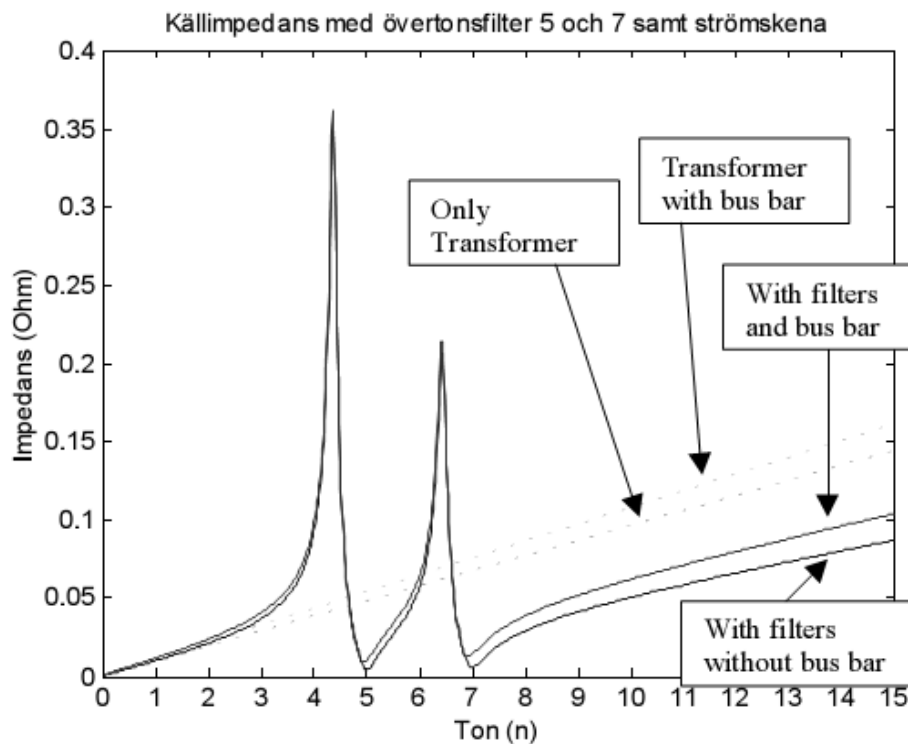
در ثانویه ترانس فیلتر های جهت مقابله با هارمونیک 5 و 7 قرار گرفته اند
فرکانس فیلتر ها بین 250 HZ و 350 HZ می باشند .
ضریب اغتشاش THD در حدود 1% الی 2% می باشد .



شکل 3-5 مثال فیلتر سیستم

بعضی وقت ها قبل از اندازه گیری ولتاژ خط به نورتال و جریان در ثانویه بعد و قبل سوئیچ کردن هر دو فیلتر قطع و وصل می شوند.

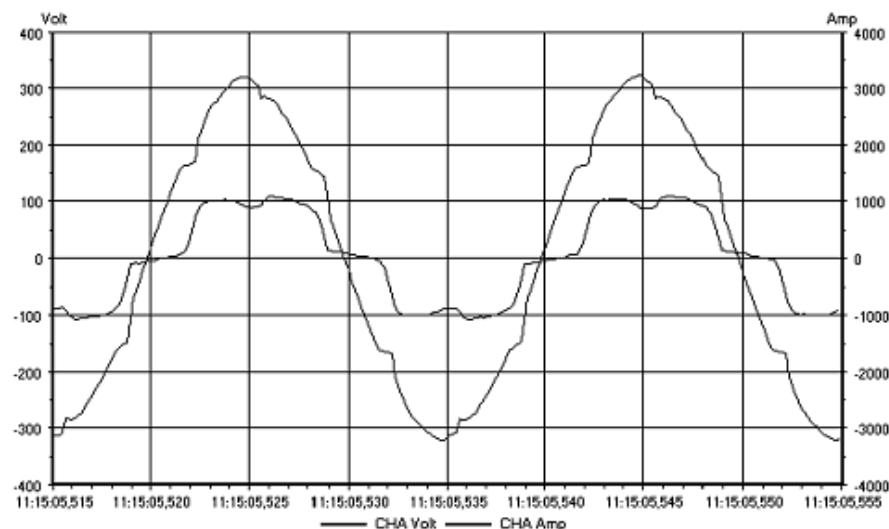
در شکل (4-5) منبع امپدانس دیده شده از دید بار و فیلتر در باس بار نشان داده شده است



