دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق – گرایش قدرت

عنوان:

انتخاب بهینه نوع و مکان فیلتر های پسیو در یک شبکه هارمونیکی با استفاده از الگوریتم های هوشمند

استاد راهنما:

دکتر عباس کتابی

به وسیله:

احمد معتمدی

مهر ماه ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به:

پیشگاه مقدس امام زمان (عج)،

پدر و مادر عزیزم

و خانواده بزرگوارم که اگر مشوقم نبودند رسیدن به این مرحله از زندگی میسر نبود.

تشکر و قدردانی:

الحمدلله رب العالمین و صلی الله علی سیدنا و نبینا محمد و آله الطاهرین

از اساتید بزرگوار که در سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت یاری نمودند تشکر می کنم و آرزوی موفقیت و سلامتی ایشان را از خداوند منان دارم.

از جناب آقای دکتر عباس کتابی که در طول تحصیل راهنمایی اینجانب را عهده دار بودند سپاسگزارم.

از مدیریت شرکت برق منطقه ای استان اصفهان که حمایت این پروژه را پذیرفتند تشکر و قدردانی می نمایم.

از آقای دکتر ابوالفضل حلوائی بعنوان استاد داور داخل دانشگاه و آقای دکتر قره پتیان بعنوان استاد داور مدعو خارج دانشگاه که این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نمودند تشکر می کنم.

در پایان، از جناب آقای دکتر عباسیان که بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نمودند سپاسگزاری می نمایم.

چکیده:

سیستم های قدرت بر اساس عملکرد تجهیزات در ولتاژ و جریان فرکانس اصلی طراحی می شوند. با وجود بار های غیر خطی در شبکه و با اعمال ولتاژ در فرکانس اصلی، جریانی با فرکانس های مختلف در خطوط جاری می شود و ولتاژ در محل دیگر بار ها، با ایجاد افت ولتاژ ناشی از این جریان ، شامل چندین فرکانس خواهد شد. این نوع ولتاژ و جریان، ولتاژ و جریان هارمونیکی نامیده می شوند. وجود جریان و ولتاژ هارمونیکی باعث مشکلات متعددی ازجمله عدم عملکرد مناسب تجهیزات و ایجاد رزونانس در شبکه خواهد شد. امروزه افزایش بار های غیر خطی در سیستم قدرت، هارمونیک را به مسئله ای حیاتی در شبکه تبدیل کرده است. در ده ها سال پیش محققین همزمان با شروع تحقیقات بر روی مباحث کیفیت توان در جستجوی روش هائی برای کاهش سطح هارمونیک بوده اند. بعنوان نمونه با استفاده از ترانس های قدرت با اتصال زیگزاگ توانستند هارمونیک های مضارب سه را کاهش دهند. همچنین با پیشرفت تکنولوژی، با استفاده از فیلتر های هارمونیکی پسیو و فعال امکان کاهش سطح هارمونیکی در شبکه های با سطح هارمونیکی بالا ایجاد شد.

امروزه فیلتر های پسیو بخاطر مزایای بیشتری که نسبت به دیگر روش ها دارند از اهمیت ویژه ای برخوردارند؛ از جمله اینکه با وجود خازن ها در این نوع فیلتر ها می توان با نصب آنها در شبکه علاوه بر کاهش سطح هارمونیکی تقریباً همه مشکلاتی را که با استفاده از خازن گذاری بهبود داده می شد، مانند کاهش تلفات، اصلاح پروفیل ولتاژ، اصلاح نامتعادلی، را حل کرد.

در این تحقیق ابتدا پس از بیان نحوه طراحی فیلتر های پسیو به تعیین نوع آنها در یک شبکه تک شینه پرداخته می شود. پس از آن با توجه به نتایج این شبیه سازی، با استفاده از روش های حل چند هدفه شامل روش پارتو و روش فازی و با استفاده از الگوریتم های هوشمند مختلف مسئله غیر خطی که شامل جایابی، تعیین نوع و تنظیم پارامتر های فیلتر ها در یک شبکه تست چند شینه صنعتی است حل می شود.

