بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان کارگاه:

مقدمه ای بر فیلترهای فعال قدرت و کاربرد آنها در بهبود کیفیت توان و کاهش تلفات شبکه های توزیع الکتریکی

ارائه دهنده:

محمدصادق کرباس فروشان

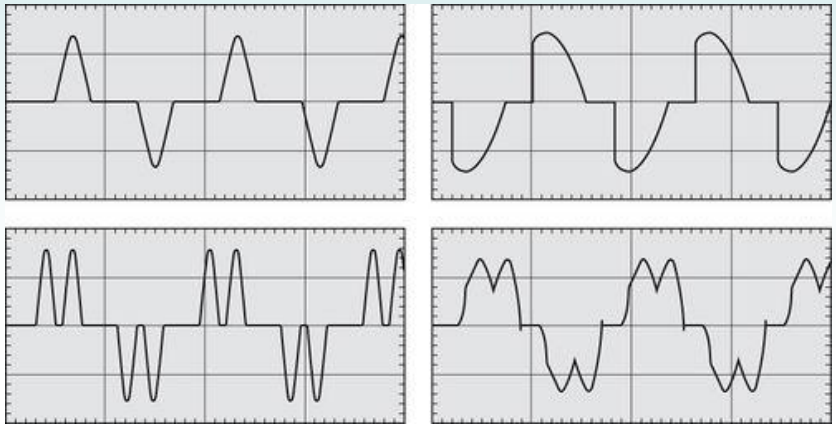
خرداد ماه ۱۳۹۷

فهرست مطالب

- مقدمه
- نظریه های توان در سیستم های تکفاز و سه فاز
- کیفیت توان – توصیف هارمونیک ها، منابع، اثرات و شاخص ها
- روش های جبران سازی هارمونیکی – فیلترهای فعال قدرت
- جمع بندی و نتیجه گیری

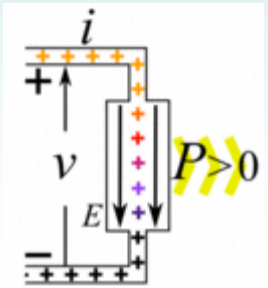
مقدمه

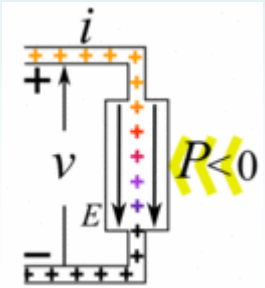
افزایش بارهای غیرخطی:
لامپ های کم مصرف، LED ها، کامپیوترها، منابع تغذیه سوئیچینگ، محرکه های الکتریکی سرعت متغیر، اینورترهای جوشکاری و ...



توان

توان: نرخ مصرف یا تولید انرژی در واحد زمان (Watt)
انرژی: میزان توان بر حسب وات ضرب در زمان (وات ساعت/کیلووات ساعت)
توان تلف شده در یک المان مقاومتی: RI^2 (ولتاژ و جریان تابع زمان نیستند)
توان در سیستم های الکتریکی: حاصلضرب ولتاژ در جریان (v.i)



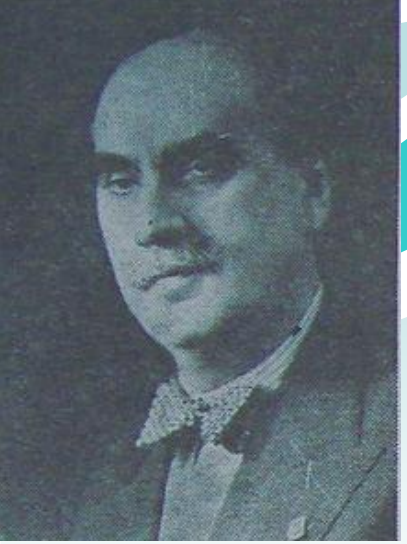


توان در سیستم های تکفاز:

$$\begin{cases} v(t) = \sqrt{2}V\sin(\omega t) \\ i(t) = \sqrt{2}I\sin(\omega t - \varphi) \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_{mean} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,i(t)\,dt = VI\cos(\varphi) \\ Q_{mean} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,i(t-\frac{T}{4})\,dt = VI\sin(\varphi) \\ S = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2\,dt}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2\,dt} = VI \end{cases}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$



توان: نظریه بودانو

توان راکتیو در سیستم های با منبع ولتاژ غیر سینوسی (۱۹۲۷):

$$Q_B = \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \sin\varphi_n$$

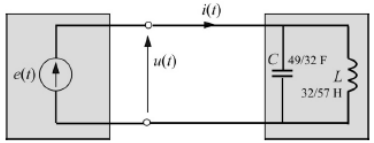
$$S^2 = P^2 + Q_B^2 + D^2$$

مفهوم نظریه بودانو همان توان راکتیو در سیستم های با منبع ولتاژ سینوسی یعنی توان تبادلی بین منبع و بار است.

اشکالات: توان راکتیو مرتبه هارمونیکی **n**-ام اندازه مولفه نوسانی توان از مرتبه **n** است!

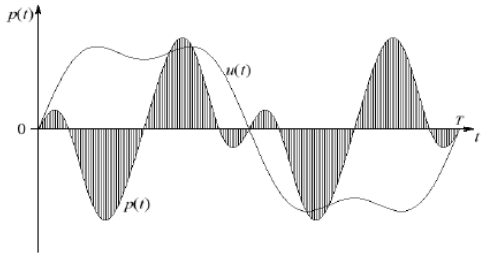
اندازه ها ممکن است منفی یا مثبت بوده و یکدیگر را خنثی نموده در حالیکه توان نوسانی بین منبع و بار صفر نمی شود!

$$u(t) = \sqrt{2}(100\sin\omega_1 t + 25\sin 3\omega_1 t)\ \text{V}$$



$$i(t) = \sqrt{2}\,[25\sin(\omega_1 t - 90^0) + 100\sin(3\omega_1 t + 90^0)]\ \text{A}$$

$$Q_B = \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \sin\varphi_n = 100\times 25\times 1 + 00\times 25\times(-1) = 0$$



There are energy oscillations in spite of zero Budeanu's reactive power Q

توان: نظریه فریز

تعریف جدیدی از توان راکتیو بر مبنای تجزیه جریان بار به دو مولفه اکتیو و راکتیو (۱۹۳۱):

$$i(t) = i_a(t) + i_{rf}(t)$$

جریان اکتیو: مولفه ای از جریان که با ولتاژ متناسب باشد

$$i_a(t) = G_e v(t) \quad G_e = \frac{P}{|v|^2}$$

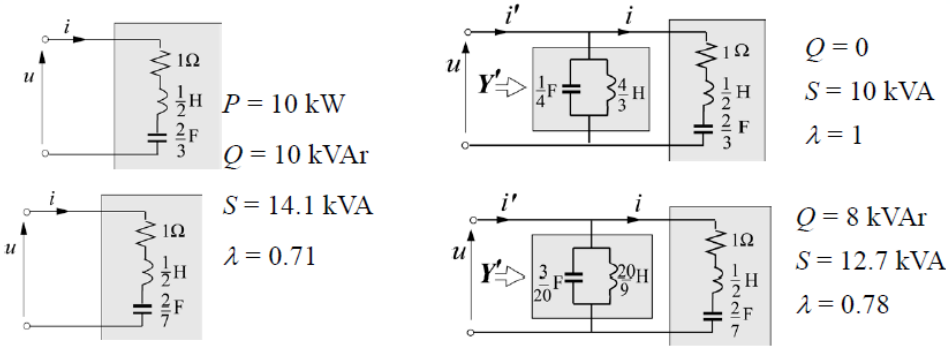
جریان اکتیو کمترین جریان RMS موردنیاز برای تأمین توان اکتیو بار است.

جریان‌های اکتیو و راکتیو بر یکدیگر عمود بوده و بنابراین فرمول زیر برقرار است که در آن |.| نماد دامنه بردار است.

$$S^2 = P^2 + Q_F^2 \qquad Q_F = \|u\| \|i_{rF}\|$$

اشکالات: جبرانسازی توان

$u(t) = 100\sqrt{2}\,(\sin\omega_1 t + \sin 3\omega_1 t)$ V



These loads cannot be distinguished with respect to Fryze's powers.
They differ as to the possibility of their compensation

Fryze's Power Theory
does not enable us to draw conclusions
as to the possibility of the load compensation with a reactive compensator

توان: سایر نظریه ها

نظریه شفرد (۱۹۷۱):

$$Q_S = ||u||||i_{rS}||$$

$$S^2 = S_R^2 + Q_S^2$$

نظریه کاسترز (۱۹۷۵):

$$Q_K = ||u||||i_{rC}||$$

$$S^2 = P^2 + Q_K^2 + Q_r^2$$

نظریه دپنبروک (۱۹۷۹):

$$S^2 = P^2 + Q_1^2 + V^2 + N^2$$

نظریه چارنسکی (۱۹۸۴):

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D_s^2$$

توان لحظه ای در سیستم های سه فاز: نظریه آکاگی

توان در سیستم سه فاز:

$$p(t)=v_a(t)i_a(t)+v_b(t)i_b(t)+v_c(t)i_c(t)$$

تئوری **pq** (۱۹۸۳): ((این نظریه یک روش جدیدی از جبران توان راکتیو را معرفی می‌کند که از جبران‌کننده‌های بدون منبع فعال انرژی استفاده می‌شود. این جبران‌کننده نه‌تنها می‌تواند توان راکتیو هارمونیک اصلی در حالت گذرا را حذف کند بلکه قدرت حذف برخی از جریان‌های هارمونیکی را نیز دارد.))

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

کیفیت توان

استفاده از واژه‌های "قابلیت اطمینان تغذیه"، "کیفیت سرویس‌دهی"، "کیفیت ولتاژ" و "کیفیت مصرف"
کیفیت توان به‌طورکلی به معنای کیفیت ولتاژ و جریان طبق این تعریف است: اندازه‌گیری، آنالیز و اصلاح ولتاژ باس برای رسیدن به ولتاژ سینوسی با ولتاژ و فرکانس نامی.

استاندارد IEEE1100: "راهکار زمین کردن و توان دادن به یک وسیله حساس الکترونیکی به‌طور مناسب با آن". ← محدود به وسایل الکترونیکی حساس

همه‌ی وسایل الکترونیکی وقتی با مشکلات کیفیت توان مواجه می‌شوند در معرض خرابی و عملکرد نامطلوب می‌باشند. وسایل الکتریکی شامل موتور الکتریکی، ترانسفورماتور، ژنراتور، کامپیوتر، پرینتر و وسایل ارتباطی یا خانگی می‌باشند.

دلایل توجه به کیفیت توان:

اندازه‌گیری: کیفیت توان پایین می‌تواند روی دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری تأثیر بگذارد.
رله‌های حفاظتی: کیفیت توان پایین می‌تواند باعث عملکرد نامطلوب رله‌های حفاظتی شود.
زمان ازکارافتادگی: کیفیت توان پایین می‌تواند باعث ازکارافتادگی یا خرابی تجهیزات و درنتیجه از دست رفتن تولید شود.
هزینه: کیفیت توان پایین می‌تواند باعث افزایش هزینه‌های ناشی از تبعات موارد بالا شود.
سازگاری الکترومغناطیسی: کیفیت توان پایین می‌تواند مشکلاتی را در رابطه با سازگاری الکترومغناطیسی و نویز شود.

کیفیت توان

دیدگاه شرکت های برق:

شرکت های برق کیفیت برق را مترادف با عدم قطعی برق معرفی می‌نمایند که البته این تعریف، یک بیان کامل از موضوع کیفیت برق (توان) نمی‌تواند باشد.

هزینه ها و پیامدهای کیفیت نامطلوب توان از نگاه شرکت برق:

- ✓ ضعیف شدن روابط با مشترکین
- ✓ از دست دادن مشترکین به دلیل محیط رقابتی
- ✓ افزایش انرژی توزیع نشده
- ✓ مشکلات حقوقی با طرح دعاوی از سوی مشترکین خسارت دیده
- ✓ بازشدن فیوزها
- ✓ عمل کردن کلیدهای قدرت و رله ها
- ✓ آسیب دیدن، جرقه زدن یا سوختن تجهیزات
- ✓ خاموشی خطوط
- ✓ تقاضای بیش از حد بار

دیدگاه سازندگان تجهیزات الکتریکی:

مشخصاتی از شبکه که امکان عملکرد صحیح تجهیزات الکتریکی در آن مهیا باشد. با توجه به تنوع تجهیزات برقی و دامنه عملکرد صحیح آن ها این تعریف خود ابعاد گوناگونی را شامل می شود.

کیفیت توان

هزینه ها و پیامدهای کیفیت نامطلوب توان از نگاه مشترکین:

- ✓ هزینه های نیروی انسانی – هزینه های مواد از دست رفته در چرخه تولید
- ✓ هزینه آسیب به تجهیزات
- ✓ هزینه های راه اندازی مجدد سیستم تولید
- ✓ هزینه بهره برداری از ژنراتور پشتیبان
- ✓ ایجاد بی نظمی در برنامه ریزی کاری
- ✓ از دست دادن اتصالات – جرقه زدن اتصالات
- ✓ اضافه بار مدارات و ترانسفورماتورها
- ✓ ایجاد بارهای نامتعادل
- ✓ هارمونیکهای ناشی از ادوات مدرن الکترونیک قدرت
- ✓ ایجاد مسیرهای حلقه ی زمین
- ✓ نامناسب شدن نول
- ✓ عدم عملکرد صحیح تجهیزات میکروپروسسوری و مخابراتی

شاخص های کیفیت توان

تعریف کیفیت توان: هر گونه تغییر در پارامترهای ولتاژ، جریان و فرکانس که موجب خرابی و یا عملکرد نادرست تجهیزات مشترکین گردد. کیفیت توان = کیفیت ولتاژ

انواع پدیده های کیفیت توان:

۱- گذراها (ضربه ای / نوسانی)

۲- تغییرات بلندمدت ولتاژ (اضافه ولتاژ / کاهش ولتاژ / قطعی بلندمدت)

۳- تغییرات کوتاه مدت ولتاژ (برآمدگی ولتاژ / فلش ولتاژ / قطعی کوتاه مدت)

۴- نامتعادلی ولتاژ

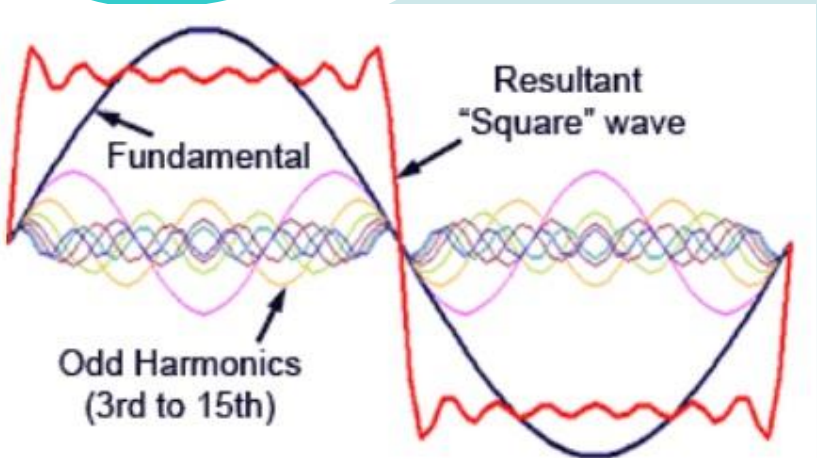
۵- اعوجاج ها (هارمونیک ها / هارمونیک های میانی / نویز / شکاف)

۶- فلیکر ولتاژ

۷- تغییرات فرکانس

هارمونیک ها

هارمونیکها ولتاژها و یا جریان های سینوسی هستند که فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس مبنا میباشد.



