# THD
# به زبان ساده

**تهیه شده توسط مرکز اسناد فنی و مدارک مهندسی شرکت فاراتل**

**استفاده از مطالب با درج نام وآدرس وب سایت شرکت فاراتل بـلامانع می‌باشد.**

Document Version: 1.0.1 (1387-08-15)
Sales Dep. Tel: (+98 21) 6670 0001-5 / Support Dep. Tel: (+98 21) 6680 9495-7
Technical Documentation Dep. Tel: (+98 21) 6682 1222
URL: http://www.faratel.com

**فهرست** **صفحه**

**مقدمه ..... ۱**

**۱- THD (Total Harmonic Distortion) ..... ۱**

**۲- عوامل ایجاد هارمونیک‌ها ..... ۲**

۲-۱- دسته اول: مبدل‌های الکترونیکی قدرت ..... ۲

۲-۲- دسته دوم: وسایل فرومغناطیسی ..... ۳

۲-۳- دسته سوم: تجهیزات تخلیه‌ای ..... ۳

**۳- اثرات هارمونیک‌ها ..... ۴**

**۴- حذف هارمونیک‌ها ..... ۴**

**۵- نقش یوپی‌اس‌های فاراتل در کنترل هارمونیک شبکه ..... ۵**

**۶- استانداردهای هارمونیک‌ها ..... ۷**

**۷- مراجع ..... ۹**

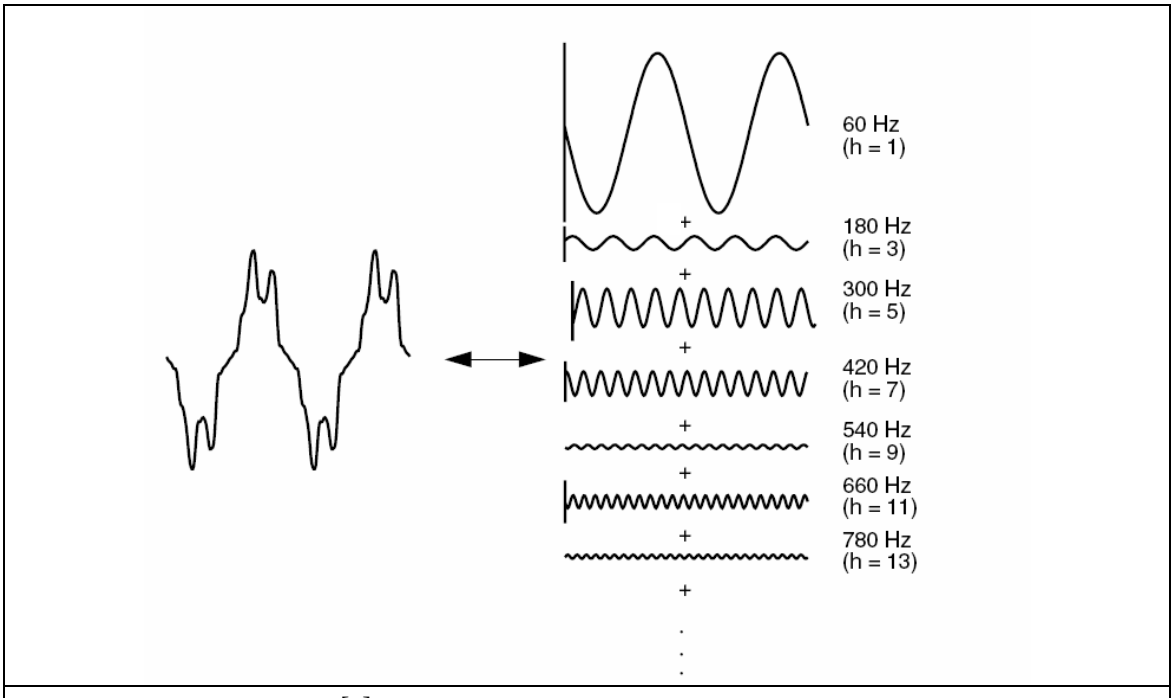
## مقدمه

اغلب هنگامی که جدول مشخصات یک یوپی‌اس را می‌خوانیم، با عبارت THD و یا اعوجاج هارمونیکی کل مواجه می‌شویم. هدف ما دراین مقاله آن است که تا حد امکان مفهوم تئوری و کاربرد عملی این اصطلاح را در صنعت یوپی‌اس برای شما خواننده محترم مشخص نماییم. در ادامه تلاش شده است تا عوامل ایجاد هارمونیک‌ها به تفکیک بیان گردد و برای درک بهتر موضوع نمودارهایی نیز آورده شده است. همچنین اثرات انواع هارمونیک‌های جریان و ولتاژ بر روی تجهیزات مختلف به گونه‌ای آورده شده است تا لزوم حذف و کاهش هارمونیک‌ها در سیستم قابل درک باشد. پس از بررسی اثرات و مضرات هارمونیک‌ها به روش‌های حذف آن می‌پردازیم و در نهایت نقش یوپی‌اس‌های فاراتل در کنترل هارمونیک شبکه را بررسی می‌نماییم.

