

بررسی و شبیه سازی اثرات منبع ولتاژ غیر سینوسی بر عملکرد موتور القایی سه فاز

احسان رسولی

دانشجوی کارشناسی ارشد برق قدرت

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تحقیقات تهران

پست الکترونیک: e1362r@gmail.com

احسان مراد

دانشجوی کارشناسی ارشد برق الکترونیک

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

پست الکترونیک: ehsan.pars@gmail.com

چکیده: با توجه به پیشرفت کاربرد های موتور های القایی در صنایع لزوم بررسی رفتار این موتورها تحت شرایط مختلف بررسی می شود. در این مقاله موتور القایی تحت شرایطی که ولتاژ ورودی به آن غیر سینوسی باشد در نرم افزار MATLAB /SIMULINK شبیه سازی شده و تأثیر این حالت غیر نرمال بر پارامتر های عملکرد موتور القایی همچون گشتاور، سرعت، لغزش، جریان فازها، طیف هارمونیک و... بررسی شده است. وجود شرایط غیر سینوسی حاکم بر سیستم قدرت از مشکلات شایع کیفیت توان می باشد. ضمن اینکه به چگونگی ایجاد این ولتاژ غیر سینوسی توسط بارهای غیرخطی پرداخته شده است.

کلید واژه: بارهای غیر خطی، موتور القایی، گشتاور، هارمونیک

۱- مقدمه

موتورهای القایی سه فاز در دامنه وسیعی از کاربردها به عنوان یک وسیله تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی استفاده می شوند، محرک های پمپ ها، آسیاب ها و بالابرها نمونه هایی از کاربرد این موتورها در صنعت هستند. حدود ۸۰ درصد بارهای موجود در صنایع الکتریکی موتورهای القایی سه فاز هستند که تغییرات کمی و کیفی منبع ولتاژ سه فاز روی عملکرد آنها به وضوح تأثیر می گذارد.

در این مقاله بحث های دامنه داری را می توان مطرح نمود ولی در اینجا این موضوع در دو حالت مورد بررسی قرار میگیرد.

حالت اول اینکه چه عواملی باعث بروز چنین شرایطی می شوند یا به عبارت بهتر چه شرایطی در سیستم باعث می شوند تا ولتاژ ورودی اعمال شده به موتور غیر سینوسی بوده و دارای اعوجاج باشد.

حالت دوم اینکه بروز چنین شرایطی چه تأثیراتی بر عملکرد

موتور القایی خواهد داشت.

۲- ماهیت هارمونیک ها

هارمونیک ها در دهه ۱۹۲۰ و اواخر ۱۹۳۰ زمانی که شکل موج ولتاژها و جریان های تغییر شکل یافته مشاهده شد تشخیص داده شدند. [4]

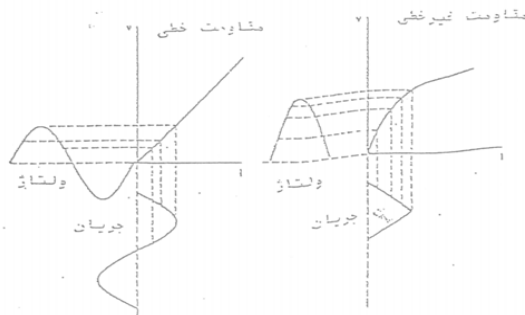
هر شکل موج پریودیک را می توان به صورت ترکیبی از یک مؤلفه ثابت و یک موج سینوسی اصلی به همراه موج های سینوسی با فرکانس هایی که مضارب صحیحی از فرکانس موج اصلی که هارمونیک نام دارند نشان داد.

هارمونیک ها خود به سه دسته تقسیم میشوند: هارمونیک های با توالی فاز مثبت، منفی و صفر.

هارمونیک هایی که دارای توالی فاز یکسان با توالی فاز منبع باشند هارمونیک های با توالی فاز مثبت می باشند.

وآنهایی که دارای توالی فاز مخالف با توالی فاز منبع باشند هارمونیک های با توالی فاز منفی می باشند.