Fundamental (1st harmonic) = 50hz

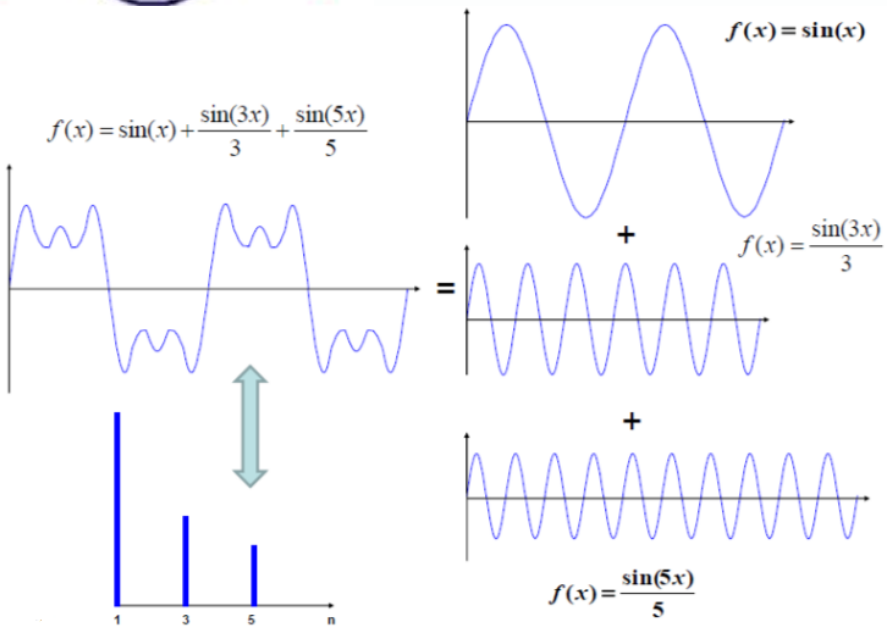
2nd = 100hz

3rd = 150hz

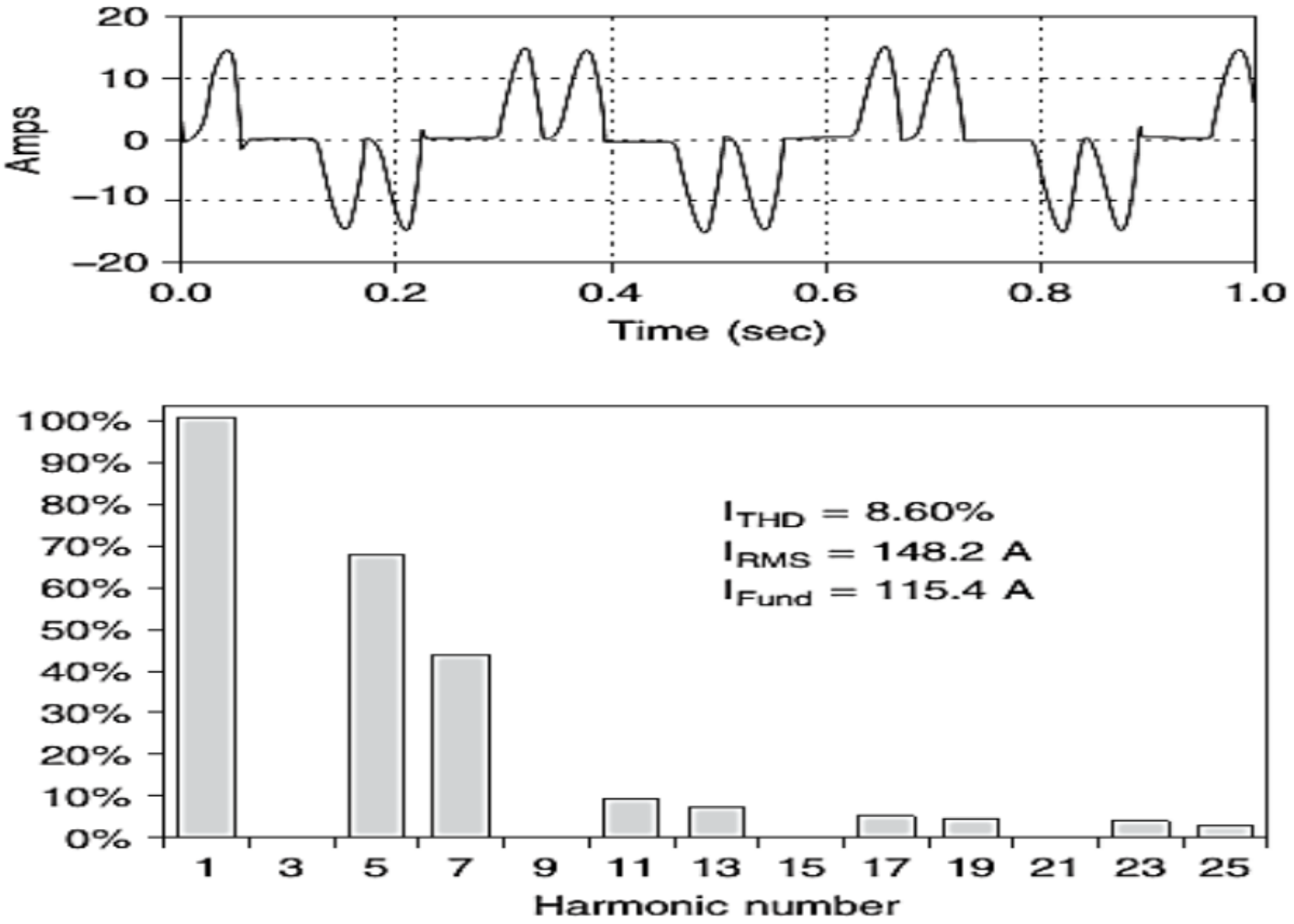
4th = 200hz

5th = 250hz

...



هارمونیک ها


20
10
0
−10
−20
Amps
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Time (sec)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
I_{THD} = 8.60%
I_{RMS} = 148.2 A
I_{Fund} = 115.4 A
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
Harmonic number

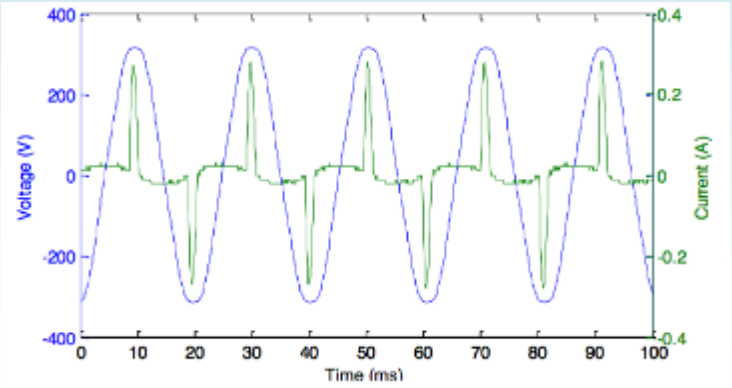
منابع ایجاد کننده هارمونیک ها

منابع تولید هارمونیک

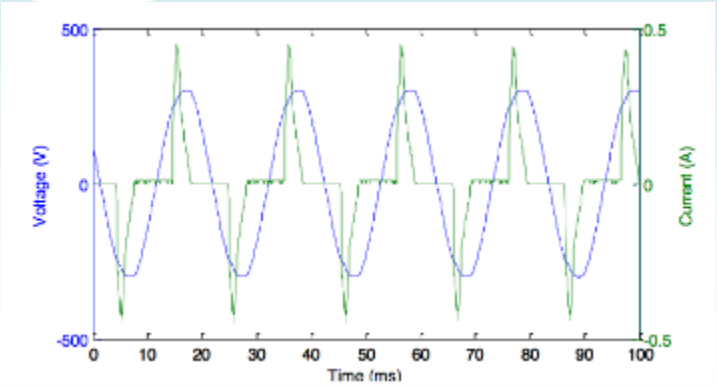
- مبدل های الکترونیک قدرت نظیر یکسوکننده ها و اینورترها
- درایوهای سرعت متغیر
- دستگاه های جوشکاری
- لامپ های کم مصرف
- کامپوترهای شخصی و سیستم های الکترونیکی
- ادوات تخلیه الکتریکی
- تجهیزات فرومغناطیس و ...

منابع ایجاد کننده هارمونیک ها

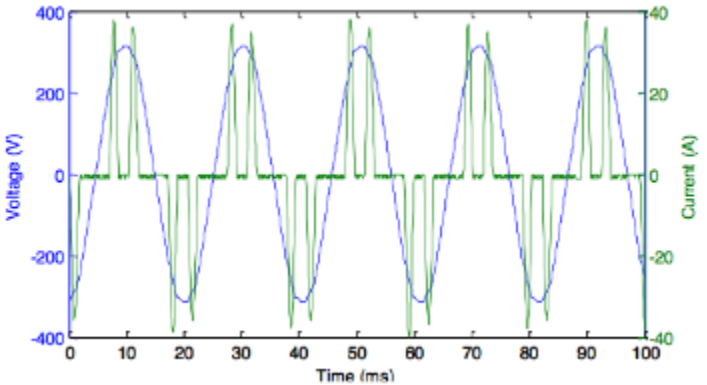
گیرنده ماهواره



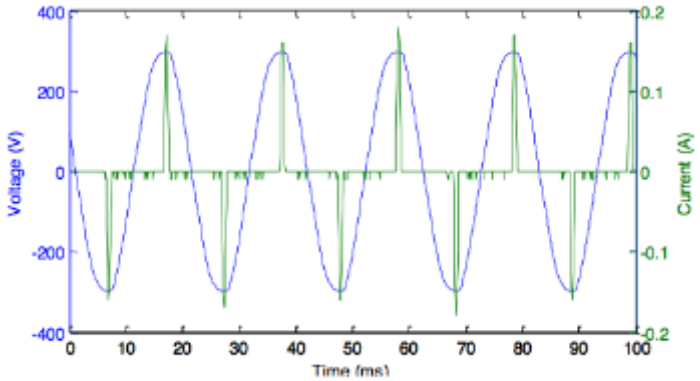
لامپ کم مصرف



آسانسور



کامپیوتر شخصی



تاثیر مخرب هارمونیک ها

- ✓ تلفات اضافی در خطوط، ترانسفورماتورها، ماشین های الکتریکی و خازن ها
- ✓ افزایش جریان سیم نوترال در سیستم های چهارسیمه
- ✓ اضافه دمای عناصر سیستم
- ✓ نوسان مکانیکی در موتورها
- ✓ خرابی عایق ها
- ✓ رفتار غیرقابل پیش بینی سیستم های حفاظتی
- ✓ اضافه دمای ترانسفورماتورها
- ✓ تداخل با سیستم ارتباطات و مخابرات (PLC)
- ✓ مشکلات پایداری و بروز رزونانس
- ✓ آسیب به تجهیزات سیستم قدرت
- ✓ ...

شاخص اعوجاج هارمونیکی

اعوجاج هارمونیکی کل (THD): نسبت مقدار موثر مولفه محتوای هارمونیکی به مقدار موثر مولفه اصلی

اعوجاج مصرفی کل (TDD): نسبت مقدار موثر مولفه محتوای هارمونیکی به مقدار موثر دیماند

$$THD_V(\%) = \frac{\sqrt{(V_2^2 + V_3^2 + ... + V_h^2)}}{V_1}.100$$

Voltage Total Harmonic Distortion

$$THD_I(\%) = \frac{\sqrt{(I_2^2 + I_3^2 + ... + I_h^2)}}{I_1}.100$$

Current Total Harmonic Distortion

$$TDD_I(\%) = \frac{\sqrt{(I_2{}^2 + I_3{}^2 + ... + I_h{}^2)}}{I_{\max demand}}.100$$

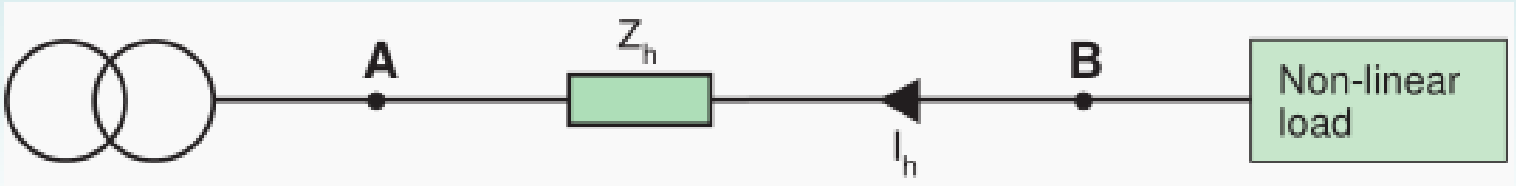
Current Total Demand Distortion

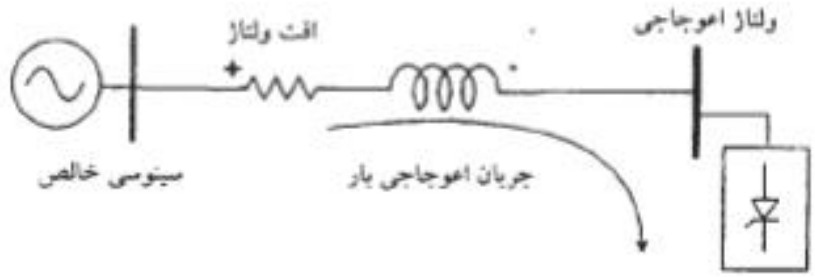
مزایای کاهش هارمونیک ها

- ✓ کاهش تلفات
- ✓ آزادسازی ظرفیت تجهیزات همچون ترانسفورماتورها
- ✓ افزایش طول عمر تجهیزات
- ✓ کاهش احتمال رزونانس سری و موازی در شبکه
- ✓ افزایش راندمان
- ✓ کاهش خطای عملکرد رله ها
- ✓ ...