کلمات کلیدی: فیلتر های پسیو، روش پارتو، روش فازی، اعوجاج هارمونیکی کلی، پروفیل ولتاژ، نامتعادلی، هزینه.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول: هارمونیک در شبکه برق رسانی

۱-۱- هارمونیک و بار های غیر خطی ٤

۱-۲- تجدید ساختار و اهمیت هارمونیک ۹

۱-۳- آثار هارمونیک ۹

۱-٤- روش های مختلف کاهش هارمونیک ۱۰

فصل دوم: فیلتر های پسیو

۲-۱- فیلتر های پسیو ۱٦

۲-۲- طراحی فیلتر های پسیو ۱۸

۲-۲-۱- توان راکتیو مورد نیاز ۱۸

۲-۲-۲- محدودیت های هارمونیکی ۱۹

۲-۲-۳- شرایط عادی سیستم ۲۲

۲-۲-٤- شرایط عادی فیلتر هارمونیکی ۲٤

۲-۲-۵- شرایط احتمالی سیستم ۲٤

۲-۲-٦- شرایط احتمالی فیلتر هارمونیکی ۲۷

۲-۲-۷- مکان های فیلتر هارمونیکی ۲۷

۲-۲-۸- پیکربندی های فیلتر هارمونیکی ۲۷

۲-۲-۹- استفاده از بانک های خازنی ۲۸

۲-۲-۱۰- فیلتر های هارمونیکی ولتاژ متوسط و ولتاژ بالا ۲۸

۲-۲-۱۰-۱- ملاحظات اضافه بار هارمونیکی ۳۰

۲-۲-۱۰-۲- ویژگی های اجزاء اصلی ۳۱

۲-۲-۱۰-۳- مراحل طراحی یک فیلتر هارمونیکی پسیو ٦۱

۲-۳- طراحی انواع مختلف فیلتر های پسیو ۷٤

۲-٤- بهینه سازی فیلتر های پسیو ۸۱

۲-٤-۱- جایابی بهینه فیلتر ها ۸۱

۲-٤-۲- روش های هوشمند حل مسئله ۸۲

۲-٤-۳- توابع هدف در بهینه سازی ۸۷

۲-٤-٤- محدودیت های طراحی ۸۹

فصل سوم: شبیه سازی

۳-۱- شبیه سازی ۱ ..... ۹۳

۳-۱-۲- برداشت هائی از شبیه سازی ۱ ..... ۹۷

۳-۲- شبیه سازی ۲ ..... ۹۸

۳-۲-۱- مدل شبیه سازی ۹۸

۳-۲-۲- بهینه سازی نسبت به هر یک از توابع هدف ۱۰۰

۳-۲-۳- روش پارتو ۱۰٤

۳-۲-٤- روش فازی ۱۰٦

۳-۲-٤-۱- ایجاد یک تابع هدف کلی ۱۰۷

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات

٤-۱- نتیجه گیری ۱۱۲

٤-۲- پیشنهادات ۱۱٤

فهرست مراجع ۱۱۵

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مقادیر نامی خازن ۸۰

جدول ۳-۱- ترکیب های بدست آمده در مرحله ۱۱ از شبیه سازی ۱ ..... ۹۵

جدول ۳-۲- نتایج شبیه سازی برای ترکیب های بدست آمده ۹۶

جدول ۳-۳- اطلاعات مربوط به بارهای شبکه ۹۹

جدول ۳-٤- اطلاعات مربوط به امپدانس خطوط ۹۹

جدول ۳-۵- وضعیت شبکه قبل از فیلترگذاری ۱۰۰

جدول ۳-٦- حل بهینه کلی نسبت به تابع هدف اعوجاج هارمونیکی کلی ۱۰۱

جدول ۳-۷- حل بهینه کلی نسبت به تابع هدف پروفیل ولتاژ ۱۰۲

جدول ۳-۸- حل بهینه کلی نسبت به تابع هدف هزینه ۱۰۳

جدول ۳-۹- حل بهینه کلی نسبت به تابع هدف ناتعادلی ۱۰٤

جدول ۳-۱۰- تعدادی از نتایج روش پارتو ۱۰۵

جدول ۳-۱۱- بهترین جواب از نظر اعوجاج هارمونیکی کلی..... ۱۰۵

جدول ۳-۱۲- بهترین جواب از نظر پروفیل ولتاژ ۱۰۵

