فصلنامه رویکردهای نوین در تحقیقات علوم پایه، فنی و مهندسی
سال ششم، شماره ۲۰،بهار ۱۴۰۲
ISSN: ۲٦٤٥-٥٤٣٩
www.jonarbset.ir

ویژگی های‌هارمونیک منابع مختلف در سیستم های قدرت

یوسف کرمی[۱]

[۱] کارشناسی ارشد برق قدرت، دانشگاه زاگرس کرمانشاه

چکیده

این مقاله مروری جامع بر ویژگی‌های هارمونیک منابع مختلف را بررسی می کند. علاوه بر این، این مقاله به آینده و جهت‌های توسعه تحلیل و کنترل هارمونیک در زمینه سیستم‌های قدرت نگاه می‌کند. این کار می تواند به عنوان راهنمایی برای بهبود درک اعوجاج هارمونیک در سیستم‌های قدرت و توسعه روش‌هایی برای کاهش اثرات منفی آن بر کیفیت توان و پایداری سیستم استفاده شود. هدف از مطالعات هارمونیک تعیین کمیت اعوجاج در شکل موج های ولتاژ و/یا جریان در مکان های مختلف در یک سیستم قدرت است. در این مقاله منابع مختلف هارمونیک در سیستم قدرت مورد بحث قرار گرفته است. ترانسفورماتورها، مبدل های قدرت، لامپ های فلورسنت و دستگاه های قوس الکتریکی منبع اصلی هارمونیک در سیستم قدرت هستند.

واژه‌های کلیدی: هارمونیک، سیستم‌های قدرت، ماشین های الکتریکی

۱. مقدمه

هارمونیک یک شکل موج غیرسینوسی اولیه است که می‌تواند به صورت مجموع یک موج سینوسی با مضرب صحیح فرکانس اصلی نمایش داده شود. اعوجاج شکل موج هارمونیک تنها یکی از بسیاری از اختلالات مختلف است که عملکرد ماشین های الکتریکی را مختل می کند. همچنین با توجه به استفاده روزافزون از الکترونیک قدرت که اساساً از طریق سوئیچینگ الکترونیکی کار می کنند، این یک مشکل منحصر به فرد است. بارهای غیر خطی مختلف طیف هارمونیک متفاوت اما قابل شناسایی تولید می کنند. این کار شناسایی مقصران احتمالی اعوجاج هارمونیک را ملموس تر می کند. شرکت‌ها و کاربران برق باید با امضای اعوجاج‌های شکل موج مختلف تولید شده توسط منابع هارمونیک خاص آشنا شوند. این امر ایجاد روش های بهتری را برای محدود کردن و حذف آنها در محل تولید تسهیل می کند. با انجام این کار، نفوذ آنها در ماشین الکتریکی موثر بر تاسیسات مجاور کاهش می یابد وجود بارهای غیر خطی و افزایش تعداد سیستم‌های قدرت تولید پراکنده (DGPS[۱]) در ماشین های الکتریکی به تغییر ویژگی‌های شکل موج ولتاژ و جریان در سیستم‌های قدرت، که با سیگنال‌های دامنه ثابت سینوسی خالص متفاوت است، کمک می‌کند. تحت این شرایط، تکنیک‌های پردازش سیگنال پیشرفته برای اندازه‌گیری دقیق مقادیر توان الکتریکی مورد نیاز است (احمد و همکاران، ۲۰۱۳). منبع اصلی که امواج هارمونیک تولید می کند بارهای غیرخطی هستند. بارهای غیر خطی برای صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی و کارایی بیشتر طراحی شده اند زیرا از قطعات نیمه هادی استفاده می کنند که با استفاده از زمان قابل تنظیم هستند. با این حال، از سوی دیگر، استفاده از قطعات نیمه هادی نیز باعث ایجاد تداخل به شکل اعوجاج سیگنال های جریان و ولتاژ می شود که به سیستم برق برمی گردند. این اختلال به عنوان هارمونیک شناخته می شود.

اندازه هارمونیک ها در سیستم های قدرت در اوایل دهه ۱۹۲۰ فقط به ترانسفورماتورها، موتورها و یکسو کننده ها محدود می شد، اما با افزایش تکنولوژی مورد استفاده در صنعت با توسعه عناصر الکترونیک قدرت، افزایش قابل توجهی در اندازه هارمونیک ها مشاهده شد.با استفاده از بارهای و حساس در فرآیندهای تولید، هارمونیک ها به مشکل جدی تری تبدیل شده و به موضوع مهمی تبدیل شده اند که مطالعات در آن متمرکز شده است. هارمونیک‌های سیستم قدرت حوزه‌ای است که اخیراً موردتوجه زیادی از طرف محققان و پژوهشگران قرارگرفته است. این موضوع در درجه اول به دلیل این واقعیت است که بارهای غیرخطی یا (تولیدکننده هارمونیک) بخش فزاینده‌ای از کل بار موجود را برای یک کارخانه صنعتی معمولی تشکیل می‌دهند. افزایش نسبت بار غیرخطی باعث برانگیخته شدن هر چه بیشتر توصیه‌های دقیق‌تری در IEEE Std519 و اعمال محدودیت‌های سخت‌گیرانه‌تری توسط شرکت‌های آب و برق شده است. بروز مشکلات مربوط به هارمونیک در نوع خود کم و ناچیز است، اما آگاهی از مسائل هارمونیک می‌تواند به افزایش قابلیت اطمینان سیستم نیروگاه کمک کند. در موارد نادری که هارمونیک‌ها به یک مشکل مهم و حاد تبدیل می‌شوند، این امر می‌تواند یا به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن هارمونیک‌های تولیدشده یا رزونانس سیستم قدرت باشد (محمدنور علی الامام و همکاران،۲۰۱۸).