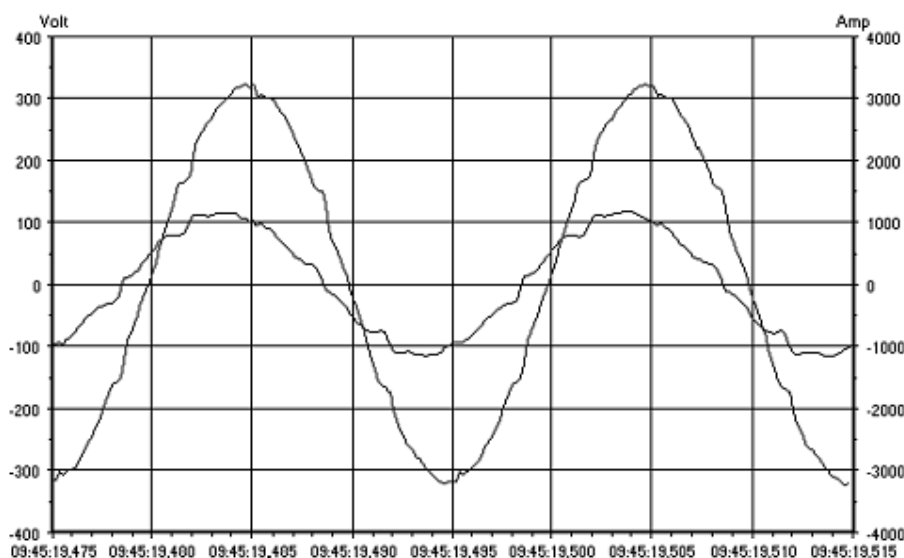
شکل 4-5 منبع امپدانس از دید بار و فیلتر

در امپدانس پایین هارمونیک های 5 و 7 فیلتر می شوند .

در امپدانس بالا هارمونیک های $4/2$ و $6/3$ موازی بار زونانس تراسفورماتور می باشد .
 شکل (5-5) و (5-6) شکل موج ولتاژ جریان را با استفاده از فیلتر و بدون استفاده از
 فیلتر نشان می دهد



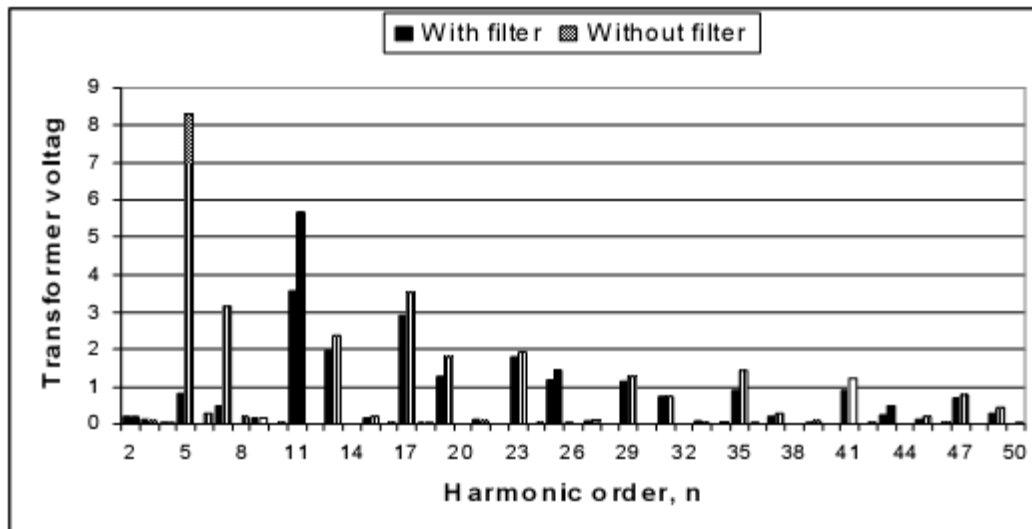
شکل 5-5 شکل موج ولتاژ و جریان بدون استفاده از فیلتر



شکل 5-6 شکل موج ولتاژ و جریان با استفاده از فیلتر

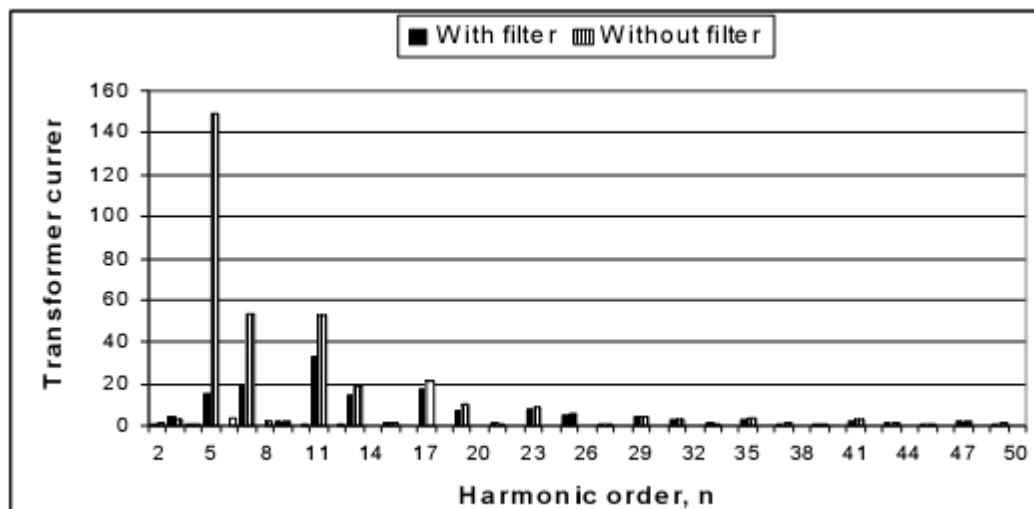
ولتاژ و جریان هارمونیک در بار کامل موثر در شکل 7 و 8 نشان داده شده است .