## ۱- THD (Total Harmonic Distortion)

THD یا اعوجاج هارمونیک کل، یک پارامتر کیفی بوده و نمایانگرآن است که یک شکل موج یا سیگنال تا چه حد به شکل موج سینوسی نزدیک می‌باشد. مقدار THD بر حسب درصد بیان شده و هرچه میزان THD کمتر باشد شکل موج سینوسی دارای کیفیت بهتری بوده و بلندگو، آمپلی فایر، یوپی‌اس و یا دیگر تجهیزات قادر خواهند بود تا سیگنال‌ها را با کیفیت بهتر انتقال دهند. به طور مثال یک نوازنده ویولن را در نظر بگیرید؛ هر چه این فرد بتواند یک نت را صاف، بدون نویز و یا بدون صداهای مزاحم دیگر بنوازد آنگاه می‌توانیم بگوییم او سیگنالی با اعوجاج هارمونیکی کمتری تولید کرده است.

اگر بخواهیم از دیدگاه ریاضی به این منظر بنگریم، طبق تئوری سری فوریه می‌توانیم هر شکل موج متناوب را از مجموع یک سری از سینوسی‌ها با مضارب تناوب شکل موج اصلی بسازیم. بعنوان مثال شکل موج سمت چپ در شکل شماره ۱-۱ را در نظر بگیرید که فرکانس تناوب آن ۶۰ هرتز است. اگر از این سیگنال سری فوریه بگیریم می‌توانیم آنرا به کمک مجموع یک سری از سینوسی‌ها، همانطور که در سمت راست شکل شماره ۱-۱ نشان داده شده است بازسازی نمائیم.




شکل شماره ۱-۱- نمایش سری فوریه موج اعوجاج دار [۱]

THDشکل موج فوق در واقع یک معیار عددی است که بصورت کلی نشان می‌دهد که برای بازسازی شکل موج اصلی تا چه حد به هارمونیک‌هایی غیر از مولفه ۶۰ هرتز نیاز داریم.

بعد از این مقدمه مختصر در ارتباط با مفهوم کلی THD، به سراغ رابطهٔ محاسباتی آن می‌رویم.
سیگنال فرضی F(t) را با فرکانس f در نظر بگیرید، در صورتی که از این سیگنال سری فوریه در فرکانس پایه f بگیریم و مقدار موثر مولفه‌های ضرایب فرکانس پایه را به ترتیب $H_{1.f}$، $H_{2.f}$، $H_{3.f}$، .... $H_{n.f}$ بنامیم آنگاه مقدار THD سیگنال F(t) از رابطهٔ ذیل بدست خواهد آمد:

$$THD[F(t)] = \frac{H_{2.f}{}^2 + H_{3.f}{}^2 + ... + H_{n.f}{}^2}{H_1{}^2} \qquad (۱)$$

تعریف بالا منطبق بر استاندارد IEC 61000 3.3.24 است که THD به صورت نسبت مقدار موثر هارمونیک‌ها به مؤلفه پایه بیان می‌گردد همچنین ممکن است درمقالات دیگری به مقدار TDF یا فاکتور اعوجاج کل برخورده باشید که طبق استاندارد IEC 61000 3.3.24 تعریف دیگری برای محاسبه مقدار هارمونیک‌های سیستم است و به صورت نسبت مقدار موثر هارمونیک‌ها به مقدار موثر کل بیان می‌گردد.

$$TDF[F(t)] = \frac{V_{RMS}^2 - V_1^2}{V_{RMS}^2} \qquad (۲)$$

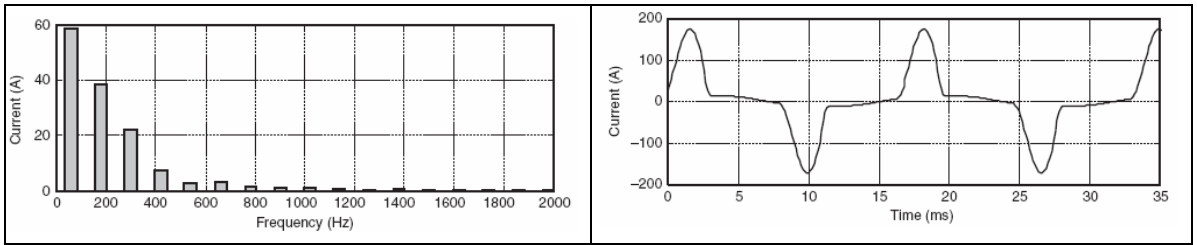
در اکثر مواقع THD به صورت درصدی از فاکتور اعوجاج یا به صورت dB در تضعیف اعوجاج بیان می‌گردد. [۲]