برخی از نمونه‌های منابع هارمونیک جدیدتر که می‌توان انتظار داشت نفوذ آنها در آینده به میزان قابل‌توجهی افزایش یابد، شامل فناوری‌های روشنایی مانند لامپ‌های CFL[۲](فلورسنت فشرده) و LED[۳](دیود ساطع نور)، شارژرهای وسایل نقلیه الکتریکی، سیستم‌های PV[۴] توزیع‌شده، لوازم خانگی مبتنی بر ASD[۵](درایو با سرعت قابل تنظیم)، سیستم‌های سرگرمی و

[۱] distributed generation power systems

[۲] Compact Fluorescent

[۳] Light Emitting Diode

[۴] Photo Voltaic

[۵] Adjustable Speed Drive

واحدهای HVAC[۱](گرمایش، تهویه، و تهویه مطبوع) مبتنی برECM[۲](موتورهای با تعویض الکترونیکی). یکی از شکاف‌های موجود در رابطه با مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌ها که برای اهداف برنامه‌ریزی و تشخیصی استفاده می‌شود، به‌طور سنتی، زمان زیادی است که برای توسعه و اعتبارسنجی دقت هر مدل سیستمی معین و عدم تنوع در مدل‌های بار اعمال می‌شود. در نتیجه، بیشتر آنالیزها شامل یک مدار معرف واحد هستند و نتایج به مدارهای مشابه در آن کلاس ولتاژ تعمیم می‌یابند (هاو و رایلند[۳]، ۲۰۱۷). تحلیل هارمونیک زمانی مورد نیاز است که مقدار بارهای غیرخطی زیاد باشد (معمولاً بیش از ۲۵٪ تا ۳۰٪ کل بار روی باس یا سیستم) و/یا احتمال افزایش وجود داشته باشد یا مشکل کیفیت توان وجود داشته باشد. سیستم ها اغلب بانک خازن بدون در نظر گرفتن رزونانس اضافه می شود، بنابراین مطالعه به عنوان یک گام اصلاحی مورد نیاز است. آسیب مکرر به اجزای سیستم قدرت نیز می تواند دلیلی برای انجام مطالعه هارمونیک باشد. از آسیب ناشی از جریان های هارمونیک بیش از حد در ترانسفورماتورها و بانک های خازن جلوگیری می کند..

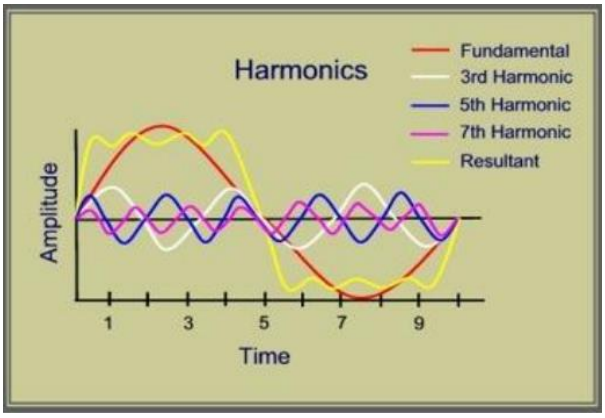
۲.تاریخچه تخمین هارمونیک

زمانی که استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت در اواخر دهه ۱۹۷۰ معمول گردید، توجه بسیاری از مهندسین در مورد توانایی پذیرش اعوجاج هارمونیکی توسط شبکه های قدرت را برانگیخت. پیش‌بینی‌های مایوس کننده ای از سرنوشت سیستمهای قدرت در صورت اجازه استفاده از این تجهیزات انجام گرفت.در حالی که بعضی از این نگرانی ها احتمالاً بیش از آنچه اهمیت داشت مورد توجه قرار گرفت، لیکن بررسی مفهوم کیفیت برق مدیون این افرا د به دلیل پیگیری آنها روی این مسئله جدید می باشد بررسی مسائل هارمونیک ها منجر به تحقیقاتی گردید که نتایج آن نقطه نظارت بسیاری را در خصوص کیفیت برق ایجاد نمود .به نظر برخی از محققین، اعوجاج هارمونیکی هنوز هم مهمترین مسئله کیفیت برق می باشد مسائل هارمونیکی با بسیاری از قوانین معمولی طراحی سیستم های قادرت و عملکارد آن تحت فرکانس اصلی، مغایر است. بنابراین در این خصوص با پدیده های ناآشنایی روبه رو می شویم که نیاز به ابزارهای پیچیده و تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات و تحلیل آنها دارد دراینجا باید تمایزی بین ۴مسئله هارمونیک ها و حالتهای گذرا قائل شد.در واقع به جای بسیاری از اعوجاج ها کاه گذرا هستند هارمونیک ها مورد مؤاخذه قرار می‌گیرند. اندازه‌گیری هر پدیده ممکن است شکل موج اعوجاجی به فرکانس های بسیار بالا را نشان دهد گر چه اعوجاج ها گذرا نیز شامل مؤلفه های فرکانس بالا می باشد، اما حالت های گذرا و هارمونیک ها پدیده های متمایزی بوده و به صورت متفاوتی بررسی و تحلیل می‌گردند. حالتهای گذرا، دارای فرکانس های بالایی می باشند و تنها لحظه ای پس از یک تغییر ناگهانی در سیستم قدرت به وجود می آیند .این فرکانسها لزوماً فرکانس هارمونیکی نیستند و به عنوان مثال های توانند فرکانس طبیعی سیستم در لحظه کلید زنی باشند که ارتباطی با فرکانس مؤلفه اصلی سیستم ندارد طبق تعریف، هارمونیک ها در حالت ماندگار اتفاق می افتند و مضرب صحیحی از فرکانس مؤلفه اصلی می باشند. موج های اعوجاج یافته که دارای هارمونیک هستند، به طور پیوسته وجود داشته و یا حداقل برای چندین ثانیه باقی می مانند. گذراها معمولاً در طی چندین سیکل از بین می روند (محمدزاده،۱۳۹۴).

