

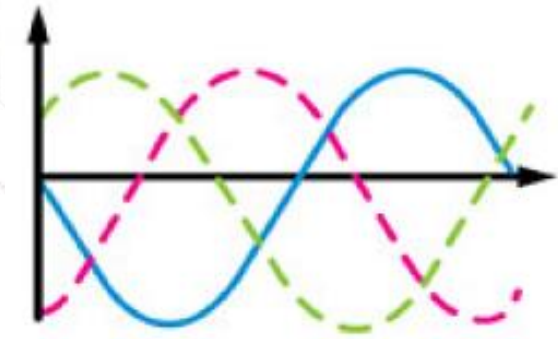
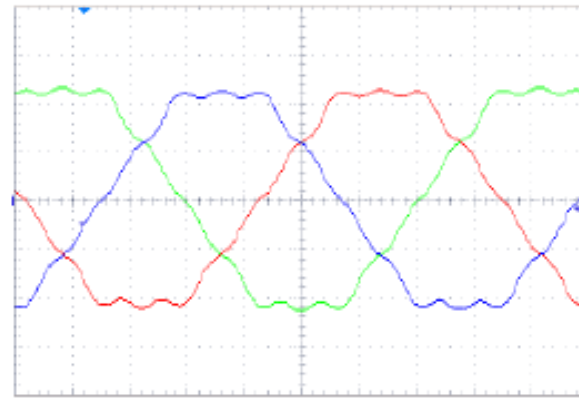
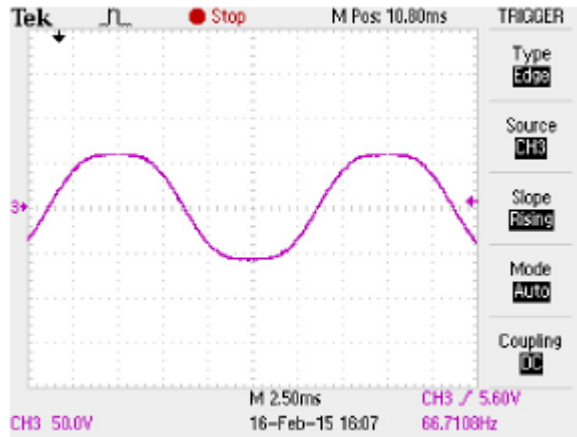


## بخش نهم:

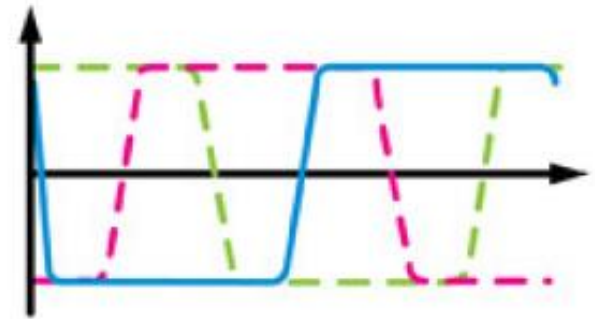
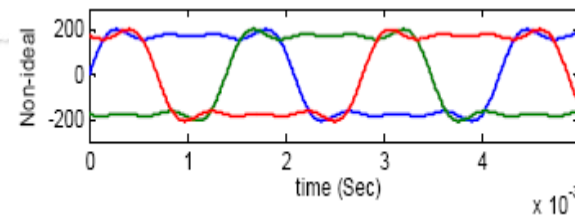
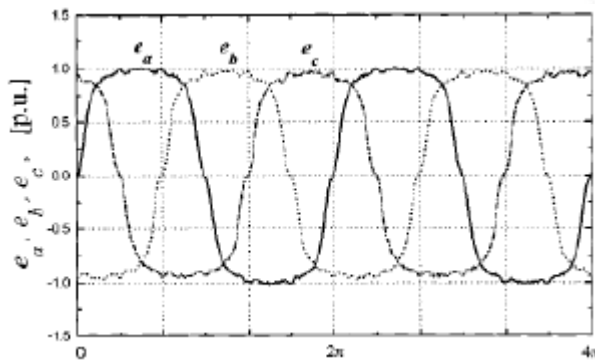
# روش‌های کنترل موتورهای براشلس غیرایده آل