هارمونیک های جریان و ولتاژ

سیلان جریان های هارمونیکی ناشی از بارهای غیرخطی در شبکه توزیع الکتریکی، سبب هارمونیکی شدن ولتاژ شبکه می شود.

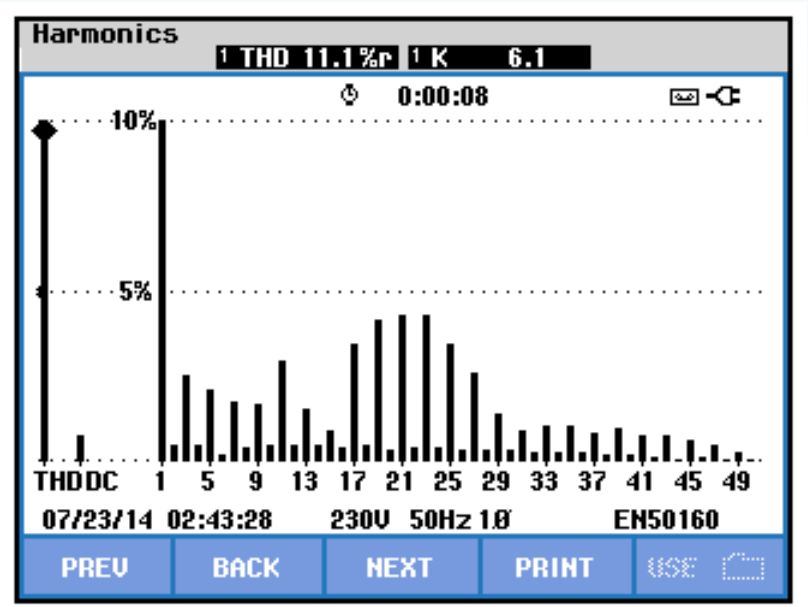


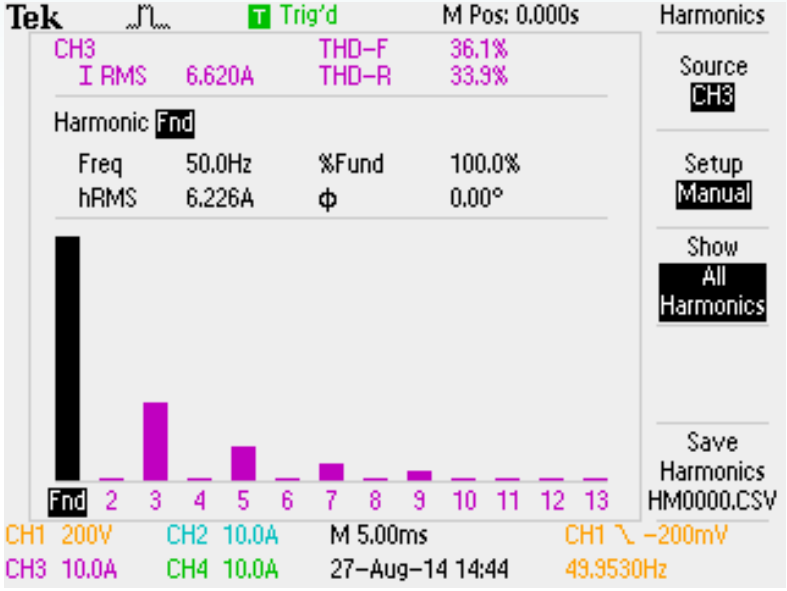


شکل ۶ـ۳: جریانهای هارمونیکی که از امپدانس سیستم عبور کرده و روی بار، ولتاژ هارمونیکی ایجاد می‌کنند

طیف هارمونیکی

طیف هارمونیکی (نمودار توزیع فرکانس) نمایشی است از مقدار دامنه هر مرتبه هارمونیکی در فرکانس هارمونیکی مربوط به آن.





استاندارد مجاز هارمونیک ها در شبکه برق ایران

در جداول ذیل حدود مجاز اعوجاج ولتاژ و جریان در شینه های محل تغذیه مشترکین در سطح ولتاژهای مختلف نشان داده شده است. در این جداول حد مجاز اعوجاج ولتاژ و جریان برای هر مرتبه هارمونیکی و همچنین حد مجاز اعوجاج ولتاژ و جریان کلی به درصد نشان داده شده است.

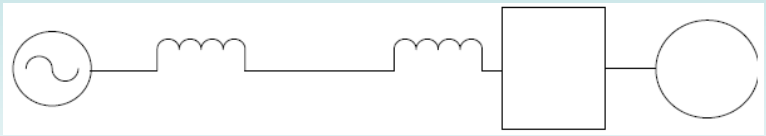
ماکزیمم اعوجاج ولتاژ مجاز در شینه های با ولتاژ های مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز		
ولتاژ شینه	اعوجاج تکی ولتاژ هارمونیک	اعوجاج کلی ولتاژ
	فرد / زوج	
۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلو ولت	۳/۰ / ۱/۵	۵/۰
۶۳ و ۱۳۲ کیلو ولت	۱/۵ / ۰/۷	۲/۵
۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت	۱/۰ / ۰/۵	۱/۵

حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های توزیع ۴۰۰ ولت، ۲۰ و ۳۳کیلوولت

بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک — اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n										اعوجاج کلی جریان
	n<۱۱		۱۱≤n<۱۷		۱۷≤n<۲۳		۲۳≤n<۳۵		n≥۳۵		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R>۵	۴	۱/۰	۳/۰	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۵
۵≥R>۲	۷	۱/۷	۳/۵	۰/۹	۲/۵	۰/۶	۱/۰	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۸
۲≥R>۱	۱۰	۲/۵	۴/۵	۱/۱	۴/۰	۱/۰	۱/۵	۰/۴	۰/۷	۰/۲	۱۲
۱≥R>۰/۱	۱۲	۳/۰	۵/۵	۱/۴	۵/۰	۱/۲	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۱۵
R≤۰/۱	۱۵	۳/۸	۷/۰	۱/۷	۶/۰	۱/۵	۲/۵	۰/۶	۱/۴	۰/۳	۲۰

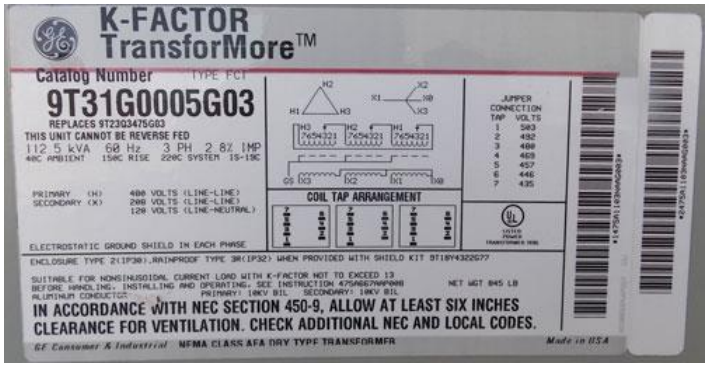
روش های کاهش هارمونیک ها

- ✓ اضافه کردن راکتور به صورت سری در خط DC تغذیه کننده های محرکه های AC



- ✓ افزایش تعداد پالس مبدل ها (۶ به ۱۲ و ...)
- ✓ استفاده از ترانسفورماتور K-فاکتور (اصلاح افزایش دمای ناشی از جریان های هارمونیکی در سیم پیچ های ترانسفورماتور علاوه بر تلفات فرکانس پایه)

$$K = \frac{(\sum I_h^2 \times h^2)}{\sum I_h^2}$$



Typical Load K-Factors	
Load	**K-Factor**
Electric discharge lighting	K-4
UPS with optional input filter	K-4
Welders	K-4
Induction heating equipment	K-4
PLCs and solid state controls	K-4
Telecommunications equipment (e.g.. PBX)	K-13
UPS without input filtering	K-13
Multiwire receptacle circuits in general care areas of health care facilities and classrooms of schools, etc.	K-13
Multi-wire receptacle circuits supplying inspection or testing equipment on an assembly or production line	K-13
Mainframe computer loads	K-20
Solid state motor drives (variable speed drives)	K-20

روش های فیلترینگ

- ✓ فیلترهای پسیو
- ✓ فیلترهای فعال
- ✓ فیلترهای هیبرید

فیلترهای هارمونیکی

فیلترهای پسیو قدرت (PPFs)

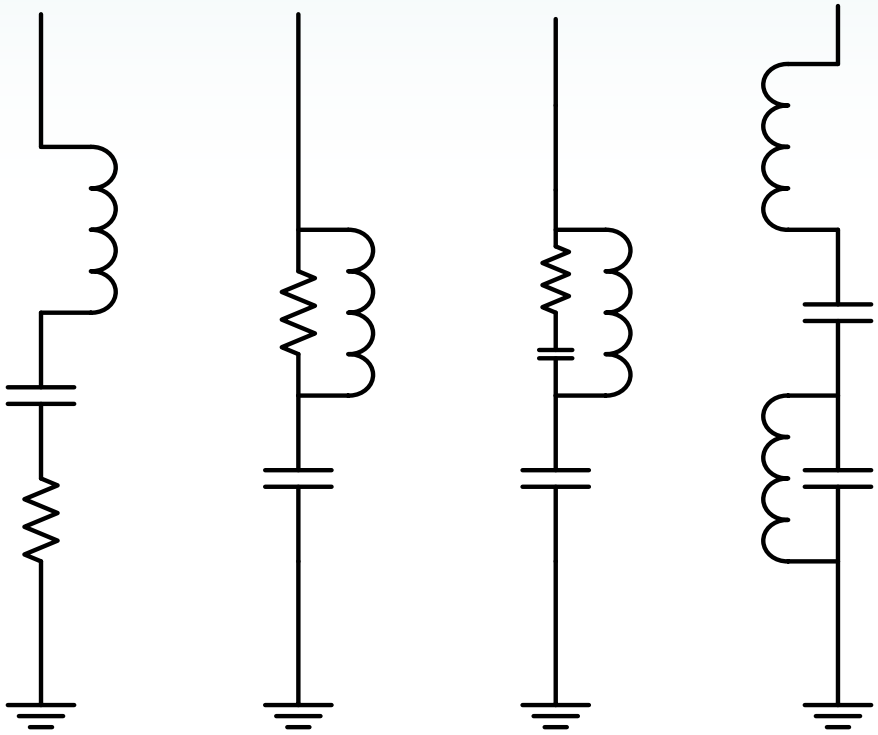
رایج ترین نوع فیلترهای پسیو: فیلترهای پسیو موازی (شاخه LC تنظیم شده)

عناصر اصلی فیلتر پسیو: اندوکتانس و خازن

نصب موازی فیلتر پسیو: ایجاد یک مسیر کم امپدانس برای عبور جریان های هارمونیکی

فرکانس رزونانس فیلتر: فرکانس هارمونیک موردنظر جهت حذف از شبکه

توانایی فیلتر پسیو موازی: جبرانسازی توان راکتیو

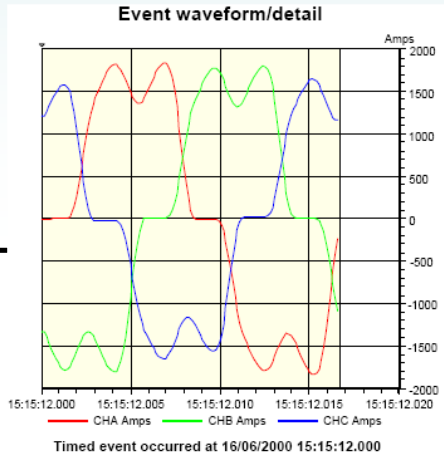


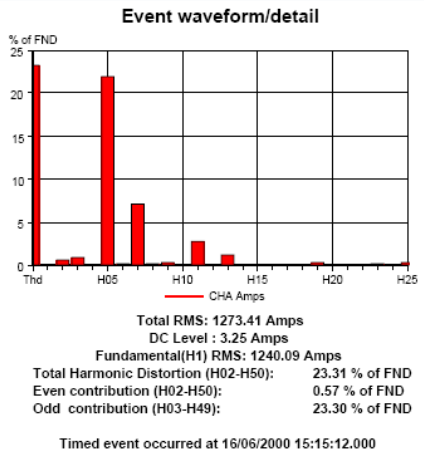
فیلترهای پسیو تک تنظیمه

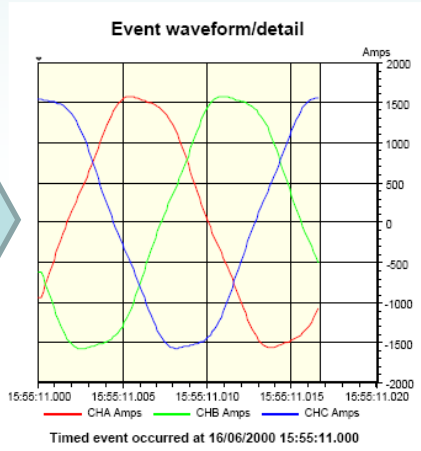
مشخصه های مهم فیلتر: اندازه راکتانس خازنی، اندوکتانس و مقاومت (ضریب کیفیت)

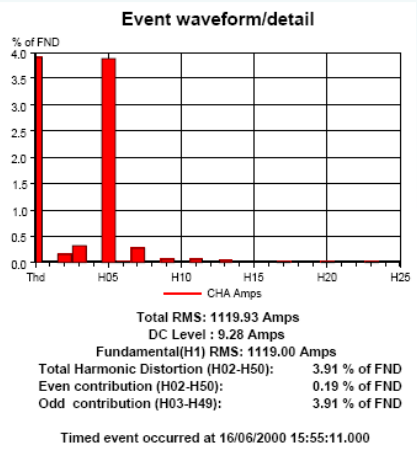
تعیین راکتانس خازنی: تعیین کننده میزان توان راکتیو