[۱](Heating, Ventilation, & Air Conditioner

[۲]Electronically Commutated Motors

[۳]William Howe & Matthew Rylande



شکل۱-سیگنال اصلی همراه با هارمونیک های مرتبه بالا

۳.هارمونیک های فعلی

در یک سیستم قدرت جریان متناوب معمولی، جریان به صورت سینوسی در یک فرکانس خاص، معمولاً ۵۰ یا ۶۰ هرتز تغییر می کند. هنگامی که یک بار الکتریکی ثابت با زمان خطی به سیستم متصل می شود، یک جریان سینوسی در همان فرکانس ولتاژ می کشد (اگرچه معمولاً با ولتاژ هم فاز نیست) (دس[۱] ۲۰۱۵). هارمونیک های جریان در اثر بارهای غیر خطی ایجاد می شوند. هنگامی که یک بار غیر خطی، مانند یکسوساز به سیستم متصل می شود، جریانی را می کشد که لزوماً سینوسی نیست. اعوجاج شکل موج فعلی بسته به نوع بار و تعامل آن با سایر اجزای سیستم می تواند کاملاً پیچیده باشد. صرف نظر از اینکه شکل موج فعلی چقدر پیچیده می‌شود، تبدیل سری فوریه این امکان را فراهم می‌کند که شکل موج پیچیده را به یک سری از سینوسی‌های ساده که از فرکانس اصلی سیستم قدرت شروع می‌شود و در مضرب‌های صحیح فرکانس اصلی رخ می‌دهد، تجزیه کنیم. در سیستم های قدرت، هارمونیک ها به عنوان مضرب های اعداد صحیح مثبت فرکانس بنیادی تعریف می شوند. بنابراین هارمونیک سوم مضرب سوم فرکانس بنیادی است. هارمونیک ها در سیستم های قدرت توسط بارهای غیر خطی تولید می شوند. دستگاه های نیمه هادی مانند ترانزیستورها، دیودها و غیره همگی بارهای غیر خطی هستند. نمونه‌های بیشتری از بارهای غیر خطی شامل تجهیزات اداری رایج مانند رایانه‌ها و چاپگرها، چراغ‌های فلورسنت، شارژرهای باتری و همچنین درایوهای با سرعت متغیر است. ماشین های الکتریکی معمولاً سهم قابل توجهی در تولید هارمونیک ندارند. با این حال، هر دو موتور و ترانسفورماتور هارمونیک ایجاد می کنند که بیش از حد شار یا اشباع شوند. جریان های بار غیر خطی اعوجاج در شکل موج ولتاژ سینوسی خالص ارائه شده توسط شرکت برق ایجاد می کنند و این ممکن است منجر به تشدید شود. هارمونیک های زوج معمولاً به دلیل تقارن بین نیمه مثبت و منفی یک سیکل در سیستم قدرت وجود ندارند. بعلاوه، اگر شکل موج های سه فاز متقارن باشد، مضرب هارمونیک سه با اتصال مثلث (Δ) ترانسفورماتورها و موتورها به شرح زیر سرکوب می شود.اگر به عنوان مثال فقط روی هارمونیک سوم تمرکز کنیم، می‌توانیم ببینیم که همه هارمونیک‌ها با مضرب سه در سیستم‌های قدرت چگونه رفتار می‌کنند (ecmweb.com)

۴.علت ایجاد اعوجاج هارمونیکی:

اعوجاج هارمونیکی در سیستم‌های قدرت ناشی از عناصر غیرخطی می‌باشد. عنصر غیرخطی عنصری است که جریان آن متناسب با ولتاژ اعمالی نمی‌باشد افزایش چند درصدی ولتاژ ممکن است باعث شود که جریان دوبرابر شده و نیز موج جریان شکل دیگری به خود بگیرد. این مورد ساده ای از منبع تولید اعوجاج در سیستم قدرت می‌باشد. هر شکل موج

[۱] Das

اعوجاجی پریودیک را می‌توان به صورت جمع موج‌های سینوسی بیان نمود. یعنی وقتی که شکل موج از یک سیکل به سیکل دیگر تغییر نکند، این موج را می‌توان به صورت جمع امواج سینوسی خالص که درآن فرکانس هر موج سینوسی، مضرب صحیحی از فرکانس اصلی موج اعوجاجی است نمایش داد. این موج‌های سینوسی که فرکانس آن‌ها ضریب صحیحی از فرکانس اصلی می‌باشند، هارمونیک‌های مؤلفه اصلی گویند. جمع این موج‌های سینوسی به سری فوریه معروف است این مفهوم ریاضی اولین بار توسط فوریه ریاضیدان فرانسوی مورد توجه قرار گرفت (گندمکار و همکاران، ۱۳۹۱).

۵.سیستم‌های تامین برق اضطراری (UPS)

سیستم‌های تامین برق اضطراری (UPS) معمولاً برای تأمین «برق مطمئن» در صورت خاموش شدن ژنراتور یا سایر قطعی‌های برق مشابه استفاده می‌شود. سیستم‌های UPS کامپیوتری اختصاصی معمولاً تک فاز هستند و دارای یک جریان ورودی شکل موج و طیف جریان‌هارمونیک مشابه آنچه توسط منابع تغذیه سوئیچ تک فاز (SMPS) تولید می‌شود، دارند. سیستم‌های یو پی اس سه فاز نیز موجود هستند. اکثر سیستم‌های UPS سه فاز دارای یک‌سوساز پل ورودی SCR کنترل‌شده با هارمونیک‌های مشخصه بر اساس فرمت "شماره پالس ۱±" هستند. یک طیف استاندارد IEEE که برای دستگاه‌های UPS در نظر گرفته‌شده است، به دلیل این واقعیت که هیچ اطلاعات تامین کننده در مراحل اولیه پروژه در دسترس نیست (محمدنور علی الامام و همکاران، ۲۰۱۸).

شکل شماره ۲- شکل موج منبع هارمونیک برای سیستم‌های یو پی اس(منبع: محمدنور علی الامام و همکاران، ۲۰۱۸)

شکل شماره۳-طیف‌بندی منبع هارمونیک برای سیستم‌های یو پی اس(منبع: محمدنور علی الامام و همکاران، ۲۰۱۸)