جدول ۳-۱۳- بهترین جواب از نظر نامتعادلی ۱۰٦

جدول ۳-۱٤- بهترین جواب از نظر هزینه..... ۱۰٦
جدول ۳-۱۵- مقایسه الگوریتم های مختلف ۱۰۸
جدول ۳-۱٦- نتایج الگوریتم تجمع ذرات ۱۰۹
جدول ۳-۱۷- نتایج الگوریتم ژنتیک ۱۰۹
جدول ۳-۱۸- نتایج الگوریتم تکاملی-تفاضلی ۱۰۹
جدول ۳-۱۹- نتایج الگوریتم جغرافیای زیستی ۱۰۹

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- شکل موج هارمونیکی ٤

شکل ۱-۲- تجزیه تحلیل هارمونیکی ٥

شکل ۲-۳- کوره قوس الکتریکی ۷

شکل ۲-٤- چرخه تأثیر تجدید ساختار بر روی کاهش هارمونیک ۹

شکل ۲-٥- ترانس زیگزاگ و خنثی شدن شار ها در بازو ها ۱۱

شکل ۲-٦- فیلتر بلوکه کننده نقطه خنثی ۱۲

شکل ۲-۷- مجموعه فیلتر های پسیو نصب شده در یک پست ۱۳

شکل ۲-۸- فیلتر ترکیبی ۱٤

شکل ۲-۹- فیلتر های پسیو ۱٦

شکل ۲-۱۰- نحوه فیلتر کردن هارمونیک ۱۸

شکل ۲-۱۱- پیکربندی های مختلف فیلتر پسیو تک تنظیمه ۲۸

شکل ۲-۱۲- منحنی مقدار پیک ولتاژ برحسب تعداد گذرا های سالیانه ۳٥

شکل ۲-۱۳- منحنی ولتاژ برحسب زمان برای اضافه ولتاژ های کوتاه مدت ۳۸

شکل ۲-۱٤- منحنی دشارژ خازن به میزان ۱۰٪ ٥۳

شکل ۲-۱۵- منحنی $\frac{n_{min}}{n_h}$ برحسب m ۷۸

شکل ۲-۱۶- جمعیت پرندگان و الگوریتم تجمع ذرات ۸۵

شکل ۳-۱- مدل سیستم در شبیه سازی ۱ ..... ۹۳

شکل ۳-۲- نتیجه مرحله ۱۲ از شبیه سازی ۱ ..... ۹۷

شکل ۳-۳- شبکه تست ۱۸ شینه صنعتی ۹۸

فهرست علائم و اختصارات (Abriviation)

1-HP	First Order High Pass
2-HP	Second Order High Pass
3-HP	Third Order High Pass
UPS	Uninterruptable Power Supply
SVC	Static Var Compensator
PWM	Pulse Wide Modulation
HEM	Harmonic Elimination Method
HMM	Harmonic Mitigation Method
MCOV	Maximum Continuous Operating Voltage
TOV	Temporary Overvoltage
THD	Total Harmonic Distortion
TDD	Total Demand Distortion
PSO	Particle Swarm Optimization
BBO	Biogeography Based Optimization
HSI	Habitat Suitability Index
SIV	Suitability Index Variable
FS	Frequency Scan
BIL	Basic Isolation Level
DE	Differential Evolution

مقدمه:

یکی از عوامل موجود در سیستم قدرت که از آثار آن می توان وجود آن را در سیستم احساس کرد اغتشاش هارمونیکی می باشد. اغتشاش هارمونیکی دارای آثاری از جمله تشدید در سیستم، عملکرد غلط برخی تجهیزات حفاظت و کنترل و افزایش دمای تجهیزات می باشد. تاکنون روش های مختلفی برای کاهش سطح هارمونیکی در شبکه ارائه شده است. پرکاربردترین روش از بین این روش ها، فیلتر های پسیو می باشد. چرا که با استفاده از فیلتر های پسیو دسترسی به دو هدف امکانپذیر می باشد:

۱- فیلترینگ هارمونیکی
۲- خازنگذاری

برای استفاده از این روش موارد متعددی باید در نظر گرفته شوند؛ از جمله می توان به مکان مناسب نصب، نوع فیلترها، تنظیم پارامترها و همچنین رعایت قیود متعدد اشاره کرد. تاکنون تحقیقات بسیاری برای طراحی فیلتر های پسیو انجام گرفته است. بعنوان نمونه از بین انواع مختلف فیلتر های پسیو شامل تک تنظیمه، بالاگذر مرتبه اول، بالاگذر مرتبه دوم، بالاگذر مرتبه سوم و نوع C چندین ترکیب سه تائی شامل فیلتر های تک تنظیمه، بالاگذر مرتبه دوم و

بالاگذر مرتبه سوم بعنوان بهترین ترکیب ها برای کاهش سطح هارمونیک در یک شبکه تک شینه انتخاب شده اند[۱]. در مطالعه ای دیگر به انتخاب نوع، تعداد، ظرفیت و پارامتر های فیلتر های پسیو در یک شبکه تک شینه پرداخته شده است[۲]. در شبکه های بزرگ با تعداد زیادی از شینه ها بدست آوردن مکان مناسب فیلتر ها کار ساده ای نمی باشد. لذا آنالیز حساسیت بر روی شبکه در مرجع های[۳،۴] انجام گرفته شده است تا مستعد ترین شینه ها از نظر کاهش سطح هارمونیک انتخاب گردند. حل مسئله طراحی فیلتر های پسیو حل مسئله ای برای دستیابی به چندین هدف می باشد که نیاز است از روش های حل چند هدفه مانند روش پارتو روش فازی استفاده کرد. از روش پارتو برای طراحی فیلتر پسیو نوع C در یک شبکه تک شینه در مرجع [۵] استفاده شده است. در هر کدام از تحقیقاتی که تاکنون بر روی فیلتر های پسیو انجام گرفته است به موارد خاصی از طراحی فیلتر ها اشاره شده است. همچنین به این نکته مهم که می توان با استفاده از فیلتر های پسیو مشکلاتی از سیستم را که با خازن گذاری رفع می گردد را حل کرد توجهی نشده است. در این تحقیق سعی بر این است که یک طراحی همه جانبه ای انجام گیرد بگونه ای که ضمن در نظر گرفتن موارد مهم طراحی در تحقیقات قبلی، معیار های جدید طراحی از قبیل اصلاح پروفیل ولتاژ، اصلاح نامتعادلی، کاهش تلفات و همچنین در نظر گرفتن سه نوع فیلتر متفاوت با امکان انتخاب هر کدام در هر شینه و از همه مهم تر استفاده از روش پارتو و روش فازی و استفاده از چهار الگوریتم هوشمند مختلف در این روش و مقایسه آنها در بدست آوردن جواب بهینه برای یک شبکه چند شینه را شامل شود.

در ادامه ابتدا پس از معرفی هارمونیک و بار های غیر خطی به نحوه طراحی فیلتر های پسیو می پردازیم. پس از آن روش های مختلف بهینه سازی بیان خواهد شد. در فصل سوم در شبیه سازی شماره ۱ بهترین ترکیب در یک شبکه تک شینه تعیین می شود و در شبیه سازی شماره ۲ با توجه به نتایج شبیه سازی قبلی و با استفاده از روش های هوشمند چند هدفه شامل روش پارتو و روش فازی و با استفاده از چهار الگوریتم مختلف بهینه سازی شامل تجمع ذرات، ژنتیک، تفاضلی-تکاملی و جغرافیای زیستی حل مسئله غیر خطی که شامل جایابی، تعیین نوع و تنظیم پارامتر های فیلتر ها در یک شبکه تست چند شینه صنعتی است انجام می گیرد.