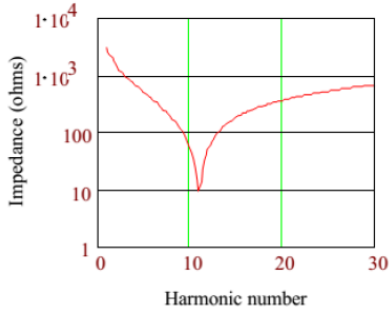
$$X_c = \frac{V^2}{KVAr} \qquad C = \frac{1}{2\pi f X_c} \qquad L = \frac{1}{(2\pi f)^2 (rh)^2 C} \qquad Q = \frac{\sqrt{LC}}{R}$$









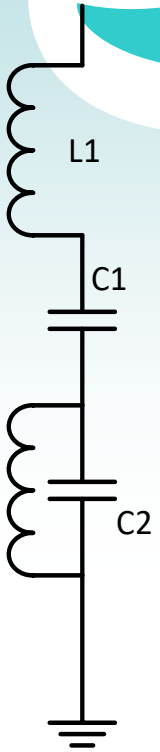


فیلترهای پسیو دو تنظیمه

استفاده جهت حذف و کاهش همزمان دو هارمونیک

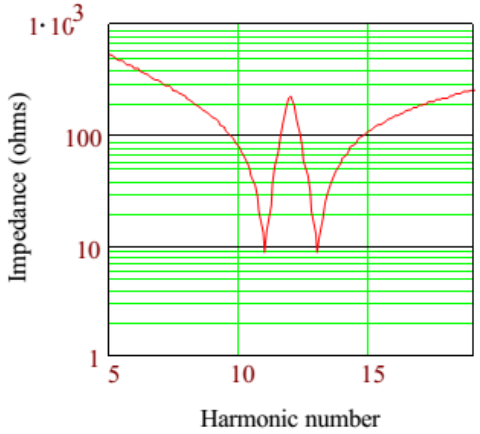
ساختار: یک فیلتر سری و یک فیلتر موازی

مزیت نسبت به فیلتر تک تنظیمه: سایز کوچکتر و هزینه کمتر



$$C_1 = \omega_f \left(\frac{\omega_p}{\omega_1\omega_2}\right)^2 - \frac{1}{\omega_f} + \left(\frac{\omega_f\left(\omega_1^2+\omega_2^2-\omega_p^2\right)\omega_p - \omega_1^2\omega_2^2}{\omega_1^2\omega_2^2\omega_p^2\omega_s^2}\right)$$

$$\omega_s = \frac{\omega_1\omega_2}{\omega_p} \qquad L_1 = \left(\frac{\omega_p}{\omega_1\omega_2}\right)^2 \cdot \frac{1}{C_1} \qquad C_2 = C_1\left(\left(\frac{\omega_1^2+\omega_2^2-\omega_p^2}{\omega_s^2}\right)-1\right) \qquad L_2 = \frac{1}{\omega_p^2 C_2}$$



مشکلات فیلترهای پسیو

- ✓ افزایش احتمال رزونانس با شبکه (تقویت دامنه هارمونیک)
- ✓ طراحی با در نظر گرفتن تمام شرایط بار و منبع (جلوگیری از رزونانس)
- ✓ جابجا شدن فرکانس های طبیعی سیستم
- ✓ عدم عملکرد مناسب در شرایط کم باری
- ✓ تاثیر امپدانس شبکه بر روی عملکرد فیلتر
- ✓ عدم امکان کنترل پیوسته توان راکتیو
- ✓ احتمال خراب شدن تنظیم فیلتر در صورت نصب بانک خازنی در فیدر مشترک
- ✓ تضعیف عملکرد با تغییر فرکانس شبکه
- ✓ ...

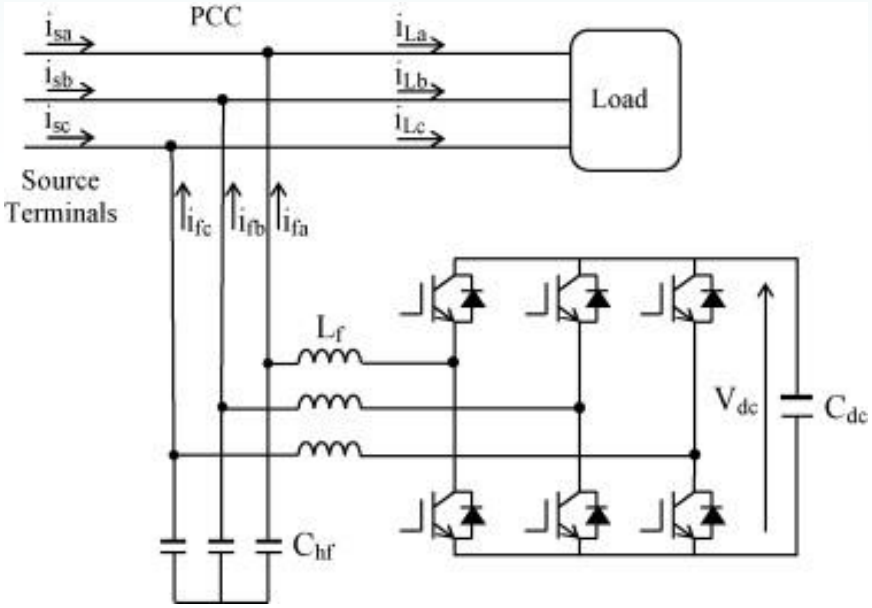
فیلترهای فعال قدرت

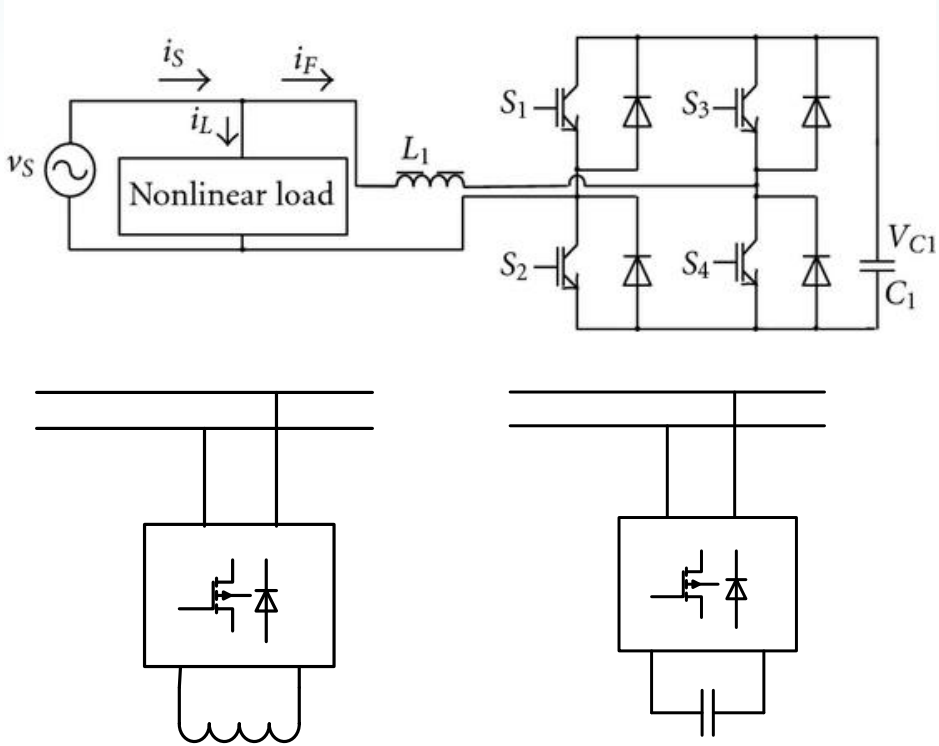
ساختمان فیلتر فعال قدرت: اندوکتانس، خازن و مبدل الکترونیک قدرت

دسته بندی بر اساس ورودی: دوسیمه (تکفاز) – سه سیمه (سه فاز) – چهارسیمه (سه فاز)

دسته بندی بر اساس نوع مبدل: منبع جریانی – منبع ولتاژی

دسته بندی بر اساس توپولوژی: موازی – سری – هیبرید - کامل





فیلترهای فعال قدرت موازی

هدف: حذف هارمونیک های جریان، جبران توان راکتیو و حذف نامتعادلی

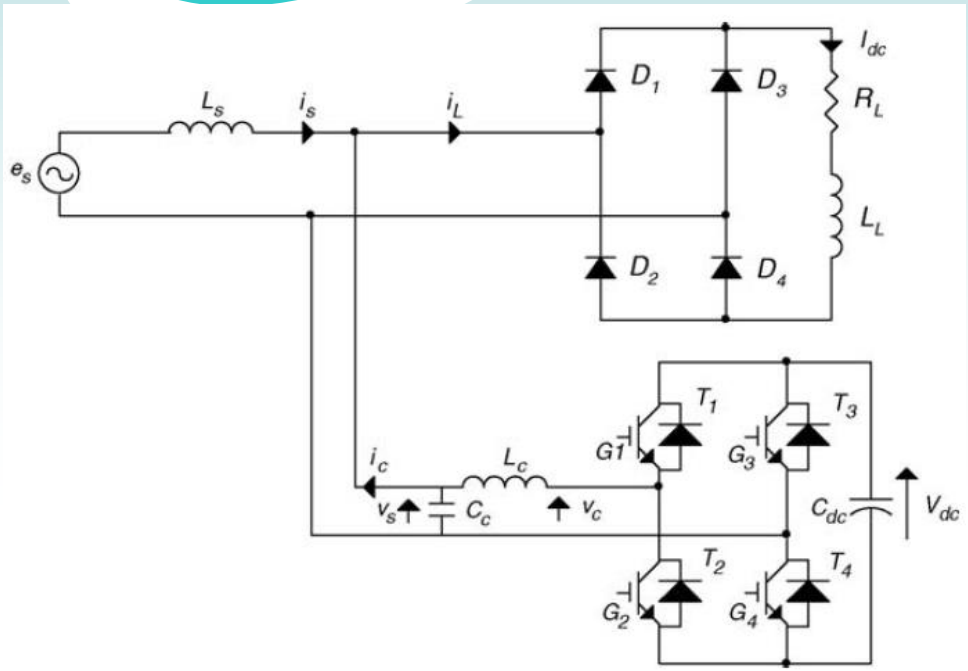
محل نصب: معمولا نزدیک بار

مزایا:

- جلوگیری از رزونانس با شبکه
- امکان پوشش طیف وسیعی از هارمونیک ها

اصول کار: ساخت جریانی برابر با جریان هارمونیکی بار و با فاز مخالف

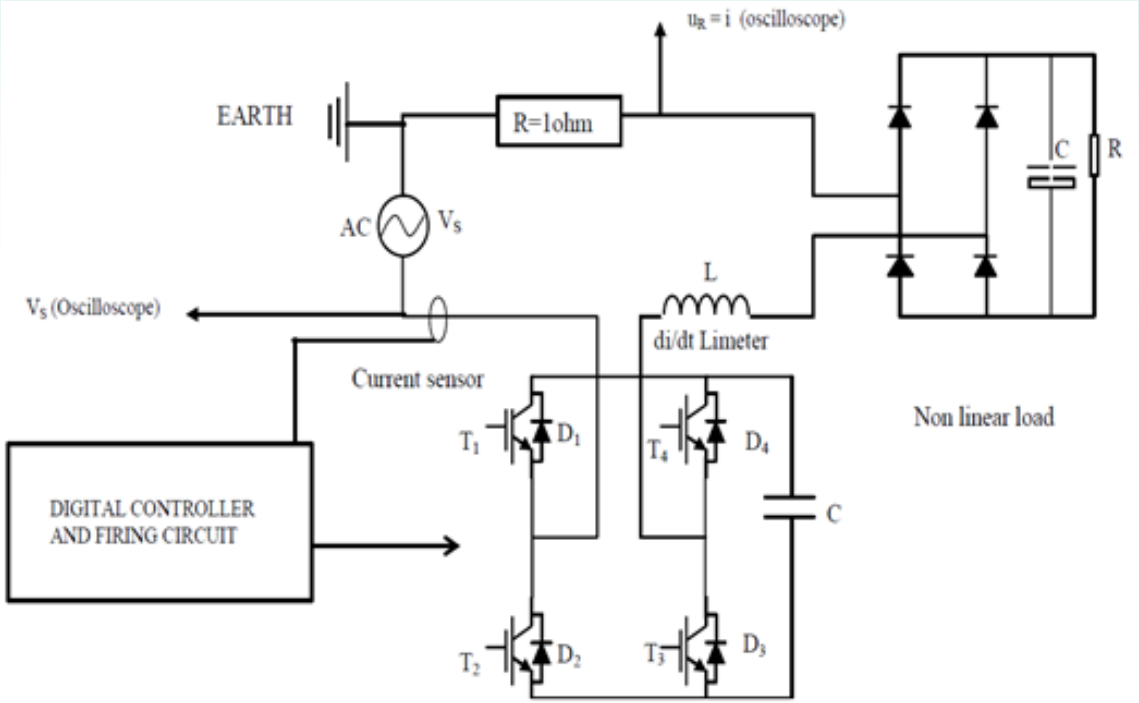
عیب اصلی: گران بودن!