۶.هارمونیک ها برق و تاثیر آن بر انتقال برق در خطوط توزیع

بروز هارمونیک در سیستم‌های برق اولین پیامد عناصر غیرخطی در شبکه است. به‌خاطر گسترش فزاینده استفاده از عناصر غیرخطی در سیستم‌های برق، مانند راه‌اندازها (درایورهای تنظیم سرعت) و مبدل‌های الکترونیکی قدرت، مقدار هارمونیک شکل موج جریان و ولتاژ به‌طور چشمگیری افزایش یافته است و بنابراین اهمیت موضوع کاملاً مشخص است. بررسی مسائل هارمونیک‌ها منجر به تحقیقاتی گردید که نتایج آن نقطه نظرات متعددی درمورد کیفیت برق بود. به نظر برخی از محققین، اعوجاج هارمونیکی هنوز مهمترین مسئلـه کیفیت برق می‌باشد. مسائل هارمونیکیبا بسیاری از قوانین معمولی طراحی سیستم‌های قدرت و عملکرد آن تحت فرکانس اصلی مغایر است. بنابراین مهندس برق با پدیده‌های ناآشنایی روبرو می‌شود که نیاز به ابزار پیچیده و تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات و تجزیه و تحلیل آنها دارد. گرچه تحلیل مسائل هارمونیکی می‌تواند دشوار باشد، ولی خوشبختانه همهٔ سیستم قدرت دارای مشکل هارمونیکی نیست و فقط درصد کمی از فیدرهای مربوط به سیستم‌های توزیع تحت‌تأثیر عوامل ناشی از هارمونیک‌ها قرار می‌گیرند. مشترکین برق در صورت وجود هارمونیک‌ها مشکلات زیادتری از شرکت‌های برق را تحمل می‌کنند. مشترکین صنعتی که از محرکه‌های موتور با قابلیت تنظیم سرعت، کوره‌های قوس الکتریکی، کوره‌های القایی، یکسوکننده‌ها ، اینورترها، دستگاه‌های جوش و نظایر آن استفاده می‌کنند، نسبت به مسائل ناشی از اعوجاج هارمونیکی ضربه‌پذیرتر از بقیهٔ مشترکین می‌باشند. اعوجاج هارمونیکی یک پدیده جدید در سیستم‌های قدرت به شمار نمی‌رود. نگرانی ناشی از اعوجاج در بسیاری از دوره‌ها در سیستم‌های قدرت الکتریکی جریان متناوب وجود داشته و دنبال شده است. جستجوی منابع و مطالب تکنیکی دهه‌های قبل نشان می‌دهد که مقالات مختلفی در رابطه با این موضوع انتشار یافته است. اولین منابع هارمونیکی شناخته‌شده، ترانسفورماتورها بودند و اولین مشکل نیز در سیستم‌های تلفن پدید آمد. استفاده گروهی از لامپ‌های قوس الکتریک به‌دلیل مؤلفه‌های هارمونیکی توجهات خاصی را برانگیخت ولی این مسائل به اندازه اهمیت مسئله مبدل‌های الکترونیک قدرت در سال‌های اخیر نبوده است (گندمکار و همکاران،۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل هارمونیک ها فرآیند محاسبه بزرگی ها و مراحل هارمونیک های پایه و مرتبه بالا شکل موج های تناوبی است. قضیه فوریه بیان می کند که هر موج تناوبی غیر سینوسی را می توان به عنوان مجموع امواج سینوسی از طریق اعمال فوریه تجزیه کرد. سلسله. سری حاصل به سری فوریه معروف است. این یک رابطه بین یک تابع در حوزه زمان و یک تابع در حوزه فرکانس برقرار می کند. هارمونیک ها روشی ریاضی برای توصیف اعوجاج به شکل موج ولتاژ یا جریان هستند. اصطلاح هارمونیک به مؤلفه ای از شکل موجی اطلاق می شود که در مضرب صحیح فرکانس اصلی رخ می دهد. تابع $f(x) = \sin x$ یک تابع فرد است. یعنی نسبت به مبدأ متقارن است. داریم: $\sin(-x) = -\sin(x)$. تابع $f(x) = \cos x$ یک تابع زوج است. یعنی نسبت به محور عمودی متقارن است. داریم: $\cos(-x) = \cos(x)$.اگر تابع فرد باشد، جمله کسینوس ناپدید می شود. اگر تابع حتی باشد، عبارت Sine از عبارت محو می شود. برای تحلیل ما، اصطلاحات سینوسی فقط در بیان در نظر گرفته می شوند.

۷.پیشینه پژوهش

جدول ۱- مطالعات انجام گرفته

ردیف	نام و نام خانوادگی	سال	عنوان	روش	نتیجه گیری
	تی کوتانی	۲۰۲۳	ساختار هارمونیک امواج هیبریدی	در این مقاله شبیه‌سازی‌های تک بعدی، الکترومغناطیسی،	نتایج حاصل از دو اجرا، یعنی برای ωpe/Ωe= ۰,۱ و ۰,۲، نشان می دهد که

	و همکاران		پایین تر رانده شده توسط یون های پرانرژی در ارتفاع ۴۰۰۰ کیلومتری: شبیه سازی PIC	ذرات در سلول را با تنظیم مقادیر پارامتر در محدوده‌های مشاهده شده توسط ماهواره انجام شده است.	یون های پرانرژی می توانند LHW هارمونیک را در هر دو مورد تولید کنند. با این حال، در حالت اول، LHW های هارمونیک بیشتری با دامنه های بزرگتر ایجاد می شود و شتاب یون پس زمینه قوی تری مشاهده می شود. بنابراین، شبیه‌سازی‌های فعلی یک مشکل حل‌نشده قبلی را حل کرده‌اند، و این احتمال را آشکار می‌کند که LHWs هارمونیک در پدیده‌های شتاب یونی که معمولاً در ناحیه قطبی مشاهده می‌شوند، مانند خروج یون، دخیل هستند.
	ذواقی و زوزو	۲۰۲۲	تاثیر امواج هارمونیک فضایی بر جابجایی ذرات دی الکتریک در میدان‌های الکتریکی موج ایستاده و متحرک	این تحقیق به دو بخش اصلی تقسیم می شود. اولین مورد یک مطالعه تجربی است که در آن کارایی نوار نقاله برای جابجایی ذرات PMMA با اندازه میکرومتر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بخش دوم شامل یک مطالعه عددی و نظری است که در آن توزیع پتانسیل الکتریکی فضایی و پیامدهای هارمونیک های فضایی بر جابجایی ذرات مورد بررسی قرار گرفته است	نتایج نشان می دهد که راندمان جابجایی و جهت ذرات اساساً به اندازه ذرات، نسبت بار به جرم، ولتاژ اعمال شده و فرکانس بستگی دارد. در مورد ولتاژ اعمال شده کم، فرکانس بالا یا اگر ذرات نسبت بار به جرم پایینی داشته باشند، برخی از ذرات به دلیل موج هارمونیک رو به عقب که در نزدیکی سطح ظاهر می شوند، به سمت مخالف حرکت می کنند. بزرگی امواج هارمونیک به ارتفاع حرکت ذرات بستگی دارد. می توان آن را با تغییر تعداد فازها، فاصله شکاف یا ضخامت الکترودها یا با افزودن یک مانع دی الکتریک بر روی سطح کنترل کرد.
	سوندرگارد بوخ و همکاران	۲۰۲۲	تجزیه و تحلیل انتشار هارمونیک در سیستم های قدرت با استفاده از امواج ایستاده	این مقاله روشی را برای توضیح انتشار هارمونیک در سیستم‌های انتقال با استفاده از نظریه امواج ایستاده ارائه می‌کند. با تجزیه و تحلیل ویژگی های امواج ایستاده می توان اطلاعات مفیدی در مورد ماهیت و میزان انتشار هارمونیک به دست آورد.	نشان داده شده است که روش ارائه شده ولتاژ هارمونیک ایستاده در خطوط سیستم قدرت با توپولوژی های مختلف را توصیف می کند و بنابراین، چگونه یک تغییر ساده در پیکربندی شبکه بر انتشار هارمونیک تأثیر می گذارد.نتایج با تطابق خوب در برابر شبیه‌سازی با نرم‌افزار سیستم قدرت تجاری تأیید می‌شوند. راهنماهایی برای پیشبرد