- مقدمه
- روش کنترل برداری تعمیم یافته
- روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی
- روش کنترل مستقیم گشتاور (DTC)
- روش کنترل جریان شبه مربعی (پله ای)
- سایر روش‌های کنترل موتورهای براشلس غیرایده آل

- ✓ در طراحی و ساخت موتورهای سنکرون آهنربای دائم (براشلس)، مطابق دو شکل زیر سعی می شود تا ولتاژ ضدمحر که موتور نوع سینوسی ایده آل باشد (یعنی ساخت PMSM) و یا از نوع ذوزنقه ای ایده آل باشد (یعنی موتور BLDC)
- ✓ اما در عمل و در ساخت موتورهای PMSM، به دلیل مسائلی همچون عدم توزیع مناسب سیم پیچی استاتور، شکل نامناسب قطبها و ...، ولتاژ ضدمحر که موتور سینوسی نمی باشد و دارای هارمونیکهای مضارب بالاتر مانند شکلهای زیر است.



الف- موتور PMSM



ب- موتور BLDC

(ج) چند نمونه از ولتاژهای ضدمحر که موتورهای برشلس غیرایده آل



✓ اگر موتور براشلس از نوع PMSM ایده آل باشد، از روشهای کنترل برداری و یا DTC می توان گشتاوری با حداقل ریپل ایجاد نمود.

✓ همچنین اگر از نوع BLDC ایده آل باشد، با استفاده از روشهای مختص به خود می توان گشتاوری با حداقل ریپل ایجاد نمود.

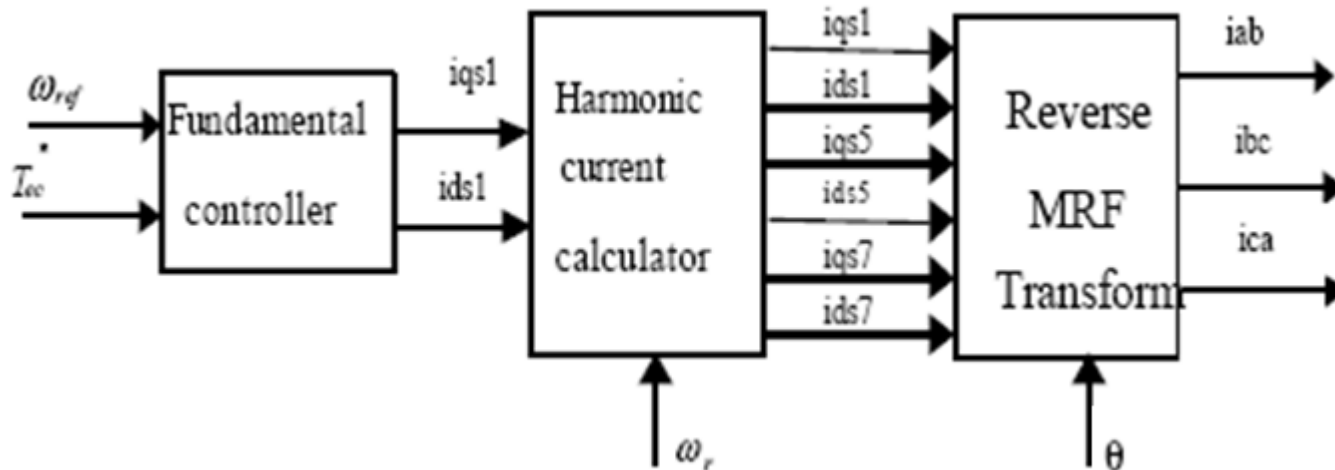
✓ اما اگر برای موتورهای براشلس غیر ایده آل، از روشهای کنترل موتور PMSM ایده آل و یا BLDC استفاده شود، می تواند ریپل گشتاور قابل توجهی ایجاد شود. لذا برای این موتورها، روشهای خاص دیگری باید پیش بینی شود.