فیلترهای فعال قدرت سری

هدف: حذف هارمونیک های ولتاژ، حذف نامتعادلی ولتاژ و کاهش توالی منفی ولتاژ

اصول کار: ساخت ولتاژی برابر با ولتاژ هارمونیکی بار و با فاز مخالف

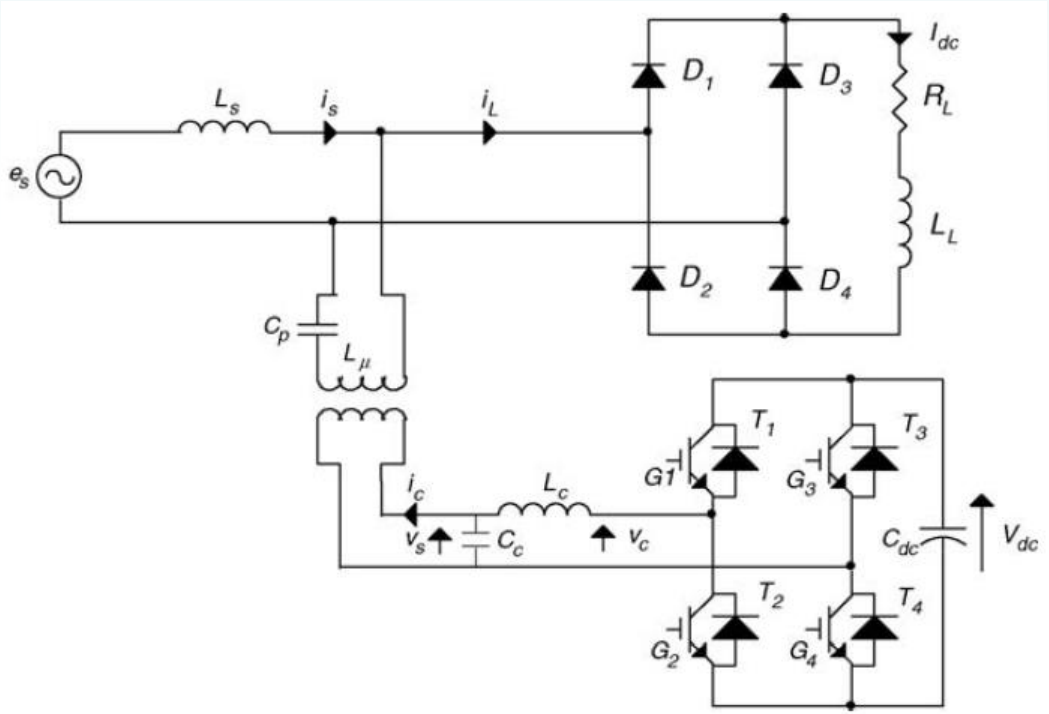


فیلترهای هیبرید قدرت موازی

ساختار: ترکیب فیلترهای پسیو و فعال قدرت

مزایا: مقرون به صرفه بودن، کاهش حجم و اندازه فیلتر فعال

معایب: عدم کنترل کامل بر توان راکتیو تزریقی

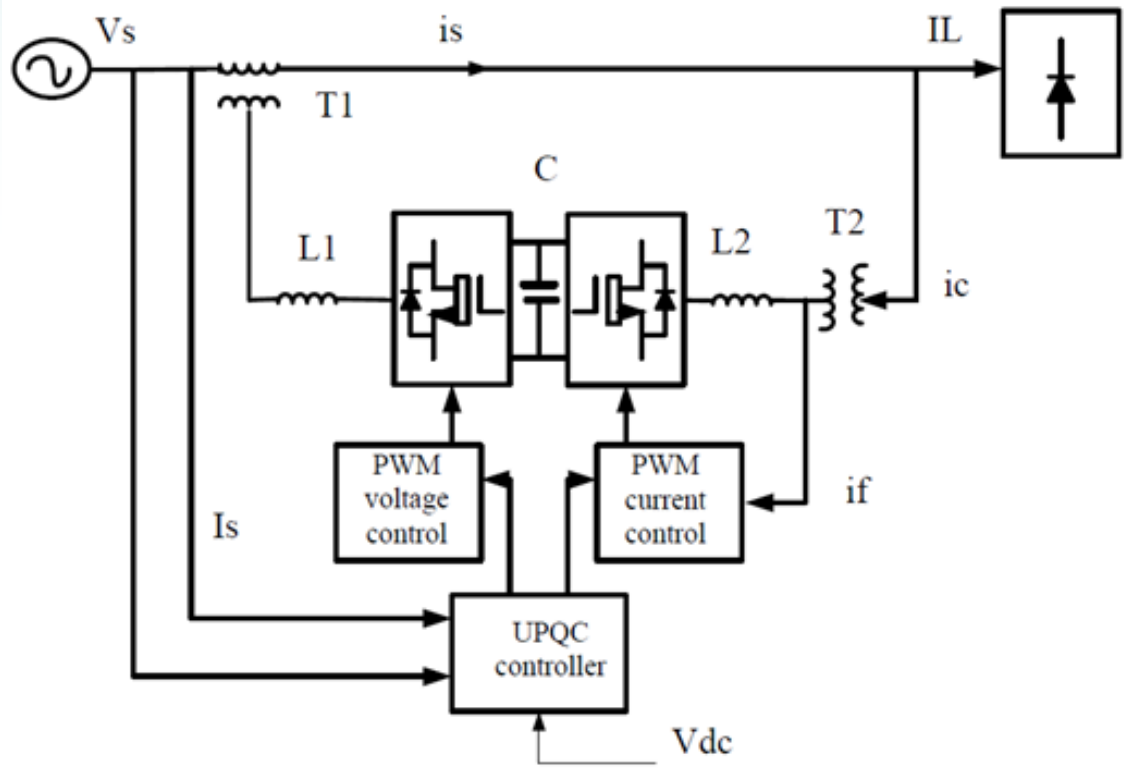


فیلترهای فعال قدرت کامل (UPQC)

ساختار: ترکیب فیلترهای فعال قدرت سری و موازی

اشتراک منبع ولتاژ یا جریان بین هر دو مبدل

هدف:حذف کامل هارمونیک ولتاژ و جریان و دستیابی به ضریب توان واحد



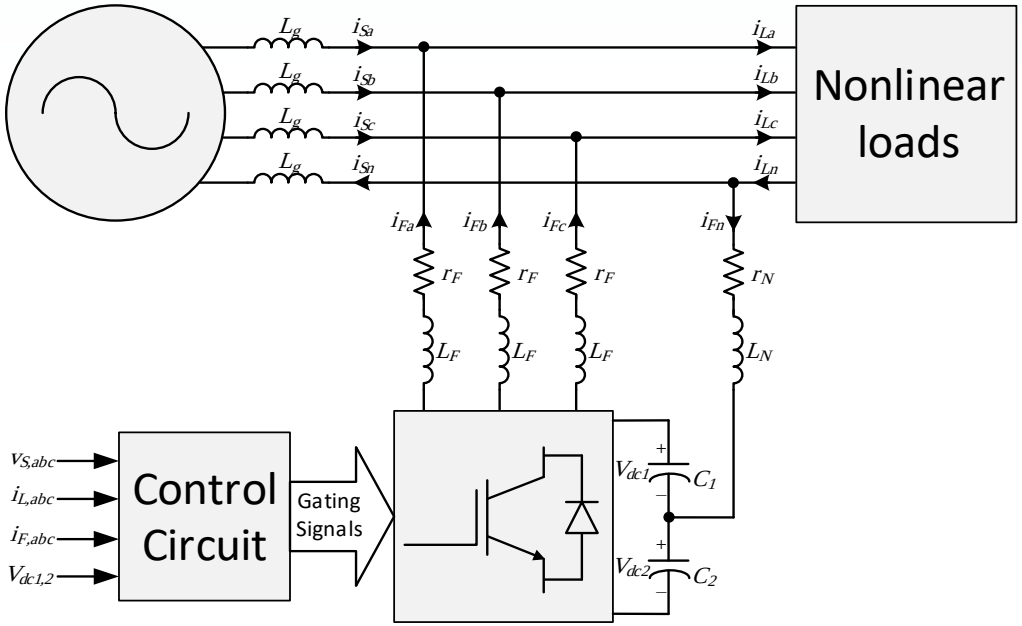
کنترل فیلترهای فعال قدرت موازی

مهمترین بخش کنترل فیلتر فعال: تولید جریان مرجع (RCG)

هدف: ساخت جریانی برابر با جریان هارمونیکی بار

روش های تولید جریان مرجع:

- حوزه زمان: تئوری pq، کنترل غیرمستقیم جریان
- حوزه فرکانس: تبدیل فوریه



سیستم فیلتر:

۱- مدار قدرت

۲- مدار کنترل و فرمان

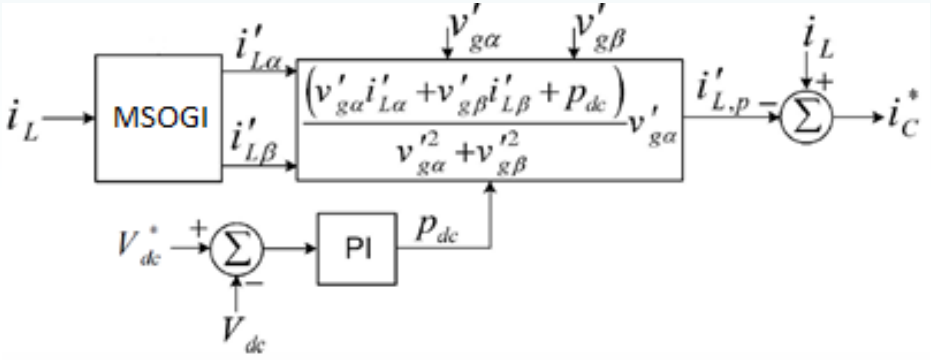
۳- مدار اندازه گیری

تولید جریان مرجع: تئوری pq

هدف: تزریق جریان فیلتر به نحوی که جریان منبع فقط شامل مولفه اکتیو از مولفه اصلی جریان بار باشد (جریان سینوسی کامل و همفاز با ولتاژ شبکه)

$$i_{L,nonlinear}(t) = I_{1p}\sin(\omega t + \theta_{1p}) + I_{1q}\cos(\omega t + \theta_{1p}) + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n)$$

جزء اول: حقیقی جزء دوم: راکتیو جزء سوم: هارمونیکی



تئوری توان راکتیو لحظه ای pq:

۱- استخراج مولفه های αβ جریان بار و ولتاژ شبکه

۲- محاسبه جریان مرجع شبکه با استفاده از فرمول زیر

۳- محاسبه جریان مرجع فیلتر

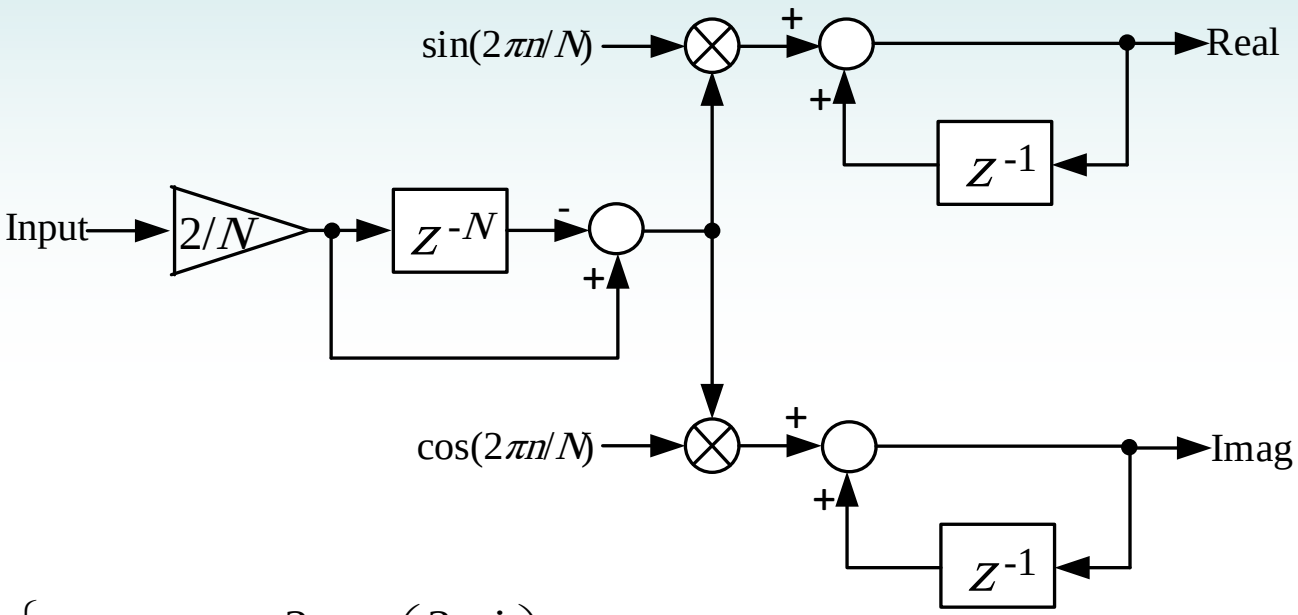
$$i_{\alpha p} = \frac{u_\alpha}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} p \qquad i_{\beta p} = \frac{u_\beta}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} p$$

$$i_{\alpha q} = \frac{-u_\beta}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} q \qquad i_{\beta q} = \frac{u_\alpha}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} q$$

تولید جریان مرجع: تبدیل فوریه

تبدیل فوریه گسسته: شناسایی دامنه و فاز مولفه اصلی جریان یا ولتاژ

روش تبدیل فوریه گسسته بازگشتی (RDFT)



$$\begin{cases} C_j = C_{j-1} + \frac{2}{N}\cos\left(\frac{2\pi j}{N}\right)\left(X_j - X_{j-N}\right) \\ S_j = S_{j-1} + \frac{2}{N}\sin\left(\frac{2\pi j}{N}\right)\left(X_j - X_{j-N}\right) \end{cases}$$

مقالات موجود در زمینه کنترل و تولید جریان مرجع

PSC 2016

No. P-16-PQA-1246

آرایه کنترل غیرمستقیم هارمونیک‌های فیلترهای فعال قدرت تکفاز در شبکه‌های توزیع برق

محمدصادق کرباس فروشان ، محمد منفرد ، سعید هلیشاهی

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

مشهد، ایران

sadegh.karbasforooshan@gmail.com, m.monfared@um.ac.ir, s.alishahi@moedc.net

چکیده — افزایش بارهای غیرخطی در شبکه‌های توزیع برق سبب تولید هارمونیک‌های جریان در شبکه و ایجاد مشکلات فراوانی شده‌اند. این مقاله یک روش جدید را برای کنترل سطح هارمونیک‌های جریان پیشنهاد می‌دهد. روش پیشنهادی قادر است که هارمونیک‌ها را به‌صورت انتخابی جبران سازی کرده و با انتخاب مناسب آرایه‌ای از آن‌ها، کیفیت توان مطلوب شبکه حاصل گردد. نتایج شبیه‌سازی، عملکرد صحیح و مناسب سیستم نمونه و توانایی جبران سازی انتخابی روش پیشنهادی را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی — آرایه کنترل هارمونیک‌ها؛ فیلتر فعال قدرت تکفاز؛ جبران سازی انتخابی؛ شبکه توزیع برق.