					این مطالعه به سیستم های مشبک ارائه شده است.
	شینبوری و همکاران	۲۰۰۷	امواج هارمونیک سیکلوترون الکترون الکترواستاتیک مشاهده شده توسط ماهواره Akebono در نزدیکی منطقه استوایی پلاسماکره	تجزیه و تحلیل داده های مشاهده امواج پلاسما ارائه شده توسط امواج پلاسما و آزمایش صوتی (PWS) روی ماهواره Akebono اغلب وجود امواج الکترواستاتیک سیکلوترون هارمونیک (ESCH) را در منطقه عرض جغرافیایی پایین (MLAT < 45 درجه) نشان می دهد.	نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که امواج EP-fQn در تمام بخش‌های زمانی محلی قابل مشاهده هستند. ویژگی وقوع امواج ESCH نشان داد که یک فعال سازی ثابت یا جریان ثابت انرژی آزاد برای ایجاد ناپایداری قوی پلاسمایی امواج ESCH در نزدیکی بخش پس از نیمه شب پلاسماکره وجود دارد. وجود امواج ESCH نشان داد که ماهیت پلاسمای پلاسماسفر بیش از آنچه تصور می‌شد متلاطم و فعال‌تر است.
	محمدزاده	۱۳۹۴	تخمین بهینه هارمونیک سیستم قدرت با استفاده از روش ترکیبی الگوریتم بهینه سازی و روش تطبیقی	در این پایان نامه روشی جدید برای تخمین همزمان مؤلفه های دامنه و فاز هارمونیک سیگنال سیستم های قدرت در حضور نویز ارائه شده است.	نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی دارای سرعت همگرایی سریع تر نسبت به مقدار واقعی و عملکرد بهتر و دقت باالتر در سیستم آغشته به نویز نسبت به روش مورد مقایسه می باشد که کارایی این روش را نشان می دهد
	غلام زاده	۱۳۹۸	شناسایی منابع هارمونیک سیستم قدرت به روش تخمین حالت هارمونیکی	از ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات گسسته، برای جایابی بهینه PMUها استفاده شده است .	با اندازه گیریهای بدست آمده از جایابی بهینهPMU ها، مقادیر فازوری ولتاژ و جریان در کلیه ماشینهای سیستم قدرت با حل معادله تخمین حالت هارمونیکی حاصل می شود. روشهای شناسایی منابع هارمونیک به سه دسته کلی، بر اساس جهت توان اکتیو، توان راکتیو و نسبت ولتاژ- جریان طبقه بندی میشوند که در این مقاله معیار توان اکتیو هارمونیکی برای تشخیص منابع هارمونیک استفاده گردیده است.
	احمد و	۲۰۱۳	مروری بر منابع هارمونیک در	این مقاله منابع هارمونیک در سیستم قدرت را پوشش می	هارمونیک ها مضرب فرکانس اساسی سیستم قدرت هستند. این هارمونیک ها

	همکاران		سیستم قدرت	دهد. منابع مختلف هارمونیک در سیستم قدرت مورد بحث قرار گرفته است.	ولتاژها و جریان های مخدوش را در سیستم قدرت ایجاد می کنند. اعوجاج ولتاژها و جریان ها می تواند بر کیفیت توان تأثیر بگذارد.
	سلیمان و همکاران	۲۰۲۳	کاهش اعوجاج هارمونیک مبدل های متصل به شبکه بدون ترانسفورماتور توسط کنترل قوی	این مقاله یک طرح مجموعه‌ای بی‌تغییر از یک فیلتر توان فعال کنترل‌شده قوی برای تزریق جریان به شبکه بزرگ با حداقل اعوجاج هارمونیک کل (THD) ارائه می‌کند. جریان بار غیرخطی یک اختلال خارجی در نظر گرفته می شود تا اثر آن بر جریان شبکه تزریقی به حداقل برسد.	طرح به مجموعه ای از نابرابری های ماتریس غیرخطی ریخته می شود که با ثابت کردن یک اسکالر خطی می شوند. بهینه سازی محدب حاصل به صورت تکراری با نابرابری های ماتریس خطی (LMI) حل می شود. شبیه سازی و یافته های تجربی نشان می دهد که طرح پیشنهادی در کاهش THD تزریق شده به شبکه زمانی که امپدانس شبکه نامشخص است و بارهای متغیر اعمال می شود (موارد متعادل و نامتعادل) موفق است.
	یان مایر و همکاران	۲۰۱۴	کار آینده روی هارمونیک ها - برخی از نظرات کارشناسان بخش دوم - فوق هارمونیک ها، استانداردها و اندازه گیری ها	یک کارگاه در مورد هارمونیک های سیستم قدرت در ژانویه ۲۰۱۴ در استکهلم برگزار شد. در دستور کار از جمله بحث در مورد موضوعات اصلی هارمونیک ها در حال حاضر و در آینده نزدیک بود.	برخی از موضوعات مطرح شده در آن کارگاه در این مقاله و مقاله همراه آن ارائه شده است.در این مقاله به مسائل زیر پرداخته خواهد شد:ظهور انتشار در فرکانس های بالاتر[1] نیاز به استانداردهای جدید و بهبود یافته؛ مسائل اندازه گیری و تجزیه و تحلیل داده ها
	هاو و همکاران	۲۰۱۷	برآورد هارمونیک های شبکه آینده به دلیل تغییر منابع هارمونیک	این مقاله بر جنبه‌های آن ابزار و چگونگی استفاده از ابزارها و تکنیک‌های این نوع برای بهبود مدیریت و برنامه‌ریزی شبکه تمرکز می‌کند	نگرانی ویژه اکنون برآورد سطوح هارمونیک های آینده برای مدارهای موجود به روشی قابل اعتماد و قابل تکرار با تغییر ترکیب و ماهیت بارها است. یک ماژول ارزیابی هارمونیک که توسط EPRI(مؤسسه تحقیقات نیروی برق) توسعه یافته است، ابزاری موثر برای تخمین تأثیرات هارمونیک بر سیستم های توزیع افزایش نفوذ منابع