در سیستم قدرت، ترانسفورماتورهای قدرت بودند که در اثر گذر از نقطه کار زانوی مغناطیسی هسته بوجود می آمدند. با پیشرفت علم الکترونیک و کاربرد المان های الکترونیکی در وسایل مختلف، سیستم های قدرت نیز شاهد ظهور بارهای غیرخطی شده است. عناصر غیرخطی جزئی از مدارهای الکتریکی می باشد که در آن ولتاژ متناسب با جریان نمی باشد. به عنوان مثال دو مقاومت که دارای مشخصه $V-I$ مطابق شکل (۱) هستند را در نظر بگیرید یکی از مقاومت ها خطی و دیگری یک مقاومت غیرخطی است، یعنی اگر یک ولتاژ سینوسی به دو مقاومت اعمال شود جریان در مقاومت غیرخطی تغییر شکل می دهد این یک پدیده اساسی در ایجاد هارمونیک ها در سیستم می باشد. البته عموماً عناصر غیرخطی غیر مقاومتی هستند.



شکل ۱: تغییر شکل موج جریان به علت مقاومت غیرخطی

بیشترین تولید هارمونیک در سیستم توزیع به علت وجود بارهای غیرخطی و یا تجهیزاتی است که در آنها قطع و وصل های مکرر و سریع انجام می گیرد. هارمونیک ها در اثر ایجاد اعوجاج در شکل موج سینوسی ولتاژ ایجاد می شوند. تمامی بارهای مولد هارمونیک مؤلفه اصلی جریان را از شبکه گرفته و هارمونیک هایی را به شبکه تزریق می کنند سپس این هارمونیک ها در کل شبکه پخش می شوند. هارمونیک های ناشی از بارهای غیرخطی، هارمونیک های دائمی هستند ولی منابعی نیز مانند کلیدزنی، اتصال کوتاه و جریان هجومی ترانسفورماتورها وجود دارند که موجب بوجود آمدن جریان و هارمونیک های گذرا در شبکه می شوند. این هارمونیک ها مدت زمان کوتاهی در شبکه ظاهر شده و توسط مقاومت شبکه میرا می شوند. بطور کلی سه دسته از عناصر غیرخطی وجود دارند که منابع اصلی ایجاد هارمونیک ها در سیستم های

لازم به یادآوری است که به دلیل نبود سیم برگشت (سیم متصل به مرکز ستاره) توالی فاز صفر وجود ندارد. همانطور که گفته شد در حالت عملکرد عادی موتور فقط توالی فاز مثبت وجود دارد یعنی فقط هارمونیک هایی وجود دارند که دارای توالی فاز مثبت باشند. مانند هارمونیک های اول و هفتم و... ولی با ایجاد شرایط غیر سینوسی (معوج شدن شکل موج ولتاژ تغذیه) هارمونیک های با توالی فاز منفی نیز در شکل موج ولتاژ به چشم می خورد.

بنابراین بواسطه ولتاژ با توالی فاز منفی میدان چپگرد استاتور شکل می گیرد و این میدان چپگرد نیز به نوبه خود در روتور القای جریان کرده و میدان دوار تولید می کند.

بر اساس شار توالی های فاز مثبت و منفی رتور و استاتور ما چهار نوع گشتاور خواهیم داشت:

-گشتاور ناشی از برهم کنش میان شارهای توالی فاز مثبت استاتور و توالی فاز مثبت رتور که تولید گشتاور راستگرد میکند.

-گشتاور ناشی از برهم کنش میان شارهای توالی فاز منفی استاتور و توالی فاز منفی رتور که تولید گشتاور چپگرد میکند.

-دو گشتاور دیگر نیز عبارتند از برهم کنش میان شارهای با توالی فاز مخالف در رتور و استاتور می باشند.

یعنی برهم کنش بین شارهای با توالی فاز مثبت استاتور و توالی فاز منفی رتور و برهم کنش بین شارهای با توالی فاز منفی استاتور و توالی فاز مثبت رتور می باشد.

این گشتاورها را گشتاور ضربانی گویند و دارای مقدار متوسط صفر می باشد.

تاثیر این گشتاورهای ضربانی ایجاد لرزش های مکانیکی و ایجاد صدای هوم و نیز کاهش عمر موتور می باشد. [2]

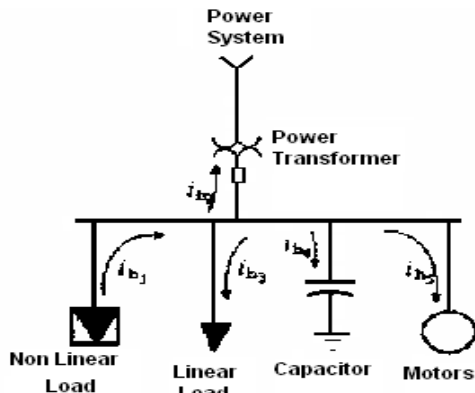
۳- منابع ایجاد هارمونیک

شناخت و بررسی تجهیزات تولیدکننده هارمونیک می تواند کمک موثری به شناخت اثرات نامطلوب و همچنین چگونگی مقابله با آنها و ضرورت حذف آنها نماید تا سال های نه چندان دور تنها منابع ایجاد جریان های هارمونیکی

توزیع به شمار می روند:

وسایل فرومغناطیسی مانند ترانسفورماتور ها، راکتورهای فوق اشباع، موتورها، ژنراتورها.