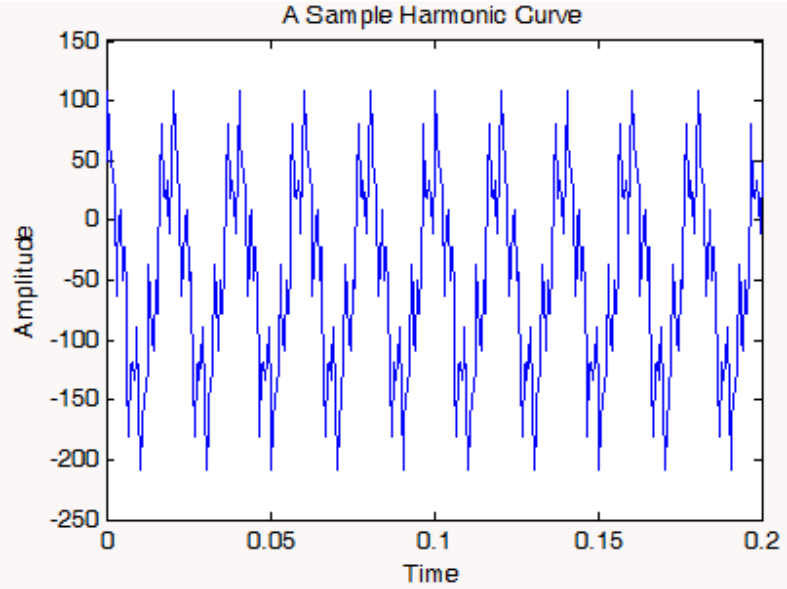
فصل ۱

هارمونیک در شبکه برق رسانی

۱–۱– هارمونیک و بار های غیر خطی:

۱–۱–۱– بارهای هارمونیکی:

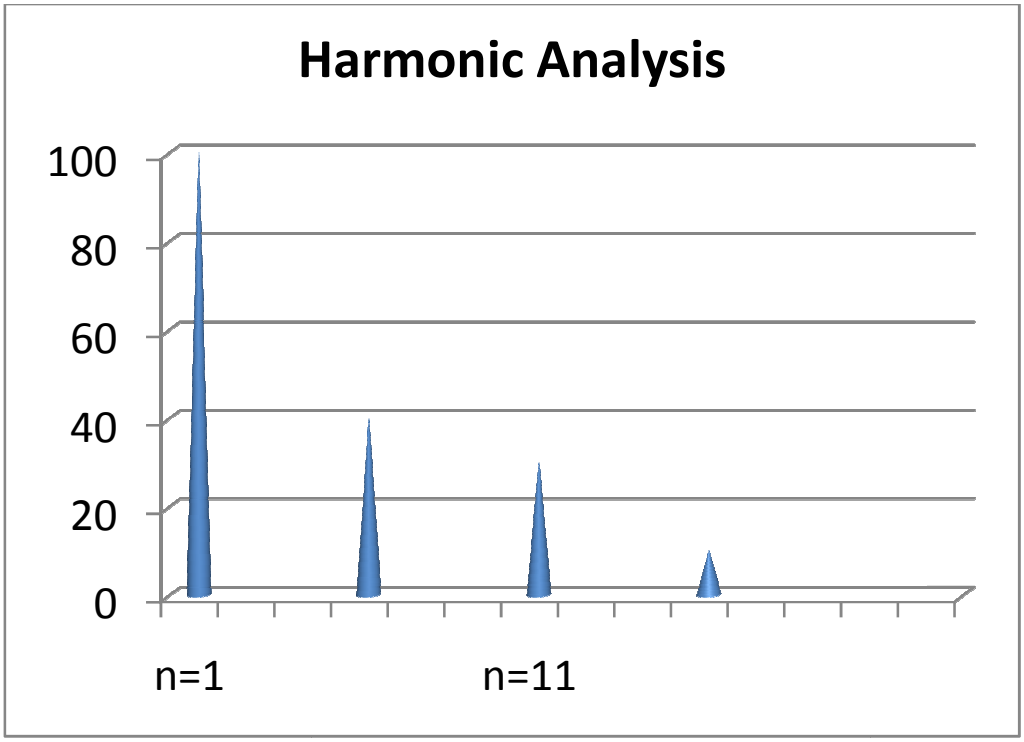
منظور از هارمونیک در سیستم قدرت وجود جریان و ولتاژ های با فرکانس چند برابر فرکانس سیستم قدرت می باشد. شکل (۱–۱) یک شکل موج هارمونیکی را نشان می دهد. در مقایسه با یک شکل موج سینوسی، هارمونیک تغییرات نامطلوبی را در شکل موج ایجاد می کند.