[1] supraharmonics

					هارمونیک جدیدتر است.
	لیقاع الحفاضی، جیاشن ته	۲۰۱۹	پیشرفت در کاهش اعوجاج هارمونیک کل در سیستم های فتوولتائیک خورشیدی: بررسی ادبیات	علل هارمونیک ها، راه حل های فعلی و شکاف های تحقیقاتی برای بررسی بیشتر به تفصیل شرح داده شده است. علاوه بر این، تکنیک‌های کاهش THD فعلی مورد استفاده در هر مرحله از سیستم PV، از جمله مزایا و معایب اصلی آنها، مقایسه می‌شوند. در نهایت، این مطالعه استفاده از فیلترهای تطبیقی را به عنوان یک راه حل ممکن برای کاهش THD توصیه می کند زیرا این فیلترها به طور موثر نویز و اختلال را در سیستم های دیگر کاهش داده اند....	استفاده از سیستم های فتوولتائیک (PV) در سال های اخیر به دلیل تقاضای زیاد برای منابع انرژی پاک افزایش یافته است. سیستم های PV می توانند از انرژی فراوان و رایگان خورشید استفاده کنند که یک مزیت قابل توجه است. با این حال، در مقایسه با سایر فناوری‌های تجدیدپذیر، سیستم PV هنوز با موانع بزرگی مانند هزینه بالا و راندمان پایین مواجه است. علاوه بر این، نوسانات انرژی فرودی از خورشید، هارمونیک هایی را در توان تولید شده ایجاد می کند که ممکن است منجر به عملکرد نامطلوب سیستم شود. اعوجاج هارمونیک کل (THD) نسبت توان اعوجاج شده به توان اصلی سیگنال است و بیشتر برای نشان دادن میزان اعوجاج سیگنال استفاده می شود. با ادغام بیشتر سیستم های PV در سیستم های شبکه، THD به یک نگرانی جدی تبدیل شده است
	گرازیا تودسکینی	۲۰۲۰	تأثیر منابع انرژی تجدیدپذیر بر سطوح هارمونیک در شبکه برق آینده انگلستان: مدل‌سازی، ارزیابی و راه‌حل‌های کاهش	این پیشنهاد بر مطالعه انتشار هارمونیک در شبکه برق انگلستان به دلیل RES متمرکز خواهد شد. هارمونیک ها مولفه های جریان و ولتاژ در فرکانس های چند برابر اصلی هستند و با عملکرد مبدل های قدرت تولید می شوند.	هدف این پیشنهاد ارزیابی تاثیر هارمونیک RES در شبکه برق آینده است. انجام این ارزیابی مستلزم توسعه مدل های دقیق هم از منابع انرژی و هم از سیستم قدرت است. در عین حال، این مدل‌ها به دلیل تعداد مؤلفه‌های درگیر، به نوعی ساده‌سازی نیاز دارند. تحقیقات قبلی بر روی مدل‌های مبدل قدرت یا استفاده از یک مدل سیستم قدرت بزرگ با نمایش مبدل ساده متمرکز شده است. هدف این NIA ترکیب هر دو جنبه در مدلی است که قادر به نمایش صحیح تولید هارمونیک از RESها، انتقال هارمونیک ها بین سطوح ولتاژ، و نمایش تغییرات آماری سطوح هارمونیک در سیستم، برای سطوح مختلف نفوذ RES

					است.
	گو یه و همکاران	۲۰۱۷	مدل سازی منبع هارمونیک مسکونی تصادفی برای مطالعات تاثیر شبکه	این مطالعه یک رویکرد ترکیبی برای دسترسی به تاثیر منابع هارمونیک بر شبکه توزیع پیشنهاد شده است. این روش یک مدل‌سازی تصادفی از پایین به بالا از بار مسکونی را با داده‌های اندازه‌گیری هارمونیک و جریان‌های بار هارمونیک ترکیب می‌کند که همه بر اساس یک تحلیل سناریو هستند.	این روش با داده‌های اندازه‌گیری اعتبارسنجی می‌شود و پیش‌بینی خوبی از سطح فعلی هارمونیک‌ها در یک محله مسکونی برای وضعیت فعلی نشان می‌دهد. برای نشان دادن کاربرد روش پیشنهادی، مطالعات موردی بر روی فیدر تست ولتاژ پایین اروپایی IEEE انجام شده است. این مطالعات موردی تفاوت قابل توجهی را بین استفاده از مدل‌های مبتنی بر دستگاه و رویکرد مدل‌سازی ترکیبی نشان می‌دهد، که نشان می‌دهد چرا رویکرد پیشنهادی روشی مناسب برای تعیین تأثیر دستگاه‌های جدید بر هارمونیک‌ها است.
	محمت سینار		اثرات هارمونیک در ماشین های قدرت الکتریکی و روش های حل	در سیستم‌های قدرت الکتریکی، اختلالات دوره ای و حالت پایدار جریان و ولتاژ به صورت موجی را هارمونیک می گویند. به دلیل ساختار متقارن موج سینوسی در سیستم های قدرت، اجزای هارمونیک منفرد مانند ۳، ۵ و ۷ تشکیل می شوند.	وجود جریان و ولتاژ هارمونیک در سیستم برق باعث اختلال در موج سینوسی می شود. جریان های هارمونیکی که از شبکه اصلی جریان می یابد اثرات منفی بر روی دستگاه های متصل به شبکه ایجاد می کند و کیفیت انرژی را مختل می کند. به خصوص با هارمونیک هایی که تولید می کنند، بارهایی که کیفیت انرژی را مختل می کنند.