## ۲- عوامل ایجاد هارمونیک‌ها

یکی از عوامل ایجاد هارمونیک‌ها به کارگیری المان‌ها و بارهای غیرخطی در سیستم است که باعث ایجاد سیگنال‌های غیرسینوسی جریان و ولتاژ در شبکه قدرت شده که خود موجب پیدایش اعوجاج در موج اصلی جریان و ولتاژ می‌گردد. با گسترش بارهای غیرخطی، اعوجاج ولتاژ در سیستم‌های قدرت شکل می‌گیرد که با انتقال از منبع به سمت بارها به علت امپدانس سیستم میزان آن افزایش می‌یابد. در زیر به سه دسته اساسی از عوامل ایجاد هارمونیک‌ها اشاره می‌گردد. [۳ و ۴]

### ۱-۲- دسته اول: مبدل‌های الکترونیکی قدرت

شامل مبدل‌های الکترونیکی قدرت مانند یکسوکننده‌ها و اینورترها می‌باشد. به عنوان نمونه جریان و هارمونیک منبع تغذیه سوئیچینگ که در ورودی شبکه‌ای با حدود ***۳۰ کامپیوتر*** قرار دارد در شکل شماره ۱-۲ آورده شده است. جریان ورودی در ***شبکه‌هایی با بار کامپیوتری*** که غیرخطی می‌باشند آنچنانکه در زیر نشان داده شده است از هارمونیک بالایی برخوردار است. با توجه به میزان هارمونیک بالای جریان ورودی این بارها لزوم استفاده از یوپی‌اس‌ها با THD پایین برای حذف وکاهش این هارمونیک‌ها قابل درک است.

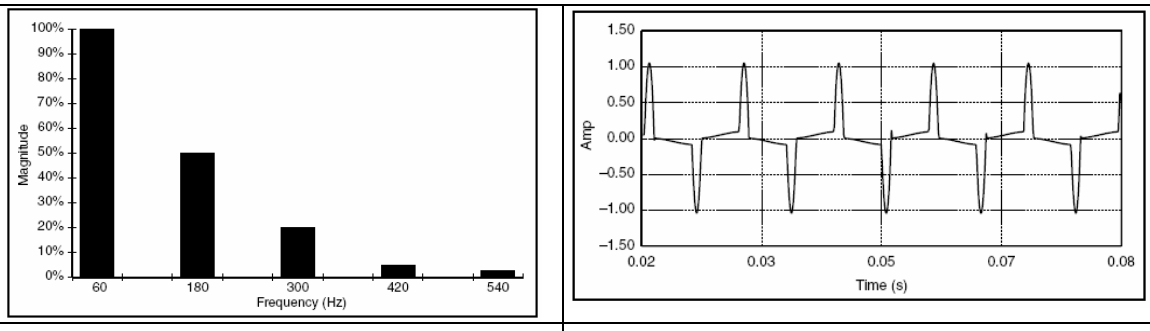



الف | ب

شکل شماره ۱-۲- (الف) طیف جریان و (ب) هارمونیک برای منبع تغذیه سوییچینگ (SMPS) [۱]

**۲-۲- دسته دوم: وسایل فرومغناطیسی**

این دسته شامل ترانس‌ها و ماشین‌های الکتریکی می‌باشند که شکل هارمونیک جریان آن هنگامی که در حالت اشباع شده قرار دارنـد در شکل شماره ۲-۲ آمده است.

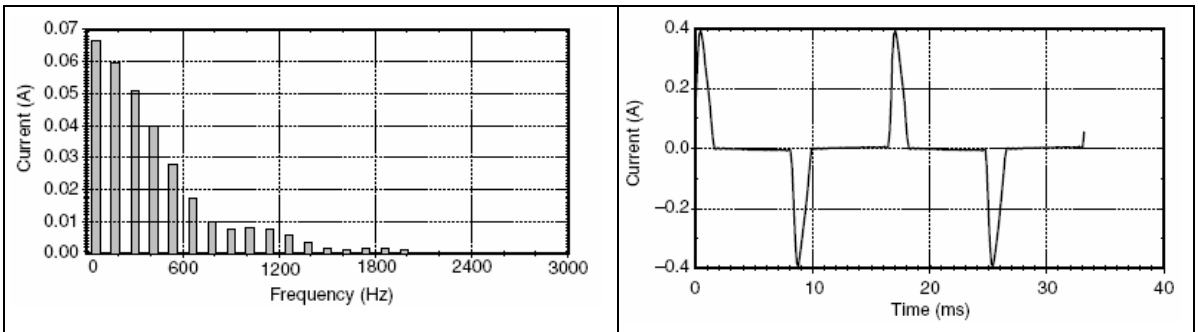



الف — ب

شکل شماره ۲-۲- (الف) طیف جریان و (ب) هارمونیک برای ترانسفورمرهای مغناطیسی [۱]