شکل (۲) نشان داده شده است باعث شارش جریان هارمونیکی و دارای اعوجاج به سیستم قدرت و دیگر اجزا موجود در سیستم قدرت می شود.



شکل ۲: دیاگرام تک خطی شارش جریان دارای اعوجاج ناشی از بار غیر خطی به سیستم قدرت و دیگر اجزاء موجود در سیستم

مبدلهای قدرت الکتریکی مانند مبدل های DC/AC, AC/DC و درایورهای با سرعت متغیر، کوره های القایی، جبران کننده های استاتیکی وار (SVC) و غیره .

تجهیزات تخلیه ای مانند کوره ذوب فلزات یا قوس الکتریکی، لامپ فلورسنت، جیوه ای و ماشین های جوشکاری.

البته در دسته بندی دیگری بارهای غیرخطی را به چهار گروه به صورت زیر تقسیم بندی می کنند:

گروه ۱: بارهای غیرخطی با پالس های مجزا در هر سیکل که مربوط به وسایلی مانند تلویزیون، ویدئو، رادیوپخش، لامپهای کم مصرف با بالاست الکترونیکی و سیستم کنترل دور تک فاز می باشد. این شکل موج بسته به پهنای پالس می توانند دارای اعوجاج هارمونیکی کلی از ۴۰ % به ۱۶۰ % باشند.

گروه ۲: بارهای غیرخطی با موج های دوزنقه ای یا نزدیک به موج مربعی که مربوط به یکسوکننده های تک فاز با اندوکتانس صاف کننده بالا، باطری شارژرها، سیستم های کنترل دور موتورهای سریع دسته ای از بالاست های الکترونیکی با فیلتر مخصوص و بالاخره اینورترهای نوع منبع جریان می باشد.

گروه ۳: بارهای غیرخطی با پالس در هر نیم سیکل که مربوط به سیستم های کنترل دور سه فاز بوده و اعوجاج هارمونیکی کلی آنها به ۱۰۰ % می رسد که با اتخاذ تدابیری جهت حذف هارمونیک سوم با معرفی اندوکتانس ورودی می توان میزان آنها را به ۶۰ % کاهش داد.

گروه ۴: بارهای غیرخطی با شکل موج سینوسی معوج ناشی از وسایل فرومغناطیسی شامل ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی و همچنین تجهیزات تخلیه ای که اعوجاج هارمونیکی کل جریان آنها تقریباً به ۲۰ % می رسد. [4]

بار غیر خطی و موتور القایی بر روی یک باس قرار دارند ولی بین آنها امپدانس وجود دارد. جریان دارای اعوجاج ناشی از بار غیر خطی با عبور از امپدانس واسط بین بار غیر خطی و موتور القایی افت ولتاژ غیر سینوسی ایجاد می کند. و به تبع آن ولتاژ ورودی به موتور با وجود این افت ولتاژ غیر سینوسی روی امپدانس واسط غیر سینوسی و معوج می شود. [3]

۴- شبیه سازی عملکرد موتور القایی سه فاز تحت

شرایط منبع ولتاژ غیر سینوسی

مشخصات موتور القایی مورد استفاده در شبیه سازی در شکل (۳) نشان داده شده است. در شبیه سازی این حالت ما سه هارمونیک را در نظر می گیریم: هارمونیک اول با مقدار ۷۲۰ و هارمونیک پنجم با مقدار ۸.۱۸ درصد و هارمونیک هفتم با مقدار ۲.۷۳ درصد.

هارمونیک های اول و هفتم دارای توالی فاز مثبت و هارمونیک پنجم دارای توالی فاز منفی می باشد.