۸.روش های حذف هارمونیک ها

هارمونیک هایی که اثرات منفی بر سیستم های انرژی الکتریکی دارند باید حذف یا بی ضرر شوند. برای این کار دو روش مختلف وجود دارد. اولین مورد این است که در طول تولید عناصر مولد هارمونیک، سازه طوری طراحی شده است که تولید هارمونیک کم یا بدون اتصال مناسب به شبکه را تولید کند. این روش را می توان اقداماتی نامید که می توان در حین طراحی انجام داد. روش دوم حذف هارمونیک ها پس از تولید آنهاست. این روش را فیلتر کردن هارمونیک ها می نامند. فیلترهای هارمونیک به دو دسته فعال و غیرفعال تقسیم می شوند:

مشکلات ناشی از هارمونیک های جریان و ولتاژ در سیستم های انتقال و توزیع اهمیت بیشتری پیدا می کند. مهمترین معایب فیلترهای پسیو مورد استفاده در حل این مشکلات عبارتند از: اگرچه عملکرد اقتصادی آنها به پارامترهای شبکه بستگی دارد و باعث ایجاد رویدادهای تشدید می شود. فیلترهای قدرت فعال، یکی دیگر از روش های راه حل، فرصت های زیادی را برای

بهبود کیفیت برق ارائه می دهند. امروزه افزایش استفاده از بارهای حساس به کیفیت توان و پیشرفت در الکترونیک قدرت، علاقه به روش‌های راه‌حل فعال را افزایش داده و فیلترهای توان فعال را قادر می‌سازد تا برای استفاده به عنوان محصولات نهایی آماده شوند (چینار[۱] ۲۰۱۹).

۹.فرآیندهای کاری منابع هارمونیک

در آینده، انتظار می‌رود که نفوذ بارهای مبتنی بر الکترونیک قدرت به دلیل افزایش فناوری‌های جدید و تغییر وسایل معمولی به وسایل برقی الکترونیکی، مانند چراغ‌های فلورسنت فشرده (CFLs) و ماشین های الکتریکی (EV) افزایش یابد. شارژرها از سوی دیگر، برخی از دستگاه ها به دلیل الزامات جدیدتر استانداردها (مانند PV) و کاهش توان اسمی، هارمونیک کمتری تولید می کنند. جریان هارمونیک تزریق شده ممکن است باعث مشکلات جدی مانند داغ شدن بیش از حد و خرابی تجهیزات، خطا در عملکرد دستگاه های حساس، قطع اشتباه رله های حفاظتی و تداخل با سیگنال های ارتباطی شود. برای جلوگیری از خطرات بالقوه ای که بر عملکرد سیستم تاثیر می گذارد و امنیت تامین را به خطر می اندازد، اثرات هارمونیک و مطالعات انتشار شبکه توزیع بزرگ برای سناریوهای آینده باید انجام شود. اپراتورهای سیستم توزیع (DSO) باید پیش‌بینی کنند که چگونه افزایش بارهای غیرخطی به سطح اعوجاج هارمونیک کمک می‌کند و چه زمانی ممکن است سطح اعوجاج از حد تنظیم بیشتر شود. DSO می تواند از نتیجه برای اتخاذ اقدامات مناسب برای جلوگیری از زوال و بهبود سطح کیفیت توان (PQ) استفاده کند (گو یه و همکاران، ۲۰۱۷). اولین تلاش برای ارزیابی انواع مختلف منابع هارمونیک جدید انجام شده است (شارما[۲] و همکاران، ۲۰۱۶). در اینجا، یک تحلیل هارمونیک دقیق بر روی مدارهای واقعی با بارهای هارمونیک مختلط انجام شده است که ممکن است طی ۱۰ تا ۲۰ سال در شبکه توزیع پیش‌بینی شود. اعوجاج هارمونیک پایه مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری است و در طول تجزیه و تحلیل ثابت می‌ماند، در حالی که در واقعیت، این نیز دستخوش تغییرات می‌شود. علاوه بر این، چارچوب کلی نحوه مدل‌سازی و ادغام این بارها با بار معمولی وجود ندارد. بنابراین، یک چارچوب ترکیبی برای مدل سازی بار هارمونیک باید تعریف شود. این چارچوب باید بتواند انواع مختلفی از منابع هارمونیک را که سطوح نفوذ آنها توسط سناریوهای مختلف تعیین می‌شود، شامل شود. پیری، حذف و جایگزینی لوازم موجود (توسعه لوازم خانگی) در سری زمانی گنجانده شده است، و بهبود کارایی وسایل متصل جدید باید دخیل باشد (نیجویس[۳] و همکاران، ۲۰۱۶).

۱۰.نتیجه گیری

این مقاله مروری بر ویژگی های هارمونیک دستگاه های مختلف منبع هارمونیک در سیستم های قدرت ارائه می دهد. این مقاله ویژگی‌های هارمونیک منابع مختلف را در سناریوهای کاری معمولی تحلیل می‌کند. مطالعات قبلی داده‌ها یا مدارهای مدل‌های منبع هارمونیک را بررسی کرده‌اند، اما تا آنجا که ما می‌دانیم، ادبیاتی وجود ندارد. تعریف مطالعه و تحلیل اعوجاج موج هارمونیک فعالیتی است که برای تعیین سطوح اغتشاش هارمونیک و الزامات فیلتر در یک تاسیسات و تعیین اینکه آیا ولتاژها و جریان هارمونیک در سطح قابل قبولی هستند یا خیر. در سیستم های توزیع الکتریکی، اعوجاج هارمونیک یک تغییر استاندارد ولتاژ و جریان است که در نتیجه تغییرات فرکانس ایجاد می شود. به عنوان مثال، می تواند یک انحراف از تغییرات سینوسی معمولی در ولتاژ یا جریان باشد. منابع هارمونیک در ماشین های الکتریکی آینده متنوع و متعدد خواهد بود. با توجه به استفاده روزافزون از الکترونیک حساس در رایانه های شخصی، چند رسانه ای، ارتباطات دیجیتال و فرآیندهای خودکار صنعتی، این مشکل پیچیده تر می شود. به طور کلی، که به عنوان مولدهای بزرگ هارمونیک در نظر گرفته نمی شوند، ممکن

[۱] CINAR

[۲] Sharma

[۳] Nijhuis

است برای پیوستن به تولیدکنندگان هارمونیک فعلی صف آرایی کنند. نیاز روزافزونی در صنعت برق به توانایی نه تنها اندازه‌گیری سطوح هارمونیک، بلکه برای برآورد سطوح آتی بر اساس شرایط متغیر وجود دارد. ابزارهای تحلیلی برای مدیریت هارمونیک ها و سایر پدیده های PQ باید نه تنها با مدل های شبکه ایستا، بلکه با مدارها و شبکه هایی که به صورت پویا و شاید به سرعت بر اساس شرایط بازار و عملیاتی تغییر می کنند، مقابله کنند.