**۲-۳- دسته سوم: تجهیزات تخلیه‌ای**

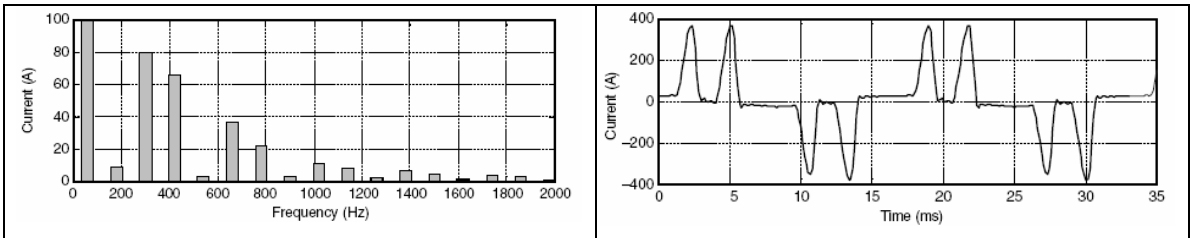
شامل لامپ‌های فلورسنت، لامپ‌های بخار سدیم و کوره‌های القایی می‌باشد که شکل هارمونیک آن نیز در زیر آمده است.




الف — ب

شکل شماره ۳-۲- (الف) طیف جریان و (ب) هارمونیک برای لامپ‌های فلورسنت [۱]

از دیگر عوامل تولید هارمونیک‌ها می‌توان به شارژرهای باتری، مبدل‌های فرکانسی، درایورهای سرعت قابل تنظیم (PWM)، بانک‌های خازنی، کامپیوترها، کوره‌های قوس و غیره اشاره نمود که برای نمونه شکل جریان و هارمونیک PWM در زیر آمده است.




الف — ب

شکل شماره ۴-۲- (الف) طیف جریان و (ب) هارمونیک برای درایورهای سرعت قابل تنظیم (PWM) [۱]

## ۳- اثرات هارمونیک‌ها

برای بررسی تاثیر زیان‌بار هارمونیک‌ها می‌توان آنها را به دو دسته کلی تقسیم نمود:

- هارمونیک‌های جریان
- هارمونیک‌های ولتاژ

هارمونیک‌ها باعث افزایش جریان خازن‌ها، تلفات در ترانسفورمرها، موتورها، هادی‌ها و اختلال در عملکرد سیستم‌های کنترل، حفاظتی و ارتباطی می‌گردند. هارمونیک‌های ایجاد شده توسط بارهای غیرخطی می‌توانند بر روی بارهای مرتبط در محل اتصال تاثیر زیادی بگذارند.

تاثیر اصلی هارمونیک‌های ولتاژ به صورت زیر طبقه‌بندی می‌گردد: [۳]

- گرم شدن اضافی ماشین‌ها و کابل‌های برق
- خرابی بانک‌های خازنی

اثرات هارمونیک‌های جریان را می‌توان به صورت زیر طبقه بندی نمود:

- ایجاد تداخل در سیستم‌های مخابراتی که میزان تداخلات بستگی به مسیر و اندازه هارمونیک‌ها دارد.
- ایجاد تلفات اضافی در ترانس‌ها و ماشین‌های الکتریکی
- افزایش تلفات در خطوط انتقال

از موارد دیگر تأثیر هارمونیک‌ها در وسائل اندازه‌گیری می‌باشد. همچنین هارمونیک‌ها باعث عملکرد نامناسب رله‌ها، کلیدها، فیوزها و سیستم‌های فرمان از راه دور می‌گردند. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان اثرات هارمونیک‌ها را به چهار دسته اصلی تقسیم نمود.

- اثرات بر عایق‌های تجهیزات
- اثرات گرمایی بر تجهیزات
- عملکرد نامناسب تجهیزات شبکه قدرت
- تاثیر روی مدارهای ارتباطی

## ۴- حذف هارمونیک‌ها

یکی از کاربردی‌ترین روش حذف هارمونیک‌ها استفاده از فیلترها است. وظیفه اصلی یک فیلتر جلوگیری از عبور جریان‌های هارمونیکی و یا کاهش آن‌ها در مسیر اصلی است فیلترها به دو دسته کلی اکتیو و پسیو تقسیم می‌شوند.