زمانی که فیلتر در مدار وجود دارد اغتشاش ولتاژ % 2/7 و اغتشاش جریان % 6 می باشد و بدون فیلتر اغتشاش ولتاژ % 5/5 و اغتشاش جریان % 23 خواهد بود که این مقادیر قابل ملاحظه باشند .



5-7 اغتشاش ولتاژ

شکل



5-8 اغتشاش جریان

نتیجه گیری :

بحث کیفیت برق از ابتدای شناخت الکتریسیته مطرح بوده است.

اما آنچه که در گذشته

بعنوان کیفیت برق در نظر گرفته می شود، به دلیل عدم حساسیت زیاد مصرف کننده ها چندان مطرح نبوده است.

امروزه کیفیت برق از اهمیت ویژه ای برخوردار شده است. این اهمیت را می توان ناشی از دلایل زیر دانست:

1 - امروزه بارهای صنعتی به مراتب حساس تر از بارهای قدیمی نسبت به کیفیت برق می باشد.

2 - افزایش بازدهی در گرو کیفیت برق است.

3 - حساسیت کنترل کننده ها .

4 - دنیا به سمت کنترل کننده های حساس اتوماتیک پیش رفته است در نتیجه مسئله کیفیت برق امری لازم و ضروری است.

کیفیت برق در ایران مورد کم توجهی قرار گرفته است در سالهای اخیر استفاده از لامپ های کم مصرف با تبلیغات و توصیه های مختلفی پیشنهاد شده است و تا به حال هیچ گونه مشکل جدی در رابطه با از دست دادن کیفیت برق رسانی به مصرف کنندگان از بابت استفاده از این لامپها گزارش نشده است با توجه به یارانه های اعمالی و راه اندازی کارخانه های تولید کننده این نوع لامپ ها و استقبال مصرف کنندگان، استفاده از این نوع لامپها به صورت فزاینده ای در حال رشد می باشد. چنانچه استفاده از این لامپها افزایش یافته و سهم عمده ای از بازار روشنایی در کل شبکه را در بر گیرد با توجه به بالا بودن ضریب کل اعوجاج THD این گونه لامپها در صد بالایی هارمونیک به شبکه توزیع تزریق می شود و تاثیر سوء آن بر روی تجهیزات الکتریکی شبکه و ... (مراجعه شود به فصل 3) خواهد داشت. در یک آینده نگری شرکت برق به منظور جلوگیری از مشکلات ذکر شده (فصل 3) مجبورند از هم اکنون در فکر طراحی و صرف هزینه های لازم جهت نصب فیلتر های مناسب و تعویض کنتورهای مشترکین باشند، که این مسئله توجیه اقتصادی استفاده از اینگونه لامپها را زیر سوال می برد. از آنجایی که روشنایی یکی از عوامل مهم مصرف انرژی الکتریکی در ساعات اوج شبکه می باشد و به تنهایی در حدود 35 درصد بار پیک را شامل می شود. لازمه

تبلیغ برای تغییر فرهنگ مصرف لامپهای موجود با لامپهای کم مصرف جدید
ضرورتاً نیاز به بررسی و تحلیل کارشناسانه پیرامون اثرات مختلف این موضوع
دارد.

منابع :

- [1]-Richard p. Bingham " HARMONIC – Understanding The Fact "
- [2]-Francisco c. De La Rosa " HARMONIC And Power Systems "
- [3]-Mcgraw Hill Companies,Inc. " HARMONIC " 2005
- [4]-Schneider Electric – Electrical installation guide 2009
"Power Factor Corrtion and Harmonic Filtering "
- [5]-Electrical & Electronic (sptember octobre 2005)
- [6]-Johan Lundquist " On Harmonic Distortion In Power System " Swedwn 2001
- [7]- سيد محمد باقر ساداتي-دکتر عبدالحسين طحاني-دکتر حسن آبروش-محمد متقي مجد " تأثير بارهاي هارمونيكي بر کاهش قدرت نامي ترانسفورماتورهاي توزيع " دانشگاه صنعتي نوشيروان بابل- سيزدهمين کنفرانس برق
- [8]- فرامرز سپري- محمود رضا حقي فام- هادي يوسفی " بررسی تأثير محيط هارمونيكي بر عملکرد تجهيزات در شبکه توزيع " سيزدهمين کنفرانس برق
- [9]- مهدي ترابيان اصفهاني- رحمت ا... هوشمند " بررسی تأثير قوس الكتريكي بروي پديده كيفيت توان در سيستم هاي توزيع " شرکت توسعه و نو سازي هدايت وابسته به وزارت نیرو – دانشگاه اصفهان
- [10]- محمد رضاي " بارهاي هارمونيك زا " امور توزيع توليد نیرو
- [11]- رضا قاضي " طراحي و ساخت فيلتر اکتیو قدرت جهت حذف هارمونيك " دانشگاه فردوسي مشهد
- [12]- شرکت توزيع برق " استاندارد هاي هارمونيك در شبکه توزيع "