۱. مقدمه

امروزه، بارهای غیرخطی همچون سوئیچ‌های الکترونیکی سرعت متغیر، منابع تغذیه سوئیچینگ، لامپ‌های کم‌مصرف و LED ها، اینورترهای جوشکاری و ... در شبکه‌های توزیع برق خانگی افزایش یافته‌اند. این بارها یک جریان غیرخطی و غیرسینوسی از شبکه با ولتاژ سینوسی می‌کشند و سبب تولید هارمونیک می‌گردند. هارمونیک‌های جریان در شبکه توزیع سبب ایجاد ولتاژها و جریان‌های هارمونیکی می‌گردند که اثرات مخربی بر عملکرد سیستم دارند. از این اثرات نامطلوب می‌توان به افزایش جریان سیم نول در سیستم‌های چهارسیمه، افزایه دمای ضایعه سیستم، نوسان مکانیکی در موتورها، خرابی عایق‌ها، رفتار غیرقابل پیش‌بینی سیستم‌های حفاظتی، افزایه دمای ترانسفورماتورها، تداخل با سیستم ارتباطات و ... اشاره کرد. درنتیجه می‌توان گفت که سطح هارمونیک‌های جریان ارتباط مستقیمی با هزینه اقتصادی تعمیر، تعمیر و نگهداری شبکه توزیع برق دارد [۱]-[۹].

فیلترهای غیرفعال (پسیو) و فیلترهای فعال (اکتیو) جهت تامین جریان هارمونیک‌های جریان در شبکه‌های توزیع برق به کار می‌روند. ساختمان این فیلترها از اندوکتانس و خازن تشکیل شده است. فیلترهای غیرفعال قابل تنظیم علیرغم سادگی، دارای حجم بزرگ، هزینه بالا و سبب رزونانس در شبکه می‌شوند، به‌علاوه، اغلب این فیلترها باید با ظرفیت بزرگ‌تری نصب شوند تا بتوانند سطح قابل قبولی از هارمونیک‌ها را جبران نمایند. فیلترهای فعال به دلیل پاسخ سریع و انعطاف‌پذیری، گرایش بیشتری را نسبت به سایر روش‌های جبران سازی هارمونیک‌ها به خود جلب نموده‌اند. این فیلترها توانایی جبران سازی هارمونیک‌های از هر مرتبه‌ای را دارند و سنخصه جبران سازی هارمونیکی بهتری را به دست می‌دهند. ساختمان فیلترهای فعال از مبدل‌های الکترونیک قدرت که تلفه‌های نیمه‌هادی سریع دارند، همراه با اندوکتانس و خازن تشکیل شده است. عملکرد فیلتر فعال قدرت به روش کنترل مبدل الکترونیک قدرت و نحوه تزریق جریان به شبکه بستگی دارد. تاکنون روش‌های مختلف و متنوعی بدین منظور ارائه شده‌اند [۱۰]-[۱۲].

PSC 2015

No. P-15-PQA-1771

کنترل فیلتر فعال قدرت موازی تک‌فاز و استخراج جریان مرجع با استفاده از تبدیل فوریه گسسته بازگشتی تطبیقی

محمدصادق کرباس فروشان، محمد منفرد، علی سعیدی و محسن ذبیحی

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

مشهد، ایران

sadegh.karbasforooshan@stu.um.ac.ir, m.monfared@um.ac.ir, a.saeedi@moedc.net, m.zabihi@moedc.net

چکیده — این مقاله، یک روش نوین تبدیل فوریه گسسته بازگشتی تطبیقی را برای کنترل فیلترهای فعال قدرت تک‌فاز موازی پیشنهاد می‌دهد. روش پیشنهادی نسبت به تغییرات فرکانس ورودی مقاوم بوده و جریان مرجع فیلتر را به‌طور دقیق استخراج می‌نماید. مدل‌سازی سیستم و شیوه طراحی پارامترهای کنترل در این مقاله ارائه شده است. جهت تائید نتایج تئوری، نتایج شبیه‌سازی سیستم در این مقاله آورده شده که این نتایج، مؤثر بودن روش پیشنهادی و عملکرد مناسب آن را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی — فیلتر فعال قدرت؛ تبدیل فوریه گسسته تبدیل فوریه بازگشتی؛ حلقه قفل‌شده فاز.

۱. مقدمه

امروزه شاهد رشد روزافزون استفاده از بارهای غیرخطی از قبیل لامپ‌های کم‌مصرف، LED‌ها، تلویزیون‌ها، درایو موتورهای الکتریکی و بسیاری دیگر از تجهیزات الکترونیک قدرت که به‌وسیله یکسو کننده‌های دیودی و یا مبدل‌های ترییستوری به شبکه متصل‌اند و تزریق مؤلفه‌های هارمونیکی توسط این بارها به شبکه هستیم. این مسئله سبب بروز مشکلات کیفیت توان، تلفات اضافی، مشکلات پایداری و بروز رزونانس، خطا در سیستم‌های حفاظتی، تداخل‌های الکترومغناطیسی، آسیب به تجهیزات سیستم قدرت و ... می‌شود. جهت رفع این مشکلات، انواع مختلفی از جبران‌سازها معرفی شده‌اند. فیلترهای پسیو (غیرفعال)، به‌عنوان اولین جبران‌سازها به‌منظور حذف هارمونیک‌های جریان و بهبود ضریب توان معرفی شده‌اند. اگرچه این دسته از فیلترها از سادگی و هزینه کمی برخوردارند، ولی به سبب محدودیت‌های جدی که دارند، همواره با احتیاط و اکراه مورداستفاده قرار می‌گرفته‌اند. لذا تحقیقات مختلفی در زمینه سایر جبران‌سازها و طراحی آن‌ها انجام گردیده است. فیلترهای فعال قدرت یکی از این جبران‌سازها می‌باشند که امروزه در سیستم‌های انتقال و توزیع کاربرد یافته‌اند و به دور از مشکلات فوق، هم قابلیت حذف تمامی هارمونیک‌های ناخواسته و هم قابلیت بهبود ضریب توان و جبران‌سازی توان راکتیو را دارا می‌باشند [۱]-[۵].

استخراج جریان مرجع فیلتر، یکی از مهم‌ترین بخش سیستم کنترل فیلتر فعال می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلف و متنوعی جهت تولید جریان مرجع فیلترهای فعال قدرت در مقالات پیشنهاد شده است. این روش‌ها به دو شاخه حوزه زمان و حوزه فرکانس طبقه‌بندی می‌شوند [۶]. از میان روش‌های حوزه زمان می‌توان به تئوری توان اکتیو و راکتیو لحظه‌ای یا تئوری pq اشاره کرد. این روش، دینامیک نسبتا سریع و بار محاسباتی کمی دارد، اما کاربرد آن به سیستم‌های سه‌فاز محدود شده است. اگرچه تئوری pq تک‌فاز توسعه یافته است، اما در این روش، ولتاژ منبع یک ولتاژ سینوسی خالص فرض می‌شود و هر اعوجاجی در ولتاژ منبع باعث تداخل عملکرد استخراج جریان مرجع فیلتر می‌گردد [۷]-[۸]. روش تبدیل فوریه مشهورترین روش استخراج جریان فیلتر در حوزه فرکانس می‌باشد. این روش، دقت بسیار بالایی را در شناسایی هارمونیک‌ها فراهم می‌کند و در سیستم‌های تک‌فاز و سه‌فاز کاربرد دارد. علیرغم مزایای فراوان روش تبدیل فوریه، این روش از بار محاسباتی بالا و همچنین حساسیت بالا نسبت به تغییر فرکانس سیگنال ورودی رنج می‌برد [۹]-[۱۱].

مقالات موجود در زمینه کنترل و تولید جریان مرجع

PEDSTC 2016 7th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference
16-18 February 2016, Iran University of Science and Technology

An Adaptive Recursive Discrete Fourier Transform Technique for the Reference Current Generation of Single-Phase Shunt Active Power Filters

Mohammad-Sadegh Karbasforooshan, *Student Member, IEEE*, and Mohammad Monfared, *Senior Member, IEEE*
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran
m.karbasforooshan.1991@ieee.org, m.monfared@um.ac.ir

***Abstract*—This paper proposes a novel adaptive recursive discrete Fourier transform (ARDFT) technique for the reference current generation of single-phase shunt active power filters (APFs). The suggested method is robust to input frequency changes and exactly extracts the reference current of the APF. Modeling of the converter system and design procedure of the control parameters are presented in this paper. To confirm the theoretical results, simulation results are provided. These results show effectiveness and excellent performance of the suggested technique.**

Keywords—Active power filter (APF); discrete Fourier transform (DFT); recursive Fourier transform; phase locked loop (PLL).

I. Introduction

Nowadays, the utilization of nonlinear loads, such as CFLs, LEDs, computers, electronic drives and so on is more increased in the grid. These loads cause power quality problems, additional losses, stability problems and create resonance, fault in the protection systems, electromagnetic interference (EMI), damage to the power system equipment and etc. To solve these problems, many type of compensators are introduced. Passive filters are the first compensators that introduced for the current harmonics elimination and the power factor improvement. Although passive filters have advantages of simplicity and low cost, but due to their drastic limitations, always have been used with cautions. Active power filters (APFs) are proposed to be used in distribution systems, which have the capability of eliminating the whole undesired harmonics and improving the power factor by compensating the reactive power, simultaneously [1]-[4].

Reference current generation is the most important part of the control system of APFs. Up to now, many different methods for the reference current generation of APFs are proposed in literature. These methods can be categorized into time-domain and frequency-domain techniques [5]. Fourier transform method is the most known reference current generation technique in the frequency-domain. This method provides high accuracy in harmonic detection and is used in single-phase and three-phase systems. Despite of many advantages of Fourier transform technique, this method suffers from high computational burden and high sensitivity to frequency changes of the measured signal [8]-[17].

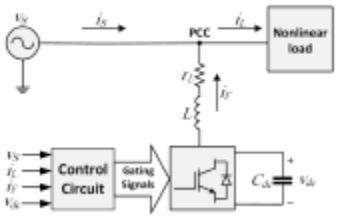


Fig. 1. Single-phase shunt active power filter.

This paper proposes a new frequency adaptive recursive discrete Fourier transform (ARDFT) structure to overcome the problems of sensitivity to input frequency changes. The paper is organized as follows: in section II, the modeling of a single-phase shunt APF and its controller parameters design are described. In section III, the proposed technique for the APF is explained. Section IV is devoted to simulation of the system with the proposed reference current generation technique. Finally, conclusion is coming in section V.

II. Modeling of the Single-Phase Shunt APF and Controllers Design

A. System Modeling

Fig. 1 shows the power and control system of a single-phase shunt APF. According to this, the APF is intended to inject a compensating current, so that the grid current will be an in-phase sinusoidal waveform with grid voltage in point of common coupling (PCC). The power circuit of APF is composed of a single-phase full-bridge inverter, a DC-link capacitor and an inductor. The grid voltage includes harmonic contents and the nonlinear load is a single-phase diode rectifier that in DC-side sees a resistor parallel with a capacitor.

22nd Electrical Power Distribution Conference, 19-20April. 2017, Semnan, Iran

Indirect Control of Single-Phase Active Power Filters using Harmonic Control Arrays

Mohammad-Sadegh Karbasforooshan
Student Member, IEEE
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad 91775, Iran
s.karbasforooshan@mail.um.ac.ir

Mohammad Monfared
Senior Member, IEEE
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad 91775, Iran
m.monfared@um.ac.ir

Murat Dogruel
Senior Member, IEEE
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Marmara University
Istanbul 34722, Turkey
mdogruel@marmara.edu.tr

***Abstract*—The ever increase of nonlinear loads in electric distribution networks causes many problems due to the high level of harmonic currents. This paper proposes a new technique for controlling a single phase shunt active power filter based on a selective compensation using the newly developed technique of harmonic control arrays. Simulation results confirm the appropriate selective harmonic compensation performance under different operating conditions.**

Keywords- Harmonic control arrays; single-phase active power filter; selective compensation; electric distribution network.

I. Introduction

Nowadays, nonlinear loads such as electrical variable speed drives, switch-mode power supplies, CFL and LED light bulbs, welding inverters and so on are increased in electric distribution networks. These loads draw a non-sinusoidal current from the grid and cause harmonic pollutions. Current harmonics in distribution networks have destructive impacts on system performance, such as increasing the neutral current in four-wire systems, over-temperature of system components, mechanical oscillation in electrical motors, insulation failure, unpredictable behavior of protection systems, over-temperature of transformers, interference with communications and etc. Therefore, one can say that the level of current harmonics has a direct relation with the cost of installation, maintenance and repair of the system [1]-[10].

Passive and active power filters (APFs) are used to reduce current harmonics in electric distribution networks. Despite of simplicity, passive filters suffer from disadvantages of large volume, high cost, and susceptibility to resonance in the network. Active power filters have attracted more tendency than other harmonic compensation techniques, due to the fast response and flexibility. These filters have the flexibility to compensate the desired harmonic orders and offer better harmonic compensation characteristics. The performance of an APF depends on the control method of the power electronic converter and the reference current generation. Till now, many different methods have been presented [11]-[17].

Harmonic Control Arrays (HCAs) method, which was first introduced in [18] and its application in power electronics was proposed in [19], is a suitable technique for controlling a system with AC signals. This method can track or reject desired harmonic components and is suitable for systems with periodic references or disturbance signals. This paper proposes the application of HCA method in indirect control of single-phase APFs with selective harmonic compensation. By this method, the specific power quality requirements and standards, such as the allowed level of total harmonic distortion (THD) in non-ideal networks with highly nonlinear loads can be fulfilled. Also, the suggested technique needs only one current sensor for measuring the grid current and two voltage sensors for measuring the grid and DC-link voltages. In the following, the system is first modelled then the adoption of the HCA to the specific problem of selective harmonic compensation of the single-phase APF is proposed. Finally, simulation results under various conditions for a typical system is presented, which confirm the theoretical achievements.