در این جا به چند نوع فیلتر و دیگر روش‌های اصلاح اثرات منفی هارمونیک‌ها در سیستم اشاره می‌نمائیم. [۱ و ۴]

- به کار بردن مدارات PFC[1] یا تصحیح ضریب توان که برای حذف هارمونیک‌های جریان و به دنبال آن کاهش هارمونیک ولتاژ در سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند و وظیفه آنها به حداقل رساندن اعوجاج و کاهش اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان به صورت یک شبیه ساز مقاومت است (فیلتر اکتیو).
- اضافه نمودن فیلتر شنت در سیستم که کاملا پاسخ آن را تغییر داده و در اکثر موارد، پاسخ را بهبود می‌بخشد. فیلتر شنت هارمونیک‌های جریانی را در نزدیکی منبع تولید اعوجاج اتصال کوتاه نموده و بدین ترتیب علاوه بر برطرف شدن جریان هارمونیک، ضریب قدرت نیز اصلاح می‌گردد همچنین به دلیل صرفه اقتصادی این روش یکی از رایج‌ترین فیلترهای قابل اجرا است.
- اضافه نمودن راکتور خطی یا ترانسفورمر به صورت سری به طور قابل توجهی هارمونیک‌ها را کاهش می‌دهد. رآکتور را بین خازن‌های اصلاح ضریب قدرت و منبع تغذیه قرار می‌دهند تا رزونانس‌های به وجود آمده بین اندوکتانس سیستم و خازن‌های اصلاح ضریب قدرت را بدون تغییر ظرفیت خازن‌ها حذف نماید.

[1] -Power Factor Correction

- تغییر ظرفیت خازن‌ها، که یکی از کم هزینه‌ترین روش‌ها برای سیستم برق شهر و مصرف‌کننده صنعتی است.
- تغییر مکان خازن به نقطه‌ای دیگر از سیستم که دارای امپدانسی متفاوت است.
- برداشتن خازن‌ها و به دنبال آن پذیرش اتلاف بالا، ولتاژ کمتر و Power Factor Penalty. در صورتی که این روش بصورت تکنیکالی عملی باشد، از جمله گزینه‌های مطلوب اقتصادی می‌باشد.
- با پیشرفت ادوات نیمه‌هادی و امکان استفاده از کنترلرهای پیچیده می‌توان حداکثر کنترل را بر روی شکل موج‌های جریان ورودی و یا ولتاژ خروجی یوپی‌اس اعمال نمود. شرکت فاراتل در راستای اهداف خود، همواره برای پیشرو بودن در زمینه استفاده از تکنولوژی‌های نوین تلاش نموده است. از همین رو فاراتل با استفاده از فرکانس‌های سوئیچینگ بالای ۲۰ کیلو هرتز به همراه تکنیک‌های پیچیده کنترل لحظه‌ای، موفق به ایجاد این توانایی در یوپی‌اس‌های خود شده است که بدون استفاده از فیلترهای پرهزینه دارای حداقل هارمونیک ولتاژ و جریان حتی در مقایسه با نمونه‌های خارجی خود باشد. همانطورکه در ادامه ملاحظه خواهید نمود عکس العمل یوپی‌اس‌های فاراتل در برابر بارهای کاملا غیرخطی را بررسی می‌نمائیم.

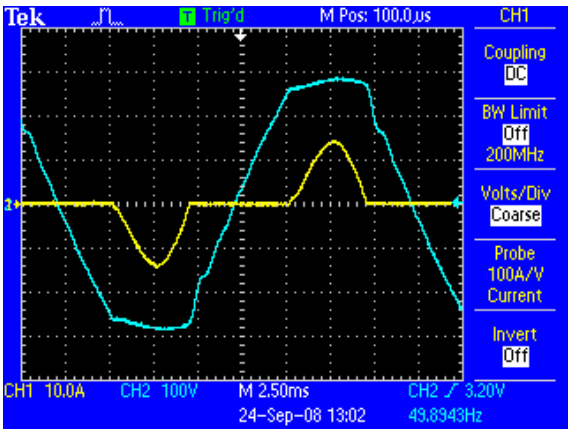
## ۵- نقش یوپی‌اس‌های فاراتل در کنترل هارمونیک شبکه

یوپی‌اس به عنوان یک منبع تامین کننده توان نقش قابل ملاحظه‌ای را در کنترل هارمونیک‌های سیستم ایفا می‌کند. نقش آن را از دو منظر می‌توان مورد بررسی قرار داد:

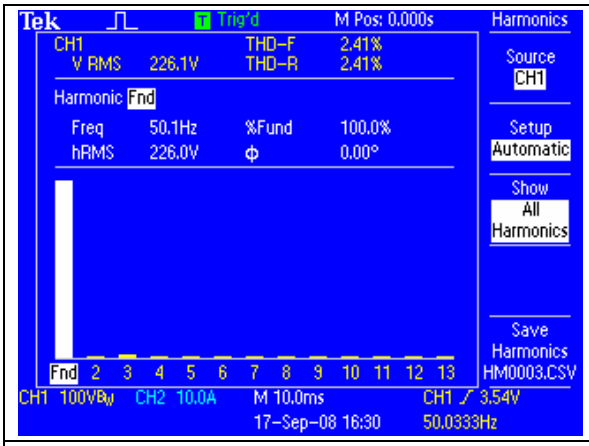
۱- کنترل سطح هارمونیک ولتاژ خروجی یوپی‌اس که به بار تحویل داده می‌شود

۲- کنترل سطح هارمونیک جریانی که یوپی‌اس از شبکه می‌کشد

یوپی‌اس نقش یک منبع تغذیه را برای بارهای متصل به خود دارد. از آنجا که محدودیتی برای نوع این بارها وجود ندارد می‌توانند از نوع خطی، غیرخطی و یا ترکیبی از این دو باشند. در نتیجه جریان کشیده شده از یوپی‌اس مشخص نبوده و بسته به نوع و ترکیب بار آن کاملا متفاوت می‌باشد. اما یکی از پارامترهای مهم در کیفیت خروجی یوپی‌اس شکل موج ولتاژ آن است که باید تحت هر نوع باری دارای اعوجاج و THD محدودی (ذکر شده در استاندارد) باشد. بدترین حالت هنگامی رخ می‌دهد که کل بار نامی متصل شده به یوپی‌اس از نوع غیرخطی (مثلا کامپیوتری) باشد. جریان لحظه‌ای که این بارها آن هم در قله ولتاژ می‌کشند اغلب باعث می‌شود که اعوجاج قابل ملاحظه‌ای در ولتاژ خروجی ایجاد شود که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است. اما همانطور که در شکل ۲-۵ مشاهده می‌شود یوپی‌اس‌های فاراتل از سیستم کنترل پیچیده‌ای برخوردار می‌باشند که THD ولتاژ خروجی آنها (حتی هنگامی که از ترانس‌های ایزوله کننده در خروجی آنها استفاده گردد) بسیار کمتر از حد مجاز ذکر شده در استاندارد می‌باشد.




شکل ۱-۵- نمونه ولتاژ برق شهر هنگام کشیده شدن جریان نامی غیرخطی بدون استفاده از یوپی‌اس




| ب | الف |
|---|---|

شکل ۲-۵- (الف) نمونه ولتاژ خروجی و (ب) هارمونیک دستگاه SDC1500 هنگام کشیده شدن جریان نامی غیرخطی

یوپی‌اس‌های آنلاین برخلاف سایر انواع یوپی‌اس همواره در مدار می‌باشند و حتی هنگامی که برق از کیفیت مناسبی برخوردار است نیز توان بار را تامین می‌نمایند. از جمله محاسن یوپی‌اس‌های آنلاین شرکت فاراتل که با نام تجاری SDC شناخته می‌شوند این است که دارای مدار کنترل PFC در ورودی خود می‌باشند. این تکنولوژی علاوه بر آنکه باعث می‌شود ضریب توان ورودی بیش از ۰,۹۸ باشد، دارای این مزیت است که هارمونیک جریان کشیده شده از شبکه را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. کیفیت ولتاژ شبکه برق خارج از کنترل ماست اما می‌توانیم به کمک این تکنولوژی، هارمونیک جریانی که به سیستم برق شهر تزریق می‌کنیم را کاهش دهیم. در اصل مدار PFC همانند یک فیلتر اکتیو سری عمل کرده و باعث کاهش تداخلات هارمونیکی گسترده‌ای می‌شود که جریان ورودی یوپی‌اس می‌تواند تولید کند. شکل ۳-۵ نمونه جریان ورودی یک دستگاه یوپی‌اس مدل SDC1500 را هنگامی که به بار نامی کامپیوتری متصل می‌باشد نشان می‌دهد. همانطور که مشهود است گرچه بار کاملا غیر خطی است اما شبکه برق، یوپی‌اس را بصورت یک بار تقریبا خطی مشاهده می‌کند. در صورتی‌که بار کامپیوتری مزبور را مستقیما به شبکه متصل می‌کردیم جریانی با THD بیش از ٪۶۰ از شبکه می‌کشید در صورتی‌که پس از استفاده از یوپی‌اس فاراتل THD جریان کشیده شده از شبکه به کمتر از ٪۶ کاهش یافته است.

| ب | الف |
|---|---|

شکل ۳-۵- (الف) نمونه جریان ورودی و (ب) هارمونیک SDC1500 هنگام تامین توان بار نامی کامپیوتری