✓ محققین روشهای مختلفی برای کنترل این موتورها و کاهش ریپل گشتاور پیشنهاد داده اند که ذیلا به **اهم** آنها اشاره و در مورد برخی از آنها توضیح بیشتری داده می شود.

- روش کنترل برداری تعمیم یافته
- روش شبه کنترل برداری (یا کنترل برداری اصلاح شده)
- روش های شکل دهی جریان مرجع



- ✓ در این روش، مشابه با کنترل برداری موتور PMSM سینوسی، با توجه به هارمونیکهای موجود در ولتاژ ضدمحركه، دستگاههای دومحوری dq گردان با سرعتهای برابر با هارمونیکهای موجود در نظر گرفته می شود.
- ✓ پس از آن مولفه های dq هارمونیکهای مختلف کمیتهای موتور (جریان، ولتاژ و شار) تعیین شده و هر یک در دستگاه dq مربوط به خود کنترل می گردد.
- ✓ منظور از کنترل یعنی تولید جریانهای یا ولتاژهای مرجع هارمونیکی در دستگاههای مختلف و در نهایت ترکیب آنها با یکدیگر و اعمال به اینورتر می باشد.



کنترل موتور براساس غیرایده آل با کنترل مولفه های هارمونیکی آن



- ✓ مزیت این روش کنترل دقیق موتور همانند روش کنترل برداری موتور PMSM سینوسی است.
- ✓ اما این روش دارای حجم محاسبات بسیار بالایی است و وابستگی زیادی به محتوای هارمونیک ولتاژ ضدمحرکه و همچنین پارامترهای موتور دارد. لذا در مجموع روش مناسبی نمی باشد [۶۰].

$$\lambda_{abc} = L_s i_{abc} + \lambda_m' \sum_{n=1,5,7}^{\infty} K_n \begin{bmatrix} \sin n\vartheta_r \\ \sin n(\vartheta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin n(\vartheta_r + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

○ معادله شار برحسب هارمونیکهای مختلف آن:

$$f_{qd}^{xr} = K_s^{xr} f_{abc} \quad (2)$$

- کمیت‌های مختلف با استفاده این ماتریس تبدیل برای هارمونیکهای مختلف شار، به دستگاههای dq مختلف منتقل می شوند.