II. System Modeling

Fig. 1 shows the block diagram of a single-phase shunt APF. This block diagram consists of a single-phase full-bridge inverter, a DC-link capacitor and an inductive filter in the output. According to Fig. 1, the inductor voltage equation is:

$$v_{inv} = r_L i_F + L\frac{di_F}{dt} + v_S \qquad (1)$$

Therefore, one has:

$$\left(r_L + L\frac{d}{dt}\right) i_F = v_{inv} - v_S \qquad (2)$$

By applying the Laplace transform to (2), the inductor current is obtained as follows:

$$I_F(s) = \frac{1}{Ls + r_L}\left(V_{inv}(s) - V_S(s)\right) \qquad (3)$$

As can be seen, the transfer function from the inverter voltage to the inductor current is a first-order one. Also, it can be proven that the transfer function from the DC-link voltage to the grid current is also first-order [1]. In order to regulate the DC-link voltage, a proportional integral (PI) controller is used,

مقالات موجود در زمینه کنترل و تولید جریان مرجع

Design and Implementation of a Single-Phase Shunt Active Power Filter Based on PQ Theory for Current Harmonic Compensation in Electric Distribution Networks

Mohammad-Sadegh Karbasforooshan, *Student Member, IEEE*, and Mohammad Monfared, *Senior Member, IEEE*
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
Mashhad, Iran
s.karbasforooshan@mail.um.ac.ir, m.monfared@um.ac.ir

***Abstract*— This paper proposes the design and implementation of a single-phase shunt active power filter based on the PQ theory to compensate current harmonics in electric distribution networks. The proposed method precisely extracts current harmonics by using the second order generalized integrator. Also, a simple current controller tracks the converter reference current resulting in a highly sinusoidal grid current in-phase with the grid voltage. Simulation and experimental results on a typical household load confirm the correct and appropriate performance of the proposed system.**

Keywords—PQ theory; single-phase active power filter; second order generalized integrator; electric distribution network.

I. Introduction

Nowadays, nonlinear loads such as variable speed drives, switch-mode power supplies, CFL and LED light bulbs, welding inverters and so on are vastly utilized in electric distribution networks. These loads draw non-sinusoidal currents from utility grid even with sinusoidal voltages. Current harmonics in distribution networks cause several problems, the main being increased neutral current in four-wire systems, overload and over temperature of system components, extra losses, mechanical oscillations in motors, insulation failures, unpredictable behavior of protection systems, interference with communication systems, etc.

Passive and active filters are used to mitigate current harmonics in electric distribution networks. Passive filters are constructed by a proper arrangement of inductors and capacitors. Despite the simplicity, these filters suffer from disadvantages of large volume, high cost and especially the susceptibility to resonances. In addition, these filters should be installed with a large capacity to compensate acceptable level of harmonics. Shunt active power filters (APFs), shown in Fig. 1, attract more tendency than other harmonic compensation techniques, due to the fast response and the extra flexibility they offer. These filters have the capability to selectively compensate the desired harmonics and the reactive component in an effective way. Active power filters are composed of

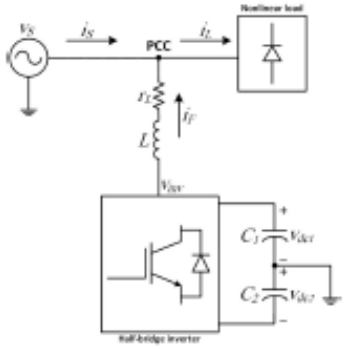


Fig. 1. Single-phase shunt active power filter.

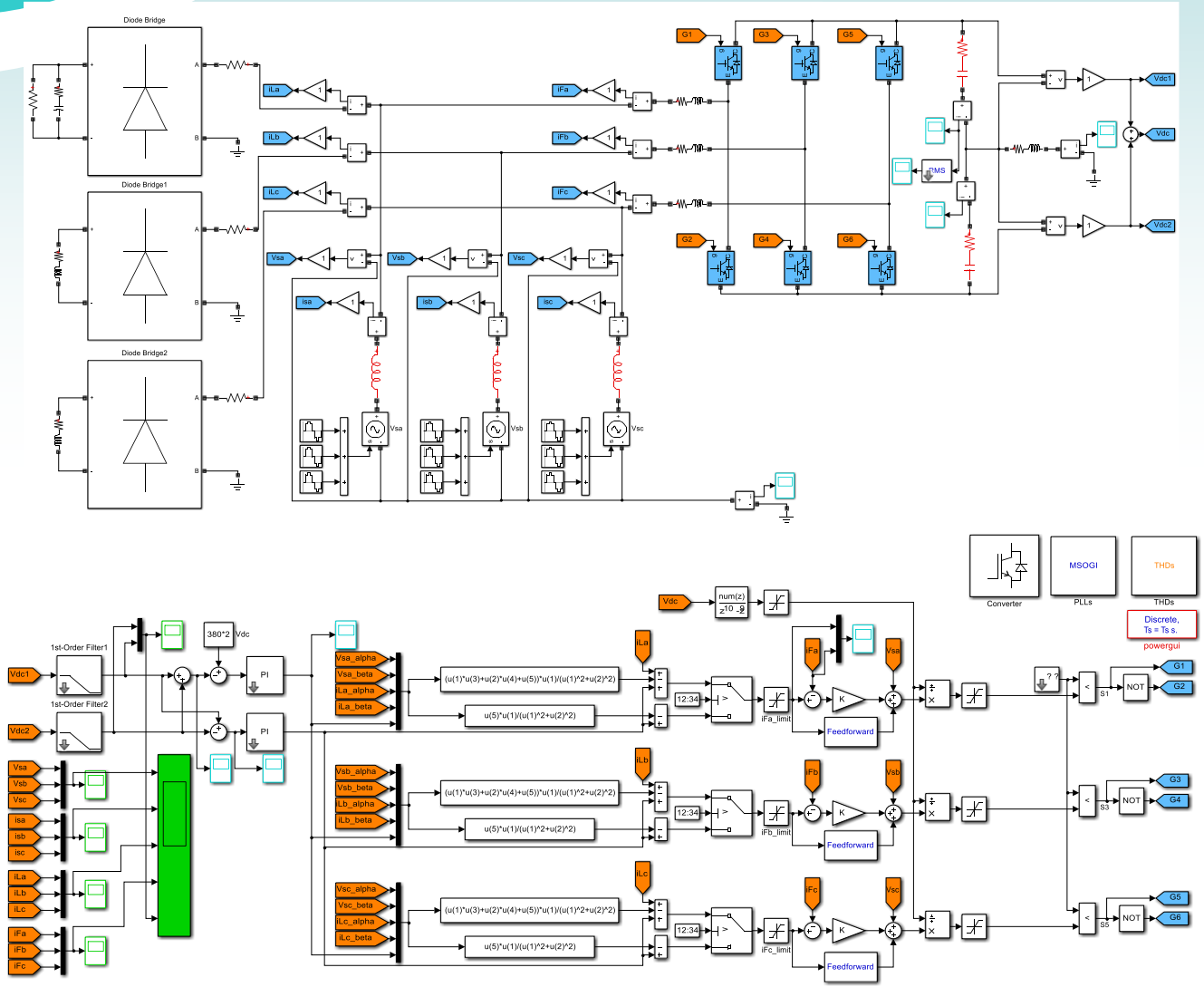
power semiconductor switches, inductors and capacitors. The performance of active power filters depends on the quality of the harmonic current identification and the power electronic converter control methods. Up to now, many different methods are suggested [1]-[6].

This paper proposes the design and implementation of a single-phase shunt active power filter for current harmonic compensation in electric distribution networks. A PQ second-order generalized integrator (SOGI) based control technique is presented in this paper, which can generate an in-phase pure sinusoidal current with the non-ideal grid voltage. Also, due to simplicity and less number of power switches, a single-phase half-bridge converter is used to inject current harmonics to the grid. In the following, the control algorithm and the design procedure are described in details.