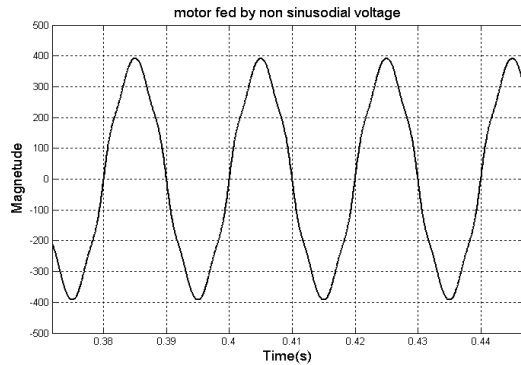
وجود همین هارمونیک پنجم (مجموعه سه فاز هارمونیکی منظور است) باعث غیر سینوسی شدن ولتاژ می شود. بنابراین برای ایجاد شکل موج مناسب برای تغذیه موتور ترتیب فازها را به صورت نشان داده شده در شکل (۴) تغییر می دهیم.

ضمناً با تغییر دامنه این هارمونیک ها میزان اعوجاج در شکل موج ولتاژ را تغییر می دهیم.

وجود چنین بارهایی در سیستم قدرت همانطور که در

اصلی و هارمونیک های پنجم و هفتم به توان دو می باشد.

ولتاژ غیر سینوسی اعمال شده به موتور در این شبیه سازی ولتاژی با $THD=4.98\%$ می باشد که در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: شکل موج ولتاژ تغذیه یک فاز موتور با $THD=4.98\%$

همانطور که در شکل نشان داده شده است نمودار ولتاژ از حالت سینوسی خود خارج شده است

در حالتی که ولتاژ ورودی به موتور غیر سینوسی باشد شکل موج گشتاور الکترومغناطیسی دارای نوسان خواهد شد و همین اتفاق قاعدتا برای سرعت هم رخ خواهد داد که روابط زیر این موضوع را ثابت می کنند.

$$T = J \times \alpha \quad (2)$$

$$\omega = \int \alpha \times dt \quad (3)$$

که در این رابطه T ، ω ، α و J به ترتیب گشتاور، سرعت زاویه ای، شتاب زاویه ای و ممان اینرسی می باشند. بر طبق این رابطه نوسان گشتاور موجب نوسان شتاب زاویه ای و نوسان شتاب زاویه ای ضمن گرفتن انتگرال از آن موجب نوسان سرعت می شود بنابراین اگر نوسان گشتاور سینوسی بود نوسان سرعت هم سینوسی می شود.

در شکل (۶) شکل موج گشتاور و در شکل (۸) شکل موج سرعت نشان داده شده است.

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor or squirrel cage) modeled in the dq rotor reference frame. Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point. Press help for inputs and outputs description.

You can specify initial values for stator and rotor currents. In the Initial conditions parameter you have the possibility to specify the stator current only:

[s] th(deg) isa,isb,isc(p.u.) pha,phb,phc(deg)]

Or you can choose to enter the stator and the rotor initial currents:

[s] th(deg) isa,isb,isc(p.u.) pha,phb,phc(deg) ira,irb,irc(pu) pha,phb,phc]

Parameters

Rotor type: **Wound**

Reference frame: **Rotor**

Nom. power,L-L, volt. and freq. [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]:
[**3746, 220, 60**]

Stator [Rs(ohm) Ls(H)]:
[**0.435 2.0e-3**]

Rotor [Rr(nhm) Lr(H)]:
[**0.816 2.0e-3**]

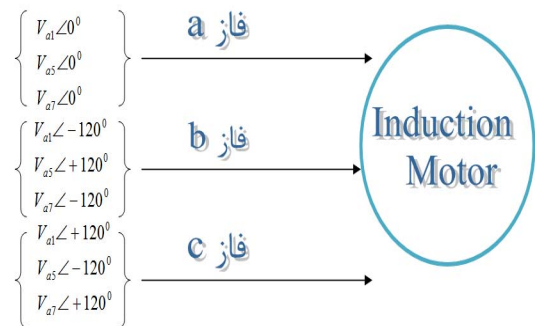
Mutual inductance Lm (H):
[**69.31e-3**]

Inertia,friction factor and pairs of poles [J(kg.m²) F(N.m.s) p0]:
[**0.089 0 2**]

Initial conditions (read the details in the description above)
[**1.0 0.0 0.0**]