## ۶- استانداردهای هارمونیک‌ها

جریان‌های هارمونیک تزریق شده توسط یکی از مصرف‌کنندگان به سیستم می‌تواند بر روی دیگر مصرف‌کنندگان نیز تاثیر منفی داشته باشد. به همین دلیل استانداردهایی برای محدود نمودن میزان تزریق هارمونیک‌های جریان توسط هر مصرف‌کننده تالیف شده است. این استانداردها برای محدود نمودن میزان تزریق هارمونیک مصرف‌کنندگان در سیستم می‌باشند و بیانگر این است که مصرف‌کنندگان نباید اعوجاج ولتاژ غیر قابل قبول را در سیستم تولید نمایند. همچنین محدودیت‌هایی را نیز برای تمامی اعوجاج‌های هارمونیک ولتاژ تولید شده توسط سیستم اعمال می‌نمایند.

از آنجایی که استاندارد IEC به طور جزیی‌تر و جامع‌تری به مقوله هارمونیک‌های ولتاژ و جریان پرداخته است و از طرفی صنایع ایران به سوی استفاده از استانداردهای IEC پیش می‌رود و فاراتل نیز در تولید محصولات خود بر طبق استاندارد IEC عمل نموده است، ما در این بخش بر استاندارد IEC و قوانین آن تمرکز می‌نماییم و به استانداردهایی که درباره محدودیت‌های هارمونیک بحث می‌کنند می‌پردازیم که شامل استاندارد IEC 61000-2-2، IEC 61000-3-2 و IEC 61000-3-4 می‌باشند.

استانداردهای محدودیت‌های هارمونیک جریان برای تجهیزاتی که جریان ورودی آنها کمتر از 16A و بیش از 16A می باشد به طور مجزا تفکیک شده است. همچنین استانداردهایی که محدودیت انتشار هارمونیک ولتاژ را برای تجهیزات متصل به شبکه‌ای با ولتاژ پایین، ولتاژ متوسط و بالا بررسی می‌نماید در ادامه به تفکیک آمده است.

- استاندارد هارمونیک جریان برای جریان‌های کمتر از 16A

- IEC 61000-3-2 (2000): Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 2: Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current Up to and Including 16A per Phase

- استاندارد هارمونیک جریان برای جریان‌های بیشتر از 16A

- IEC 61000-3-4 (1998): Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 4: Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Greater Than 16A.

- استاندارد هارمونیک ولتاژ برای سیستم‌های ولتاژ پایین

- IEC 61000-2-2 (1993): Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 2: Environment. Section 2: Compatibility Levels for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signaling in Public Low-Voltage Power Supply Systems.

- استاندارد هارمونیک ولتاژ برای سیستم‌هایی با ولتاژ متوسط و بالا

- IEC 61000-3-6 (1996): *Electromagnetic Compatibility (EMC).* Part 3: Limits. Section 6: Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems. Basic EMC publication.

در خصوص استانداردهای فوق لازم به ذکر است که پیش از ۱۹۹۷ استانداردهای IEC با سری‌های ۱۰۰۰ شماره‌گذاری می‌شد. به طور مثال IEC 61000-2-2 به صورت IEC 1000-2-2 شناخته می‌شد. استانداردهای IEC به طور عمده در میان جوامع اروپایی رایج بوده و اما همانطورکه پیش از این ذکر شد ایران در صنایع خود به سوی استفاده از استانداردهای منطبق بر IEC پیش می‌رود.

استاندارد IEC تجهیزات را به چهار گروه زیر طبقه‌بندی می‌نماید:

- گروه A: تجهیزات سه فاز و دیگر تجهیزاتی که در سه گروه B، C و D قرار نمی‌گیرند.
- گروه B: ابزارهای قابل انتقال
- گروه C: تجهیزات نورانی مانند لامپ های فلورسنت
- گروه D: تجهیزاتی که جریان ورودی آنها دارای شکل موج خاصی است و توان اکتیو ورودی آنها کمتر از 600W می‌باشد.

استاندارد IEC برای هر یک از گروه‌های بالا محدودیت هارمونیک جریان و ولتاژ را در جدولی مجزا بیان نموده است.

یوپی‌اس‌های سری SDC فاراتل جزء گروه A و سیستم‌های LV قرار می‌گیرند که بـرای مقایـسه بهتـر و اطمینـان یـافتن از عملکـرد صحیح یوپی‌اس‌های فاراتل در محدوده استاندارد از نظر محدودیت‌های هارمونیک‌هـای ولتـاژ و جریـان براسـاس اسـتاندارد IEC در جدول ۲-۶، ۳-۶ و ۴-۶ آمده است.