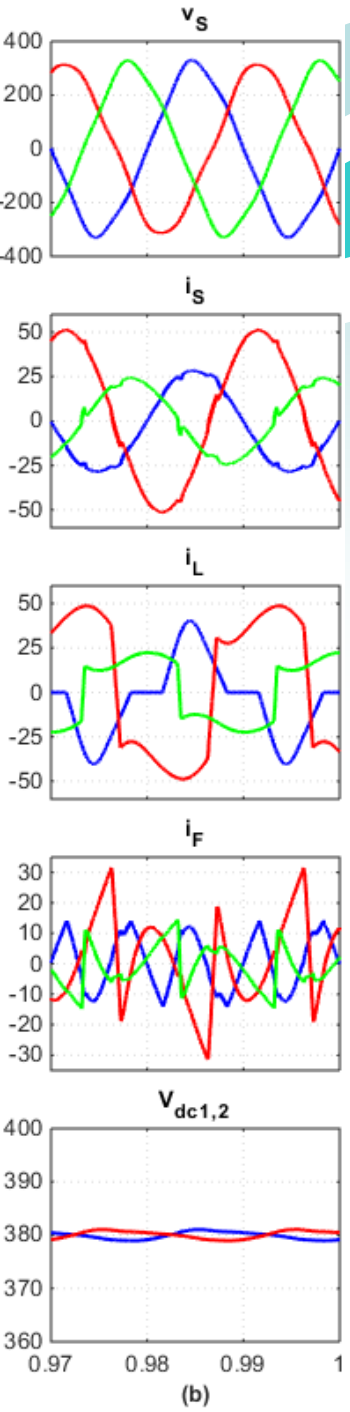
978-1-5386-1126-5/17/$31.00 ©2017 IEEE

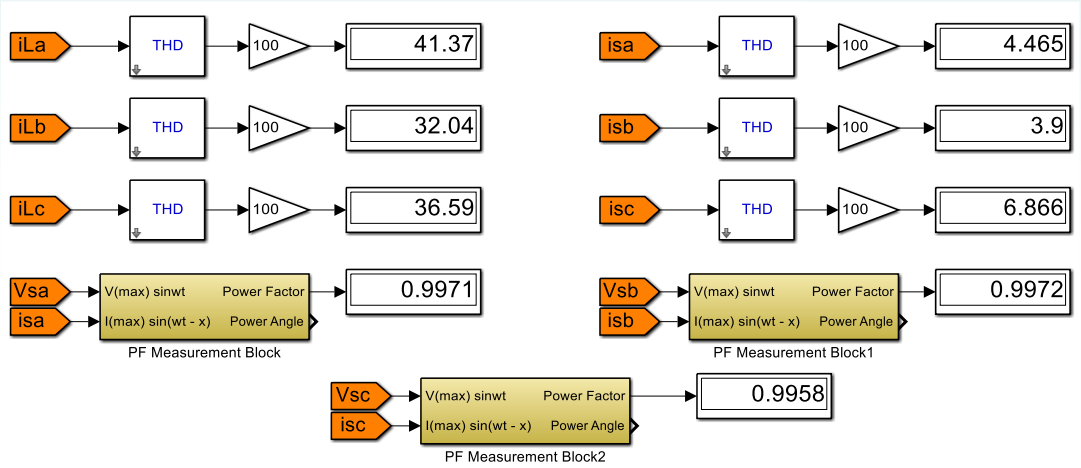
شبیه سازی یک سیستم نمونه

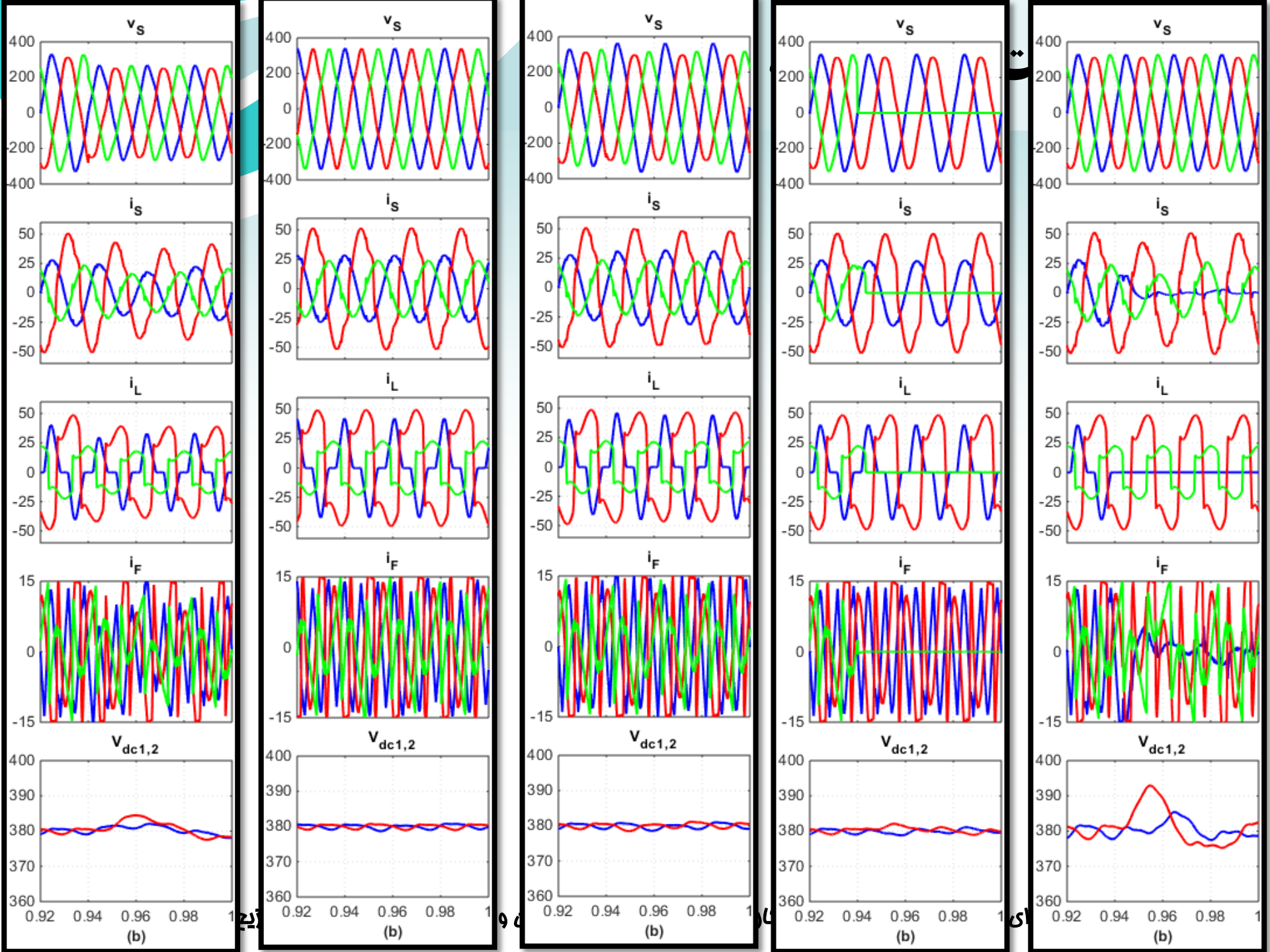
محیط شبیه سازی: **MATLAB/Simulink**



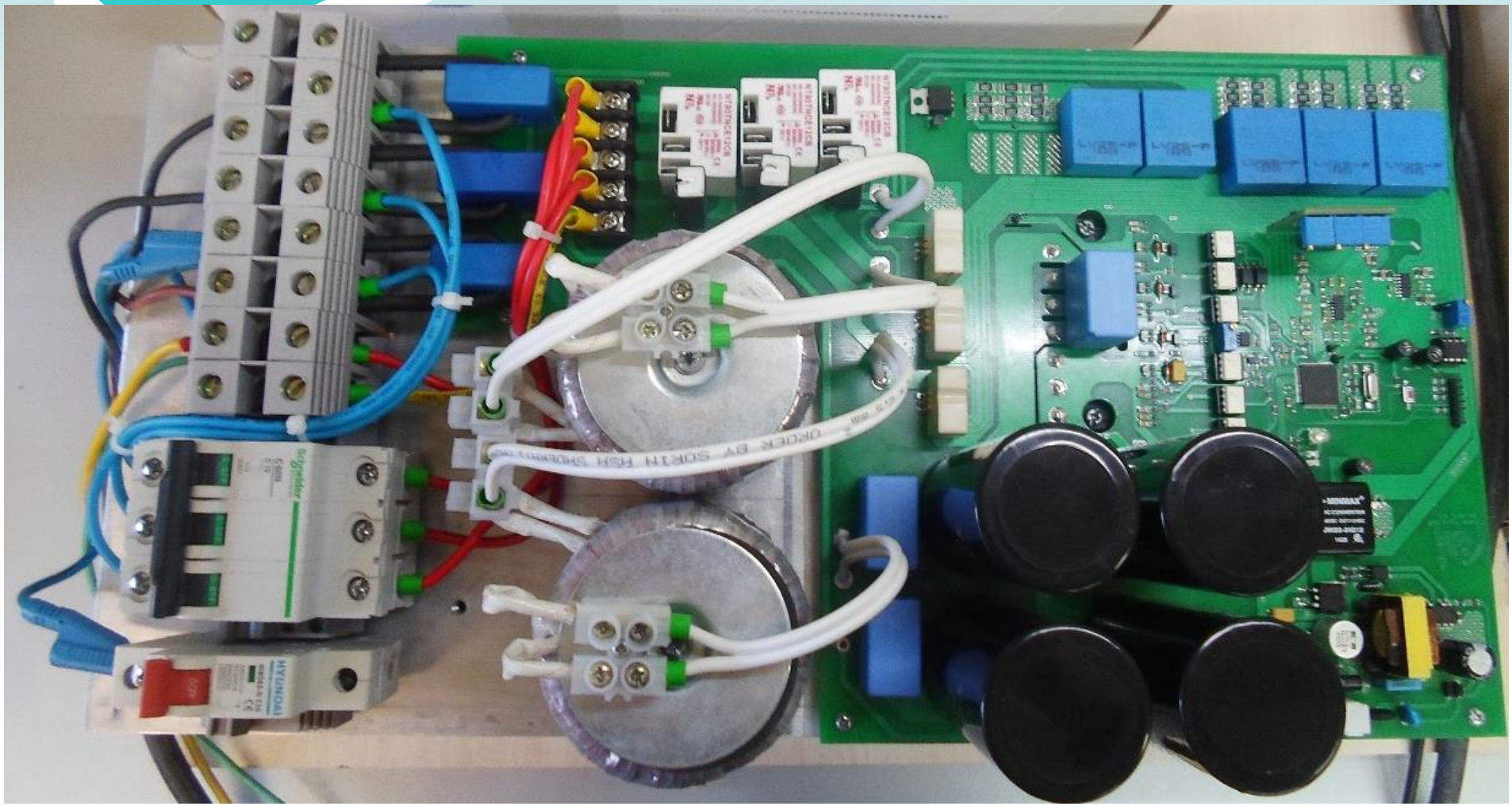
پاسخ حالت دائم و گذرای شبیه سازی



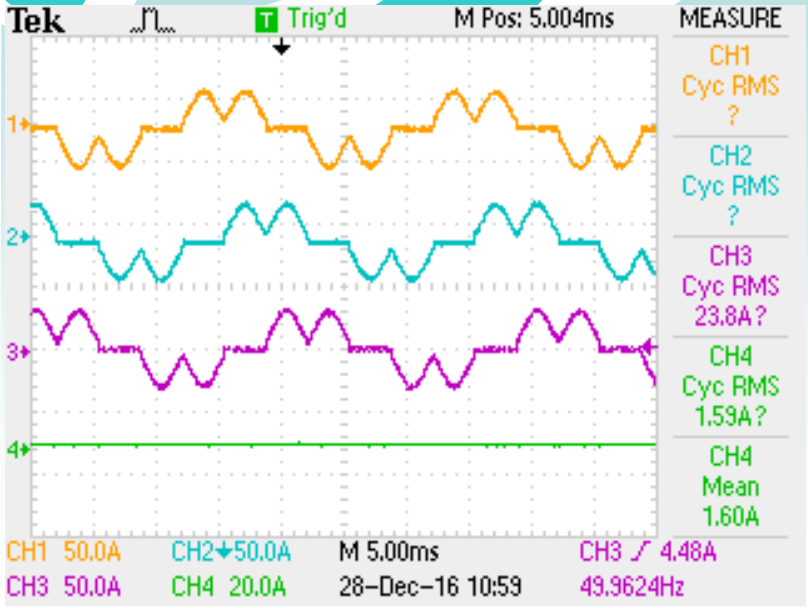


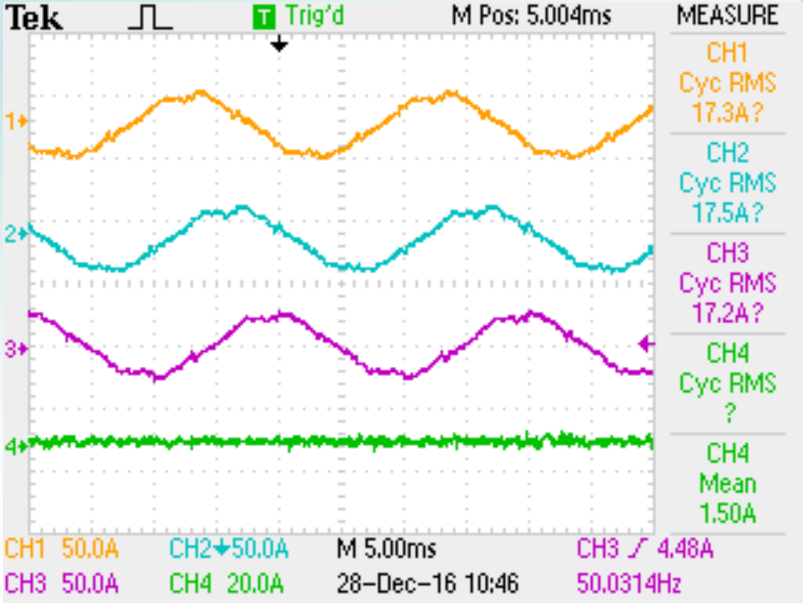

v_S
i_S
i_L
i_F
$V_{dc1,2}$
(b)

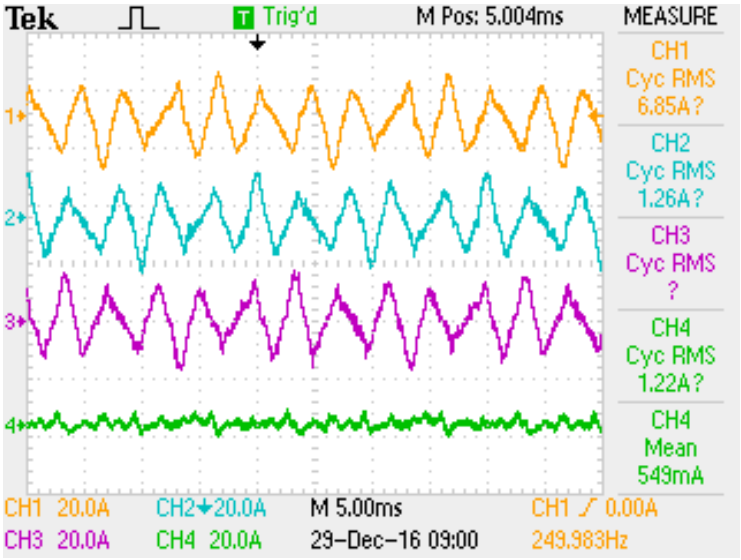
پیاده سازی سخت افزاری



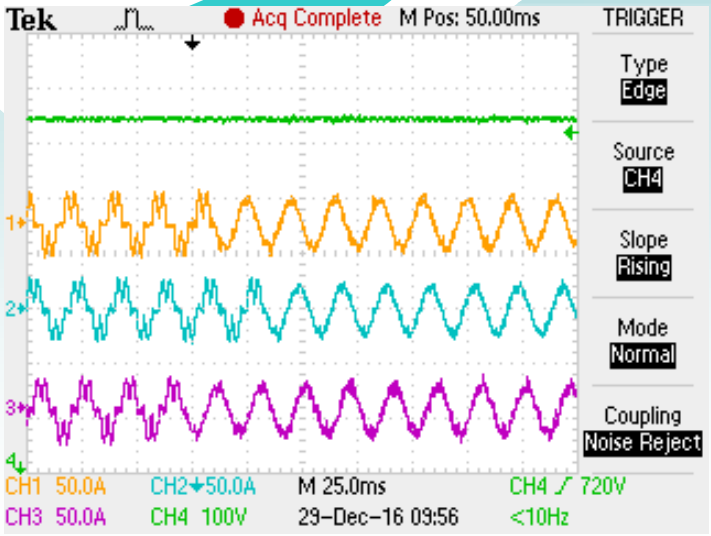
نتایج عملی: حالت دائم

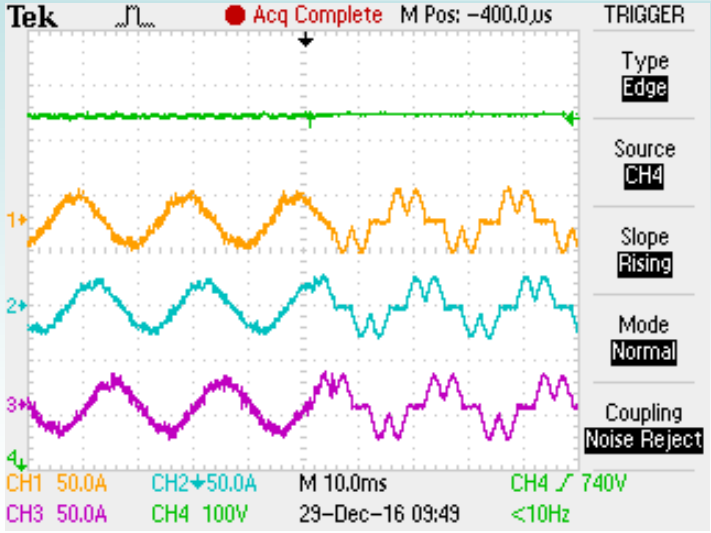


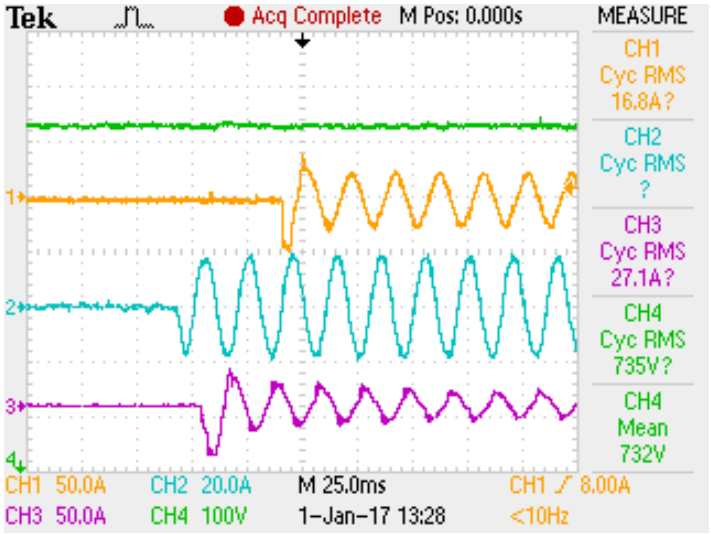


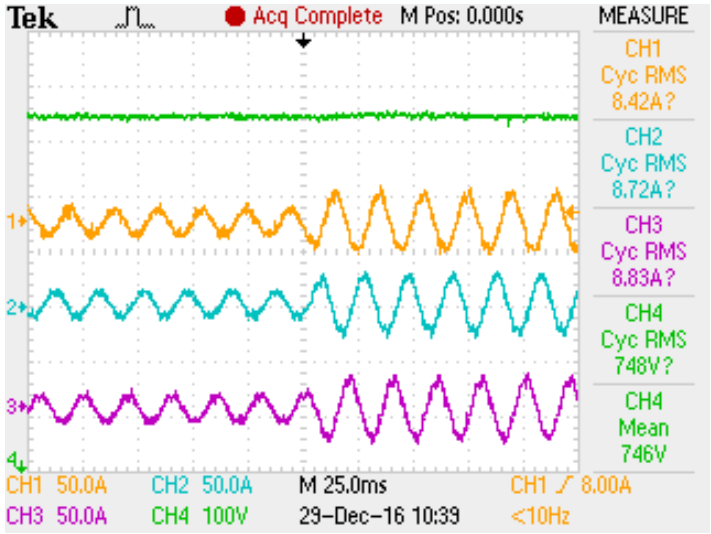


نتایج عملی: حالت گذرا









جمع بندی و نتیجه گیری

- ✓ پیشرفت تکنولوژی
- ✓ تئوری های توان
- ✓ کیفیت توان – هارمونیک ها و استانداردها
- ✓ انواع جبرانسازهای هارمونیکی
- ✓ روش های کنترل و تولید جریان مرجع فیلتر فعال قدرت موازی
- ✓ مطالعات موجود
- ✓ شبیه سازی یک فیلتر فعال قدرت نمونه
- ✓ پیاده سازی سخت افزاری و نتایج عملی حاصل شده

از حسن توجه شما متشکرم