OK Cancel Help Apply

شکل ۳: مشخصات موتور القایی استفاده شده در شبیه سازی



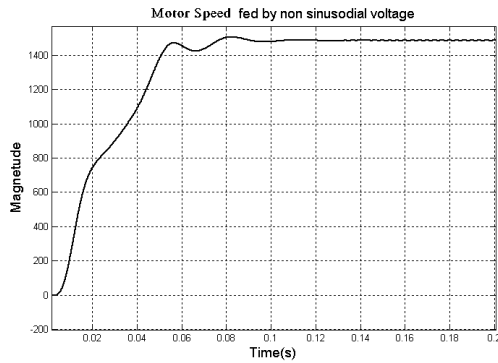
شکل ۴: طرز تغذیه استاتور برای اعمال ولتاژ غیر سینوسی

قبل از درج نتایج حاصل از شبیه سازی لازم است(ضریب اعوجاج کلی یک موج مختلط)¹ THD معرفی شود:

بر طبق استاندارد مقدار این ضریب نباید از ۵٪ تجاوز کند

$$THD = \frac{\sqrt{(V_{a5}^2 + V_{a7}^2)}}{\sqrt{(V_{a5}^2 + V_{a7}^2 + V_{fun}^2)}} \quad (1)$$

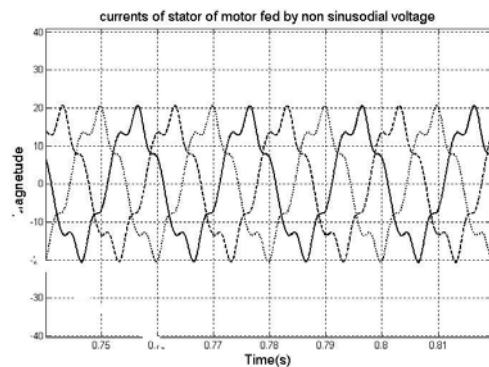
که در آن به ترتیب V_{a5}^2 ، V_{a7}^2 و V_{fun}^2 مقدار موثر مولفه



شکل ۸: شکل موج سرعت موتور تغذیه شده بوسیله ولتاژ غیر سینوسی

همانطور که مشاهده می شود در پی نوسان گشتاور سرعت نیز دچار نوسان می شود که فرکانس نوسان آن همان فرکانس نوسانات گشتاور می باشد.

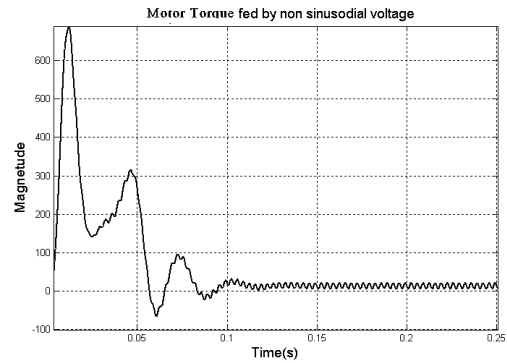
در پی اعمال ولتاژ غیر سینوسی به موتور جریان موتور هم تحت تاثیر این ولتاژ قرار گرفته و از حالت سینوسی خالص خارج می شود. شکل (۹) این شکل موج را نشان می دهد.



شکل ۹: شکل موج های جریان استاتور تغذیه بوسیله ولتاژ غیر سینوسی

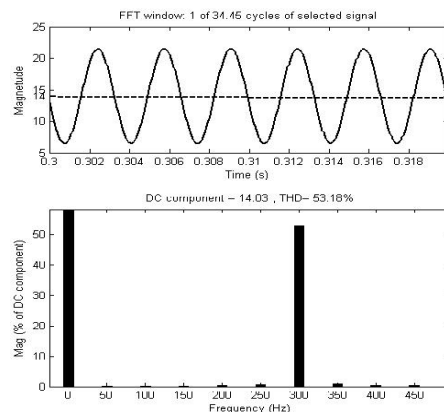
چون شکل موج ولتاژ اعمالی از طرف استاتور غیر سینوسی می باشد جریان نیز متناسب با آن معوج شده است.

برای درک بهتر شکل موج ولتاژ و جریان طیف هارمونیک این دو شکل موج در شکل های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۶: شکل موج گشتاور موتور تغذیه شده بوسیله ولتاژ غیر سینوسی

همانطور که در شکل موج گشتاور مشاهده می شود معوج شدن شکل موج ولتاژ ورودی به موتور باعث نوسانی شدن گشتاور در حالت ماندگار می شود. که فرکانس این نوسانات از مرتبه ششم فرکانس تغذیه می باشد (۳۰۰ Hz). که برای درک بهتر این مورد طیف هارمونیک آن نیز در شکل (۷) آورده شده است.