منابع و ماخذ

علی محمدنور علی الامام؛ آیت‌الله محمد احمد آدم؛ الشریف خلف الله الشریف حسن؛ محمدابراهیم مرکاز ابراهیم (۲۰۱۸). منابع هارمونیک در سیستم قدرت، اثرات آن‌ها و روش‌های کاهش آن، گروه مهندسی برق دانشکده مهندسی دانشگاه علم و فناوری سودان، پروژه ای برای الزامات مدرک B.Sc در رشته برق (قدرت)

غلام زاده، محمدرضا،۱۳۹۸،شناسایی منابع هارمونیک سیستم قدرت به روش تخمین حالت هارمونیکی،هشتمین همایش مهندسی برق مجلسی، بوئین و میاندشت،https://civilica.com/doc/952206

گندمکار، مجید، فرزاد وزین؛ رام عباس نیک رو (۱۳۹۱). کتاب هارمونیک در شبکه‌های قدرت، انتشارات قدیس.

محمدزاده (۱۳۹۴). تخمین بهینه هارمونیک سیستم قدرت با استفاده از روش ترکیبی الگوریتم بهینه سازی و روش تطبیقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-گرایش کنترل.

"Harmonics Made Simple". ecmweb.com. Retrieved 2015-11-25.

A. Shinbori, T. Ono, M. Iizima, A. Kumamoto, S. Shirai, A. Hanaoka, K. Okamoto, M. Ohashi & H. Oya (۲۰۰۷) Electrostatic electron cyclotron harmonic waves observed by the Akebono satellite near the equatorial region of the plasmasphere, *Earth, Planets and Space* volume 59, pages613–629 (2007)

Alliander N.V., Groningensingel, EA Arnhem, The Netherlands(۲۰۱۷) Stochastic Residential Harmonic Source Modeling for Grid Impact Studies, *Energies* 2017, *10*(3), 372; https://doi.org/10.3390/en10030372

Bukh, B. S., Bak, C. L., & Silva, F. M. F. D. (2022). Analysis of Harmonic Propagation in Power Systems Using Standing Waves. In 20th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP): Power Quality in the Energy Transition IEEE. International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP) https://doi.org/10.1109/ICHQP53011.2022.9808551

CINAR MEHMET (۲۰۱۹) EFFECTS OF HARMONICS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS AND SOLUTION METHODS, NOVATEUR PUBLICATIONS INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIONS IN ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY [IJIERT] ISSN: 2394-3696 VOLUME 6, ISSUE 12, Dec.-2019

Das, J. C. (2015). Power System Harmonics and Passive Filter Design. Wiley, IEEE Press. ISBN 978-1-118-86162-2. To distinguish between linear and nonlinear loads, we may

say that linear time-invariant loads are characterized so that an application of a sinusoidal voltage results in a sinusoidal flow of current.

Gu Ye,Michiel Nijhuis,Vladimir Cuk and J.F.G. (Sjef) Cobben(۲۰۱۷) Stochastic Residential Harmonic Source Modeling for Grid Impact Studies, *Energies* 2017, *10*(3), 372; https://doi.org/10.3390/en10030372

Imtiaz Ahmed, Mir Zayed Shames, Md. Muksudul Alam(۲۰۱۳) An Overview of Harmonic Sources in Power System, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) e-ISSN: 2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 7, Issue 3 (Sep. - Oct. 2013), PP 01-03

Liqaa Alhafadhi, Jiashen Teh(۲۰۱۹) Advances in reduction of total harmonic distortion in solar photovoltaic systems: A literature review, First published: 12 December 2019

MEHMET CINAR(۲۰۱۹) EFFECTS OF HARMONICS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS AND SOLUTION METHODS, NOVATEUR PUBLICATIONS INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIONS IN ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY [IJIERT] ISSN: 2394-3696 VOLUME 6, ISSUE 12, Dec.-2019

Meyer Jan, Math Bollen, Hortensia Amaris, Ana Maria Blanco Castañeda(۲۰۱٤) Future work on harmonics - Some expert opinions Part II - Supraharmonics, standards and measurements, Conference: 2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)

Nijhuis, M.; Gibescu, M.; Cobben, J. Bottom-up markov chain monte carlo approach for scenario based residential load modeling with publicly available data. *Energy Build.* **2016**, *112*, 121–129.

Robust Control. Energies **2023**, 16, ۱۳٦۲. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/ en16031362

Sharma, H.; Rylander, M.; Dorr, D. Grid impacts due to increased penetration of newer harmonic sources. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2016**, *52*, 99–104

Soliman, H.M.; Saleem, A.; Bayoumi, E.H.E.; De Santis, M. Harmonic Distortion Reduction of Transformer-Less Grid-Connected Converters by Ellipsoidal-Based

T. Kotani, M. Toida, T. Moritaka, S. Taguchi(۲۰۲۳) Harmonic Structure of Lower Hybrid Waves Driven by Energetic Ions at 4000 km Altitude: PIC Simulation, Volume50, Issue5,16 March 2023 e2022GL102356

William Howe, Matthew Rylander(۲۰۱۷) Estimating Future Grid Harmonics Due to Changing Harmonic Sources, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'17) Malaga (Spain), 4th to 6th April, 2017

Zouaghi, Ayyoub, Noureddine Zouzou(۲۰۲۲) Impact of spatial harmonic waves on dielectric particles displacement in standing and traveling wave electric fields Journal of Electrostatics Année : 2019