طبق استاندارد IEC 61000-2-2 که در جدول زیر آمده است محدوده استاندارد THD کمتر از ٪۸ است، برای SDC1500 همانطور که در شکل ۲-۵ مشاهده می‌شود THD ولتاژ ٪۲,۴ می‌باشد که در مقایسه با مقادیر جدول زیر ، رنج THD یوپی‌اس‌های فاراتـل بـسیار مناسب است.

| Not multiple of 3 | | Multiple of 3 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Odd order $h$ | Harmonic voltage (%) | Odd order $h$ | Harmonic voltage (%) | Even order $h$ | Harmonic voltage (%) |
| 5 | 6 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| 7 | 5 | 9 | 1.5 | 4 | 1 |
| 11 | 3.5 | 15 | 0.3 | 6 | 0.5 |
| 13 | 3 | 21 | 0.2 | 8 | 0.5 |
| 17 | 2 | >21 | 0.2 | 10 | 0.2 |
| 19 | 1.5 | | | 12 | 0.2 |
| 23 | 1.5 | | | >12 | 0.2 |
| 25 | 1.5 | | | | |
| >25 | $0.2 + 1.3 \times 25/h$ | | | | |

جدول ۱-۶- محدودیت هارمونیک ولتاژ برای شبکه‌های ولتاژ پائین منطبق بر IEC 61000-2-2 [۱]

برای SDC1500 آنچنانکه در شکل ۳-۵ مشاهده می‌شود THD جریان٪۵,۲ می‌باشد که در مقایسه با مقادیر جدول زیـر در محـدوده استاندارد به خوبی عمل می‌نماید.

| Odd order $h$ | Max. permissible harmonic current order (A) | Even order $h$ | Max. permissible harmonic order (A) |
|---|---|---|---|
| 3 | 2.3 | 2 | 1.08 |
| 5 | 1.14 | 4 | 0.43 |
| 7 | 0.77 | 6 | 0.3 |
| 9 | 0.4 | 8–40 | $0.23 \times 8/h$ |
| 11 | 0.33 | | |
| 13 | 0.21 | | |
| 15–39 | $0.15 \times 15/h$ | | |

جدول ۲-۶- محدودیت‌های هارمونیک جریان برای تجهیزات گروه A [۱]

| Harmonic order $h$ | Max. permissible harmonic current* (%) | Harmonic order $h$ | Max. permissible harmonic current* (%) |
|---|---|---|---|
| 3 | 21.6 | 19 | 1.1 |
| 5 | 10.7 | 21 | 0.6 |
| 7 | 7.2 | 23 | 0.9 |
| 9 | 3.8 | 25 | 0.8 |
| 11 | 3.1 | 27 | 0.6 |
| 13 | 2 | 29 | 0.7 |
| 15 | 0.7 | 31 | 0.7 |
| 17 | 1.2 | 33 | 0.6 |

جدول ۳-۶- محدودیت‌های هارمونیک جریان منطبق بر استاندارد IEC 61000-3-4 [۱]

## ۷- مراجع:

[1]. Roger C. Dugan, Mark F.McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, "**Electrical Power Systems Quality**", Second Edition, McGrow-Hill 2004

[2]. URL: wikipedia.org/wiki/Total-harmonic-distortion

[4]. C.Sankaran, "**Power Quality**", CRC press LLC 2002

[۳]. تالیف شده توسط مهندسین مشاور نیرو، "**استاندارد حدود مجاز هارمونیک‌ها در سیستم برق ایران**"، سال ۱۳۷۳، وزارت نیرو-شرکت توانیر سازمان برق، معاونت تحقیقات و تکنولوژی

Faratel Pioneer of Electronic Industries in Iran

# شرکت فاراتل، پیشرو صنایع الکترونیک در ایران
# http://www.faratel.com


**فروش:**

تلفن تماس: ۶۶۷۰ ۰۰۰۱ (۲۱ ۹۸+)

پست الکترونیکی: **Sales@faratel.com**

**خدمات پس از فروش:**

تلفن تماس: ۶۶۸۰ ۹۴۹۵ (۲۱ ۹۸+)

پست الکترونیکی: **Support@faratel.com**


**برخی از محصولات فاراتل:**

Smart Micro
- Line-Interactive
- 630VA & 1250VA Power
- In Rack-mount models



Smart Sine Plus
- Line-Interactive
- 1500VA up to 3000VA Power
- In Rack-mount models

Smart Double Conversion
- On-line Double Conversion
- 1500VA up to 10000VA Power
- In Rack-mount models



Smart Ferroresonant
- Ferroresonant Technology
- 1000VA up to 5000VA Power

---

UPSwing Family Softwares
- Best solution for monitoring and controlling UPSs
- Under Windows, Linux, Novell and...

Battery Cabinet
- Contains Sealed Lead-Acid Batteries
- Increasing the duration of power supplying
- Reserved battery connection protection
- Contains internal charger