شکل ۷: طیف هارمونیک شکل موج گشتاور

همانطور که مشاهده می شود این شکل موج دارای یک مقدار DC با اندازه ۱۴ نیوتن متر می باشد

و یک موج سینوسی با فرکانس ۳۰۰ Hz می باشد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله در ابتدا به معرفی ماهیت هارمونیک ها پرداخته که دارای چه اثری بر روی پارامترهای ماشین هستند. در ادامه به معرفی منابع ایجاد هارمونیک پرداخته و اینکه چگونه باعث شارش جریان هارمونیکی به شبکه و موتور می شوند.

و در شبیه سازی حالتی بررسی شد که ولتاژ هارمونیکی متاثر از هارمونیک هفتم و تاثیر آشکار هارمونیک پنجم به عنوان یک هارمونیک توالی فاز منفی و نیز تغییری در محتوای هارمونیکی ولتاژ تغذیه ایجاد می کند که در نهایت می تواند بر رفتار موتور تاثیر بگذارد.

سپاسگزاری

در پایان از زحمات مهندس آرش خشوعی و مهندس قاسم عیسی پره که در تهیه این مقاله به ما یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

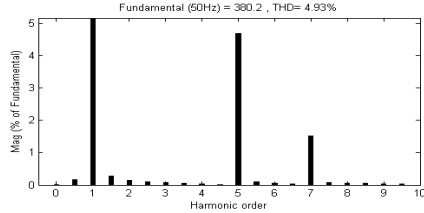
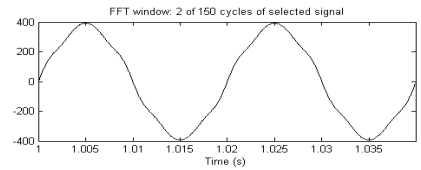
مراجع

[1]-john s. hsu” Monitoring of Defect in induction motor through air-gao torque observation”vol. 31,no. 5,September/October 1995

[2]-Ricardo Carvalho , J.O "Dynamic Performance ۳ of Induction Motor under non Sinusoidal Condition"2002 IEEE

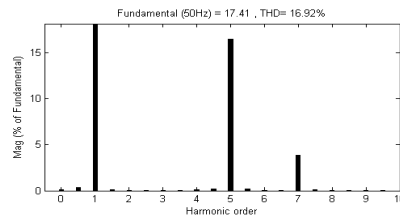
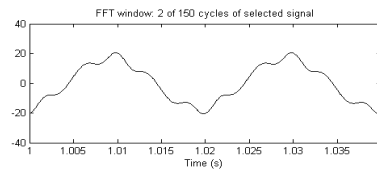
[3]- Arfat Siddique, G.S.Yadava and Bhim Singh ۴ "Identification of Three Phase Induction Motor IncipientFaults using Neural Network" 19-22 September 2004

[4]- احمد سالم نیا، "هارمونیک ها در سیستم های قدرت و روش های حذف آنها"، نشریه علمی و پژوهشی برق شماره ۲۳ سال ۱۳۷۶



شکل ۱۰: شکل موج ولتاژ و طیف هارمونیکی آن

همانطور که در این شکل مشاهده می شود مقدار هارمونیک پنجم بیشتر از هارمونیک هفتم می باشد. همچنین مقدار $THD = 4.93\%$ می باشد.



شکل ۱۱: شکل موج جریان و طیف هارمونیکی آن

با مقایسه دو طیف هارمونیکی جریان و ولتاژ به خوبی قابل مشاهده است که همان هارمونیک هایی که ولتاژ دارد جریان نیز دارد.

در طول راه اندازی موتور القایی سه فاز نوساناتی را در گشتاور خود خواهد داشت. این نوسانات سریعاً با زمان کاهش پیدا می کند. اگر چه مقدار گشتاور در بعضی از لحظات می تواند منفی باشد ولی مقدار متوسط این گشتاور برای عملکرد ماندگار مثبت می باشد. در بسیاری از کاربردها این نوسانات در نظر گرفته نمی شود. و منحنی گشتاور-سرعت برای توصیف کردن رفتار موتور در حالت ماندگار به کار برده می شود. تحت شرایط غیر سینوسی برای مثال در صورت وجود اعوجاج در شکل موج ولتاژ ممکن است نوسانات گشتاور در طول راه اندازی به طور کامل کاهش نیافته و با دامنه کوچک در حالت ماندگار ادامه پیدا کند.