شکل ۱–۱– شکل موج هارمونیکی

۱–۱–۲– تجزیه وتحلیل هارمونیکی:

منظور از تجزیه و تحلیل هارمونیکی جدا کردن مؤلفه های مختلف هارمونیک از یکدیگر می باشد. روش های مختلف برای تجزیه و تحلیل هارمونیک موجود می باشد از جمله می توان به تجزیه و تحلیل فوریه اشاره کرد. بعنوان مثال با تجزیه و تحلیل شکل (۱–۱) خواهیم داشت:



شکل ۱–۲– تجزیه و تحلیل هارمونیکی

۱–۱–۳– بارهای هارمونیکی و ایجاد هارمونیک:

ایجاد هارمونیک در سیستم قدرت ناشی از وجود بار های غیر خطی می باشد. بار های غیر خطی در واقع بار هائی می باشند که در آنها نسبت ولتاژ و جریان خطی نمی باشد. مقاومتی غیر خطی را در نظر بگیرید که به منبع ولتاژ سینوسی متصل است. جریانی غیر سینوسی در مقاومت جاری خواهد شد که شکل موجی حاصل از مجموع چند شکل موج سینوسی با فرکانس های مختلف را شامل خواهد داشت. حال اگر فرض کنیم این مقاومت غیر خطی توسط یک خط با

امپدانس z به منبع ولتاژ سینوسی متصل شود با عبور جریان غیر خطی از خط افت ولتاژی غیر خطی ناشی از این امپدانس ایجاد خواهد شد که ولتاژ غیر سینوسی را در نقطه اتصال نتیجه خواهد داد.

۱-۱-۴- بار های غیر خطی رایج در شبکه:

بار های غیر خطی رایج در شبکه عبارتند از:

۱- تجهیزات الکترونیک قدرت:

یکسوکننده ها، برشگر ها، کنورتور ها و اینورتر ها از جمله تجهیزات الکترونیک قدرت می باشند. با پیشرفت تکنولوژی و نیز رقابتی شدن بازار برق کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت روز بروز در حال افزایش می باشد. از آن جمله می توان به رشد چشمگیر منابع انرژی نو با کنورتور های الکترونیک قدرت و یکسوکننده ها و همچنین به درایو های تنظیم سرعت، باتری شارژر ها و منابع تغذیه بدون وقفه[۱] اشاره کرد. در این نوع تجهیزات به علت غیر سینوسی بودن جریان هارمونیک به شبکه تزریق می شود.

۲- کوره های قوس الکتریکی و القائی:

از کوره های قوس الکتریکی و القائی در صنایع مربوط به ذوب فلزات استفاده می شود. در این کوره ها رابطه غیر خطی شدیدی بین ولتاژ منبع و جریان تولیدی وجود دارد. در کوره قوس الکتریکی در یک لحظه برای ذوب فلز اتصال کوتاه شدیدی رخ می دهد تا جریان اتصال کوتاه در فلز عبور کرده و با گرمای ایجاد شده توسط این جریان فلز ذوب شود. در کوره القائی توسط القای الکترومغناطیسی جریانی در فلز القا می شود و با گرمایش ناشی از آن، فلز ذوب می شود.

۱- UPS

شکل ۲-۳- کوره قوس الکتریکی

۳- سوئیچ زنی:

سوئیچ زنی در تجهیزات الکترونیکی مثل تریستور، ترانزیستور و ...، شکل موج جریان را غیر سینوسی می کند. این تجهیزات الکترونیکی در اکثر وسایل برقی وجود دارند از جمله می توان به کامپیوتر ها، لامپ های کم مصرف، جبران کننده های استاتیکی[۱] و فرستنده های تلویزیونی اشاره کرد.

٤- پدیده اشباع:

عامل دیگر ایجاد هارمونیک در شبکه پدیده اشباع در ماشین های الکتریکی می باشد. با توجه به وجود تعداد زیاد ماشین های الکتریکی از قبیل ترانس های قدرت، ژنراتور های الکتریکی و موتور های الکتریکی در شبکه این پدیده خود می تواند مشکل هارمونیکی قابل توجهی را ایجاد کند.

۱- SVC