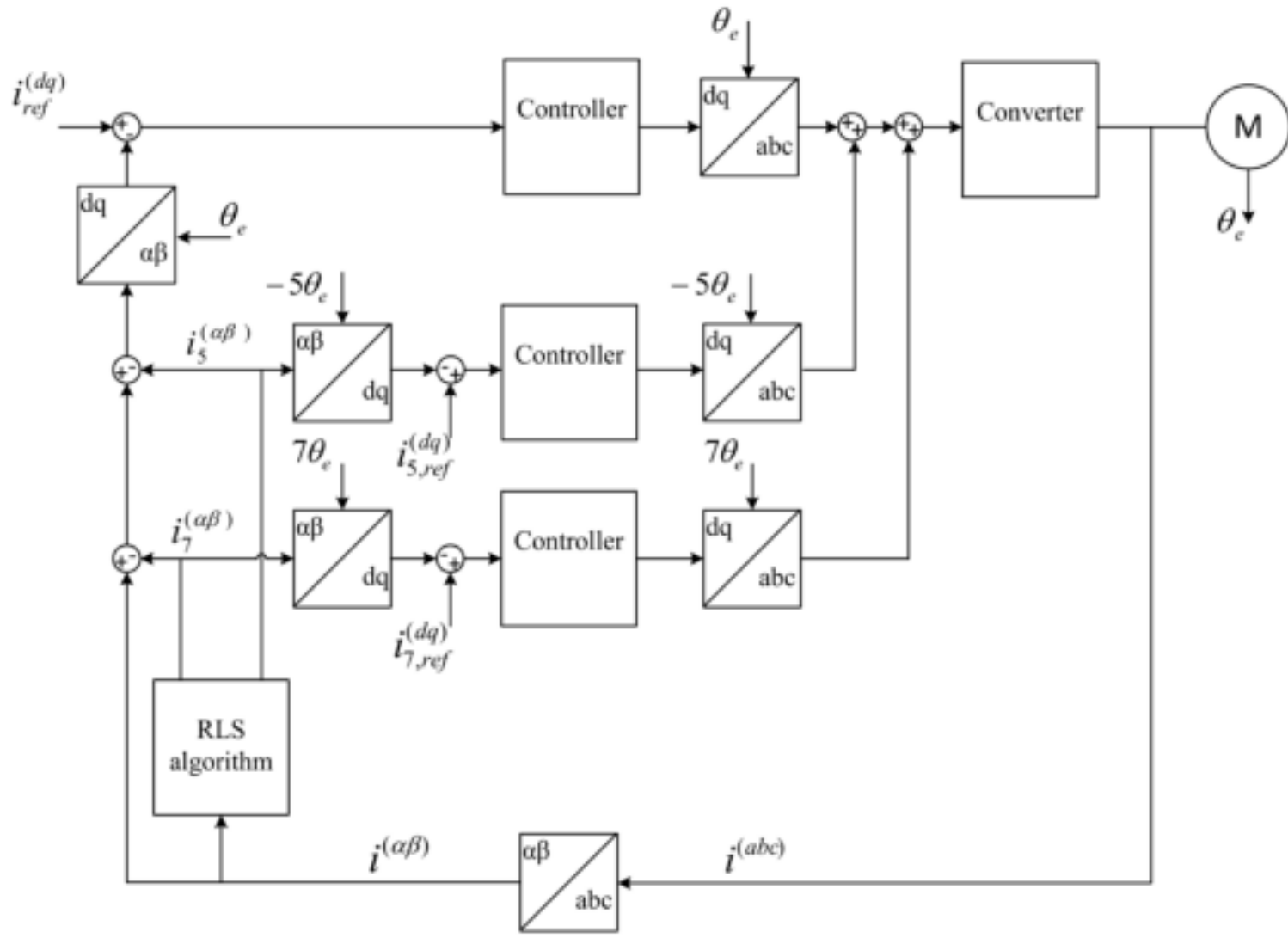
where

$$K_s^{xr} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos x\theta_r & \cos x(\theta_r - \frac{2}{3}\pi) & \cos x(\theta_r + \frac{2}{3}\pi) \\ \sin x\theta_r & \sin x(\theta_r - \frac{2}{3}\pi) & \sin x(\theta_r + \frac{2}{3}\pi) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

○ معادلات ولتاژ پس از انتقال:

$$\begin{aligned} v_{qs}^{xr} &= r_{sl} i_{qs}^{xr} + x\omega_r \lambda_{ds}^{xr} + \frac{d}{dt} \lambda_{qs}^{xr} \\ v_{ds}^{xr} &= r_{sl} i_{ds}^{xr} - x\omega_r \lambda_{qs}^{xr} + \frac{d}{dt} \lambda_{ds}^{xr} \end{aligned} \quad (4)$$





کنترل برداری با کنترل مولفه های هارمونیک ۵ و ۷ جریان



✓ در موتور PMSM، بردار شار روتور همواره روی محور d قرار دارد و مولفه q آن بطور ذاتی صفر هست.

✓ لذا برای کنترل برداری این موتور و مستقل نمودن شار از گشتاور، مطابق رابطه گشتاور ذیل، مولفه d جریان صفر قرار داده می

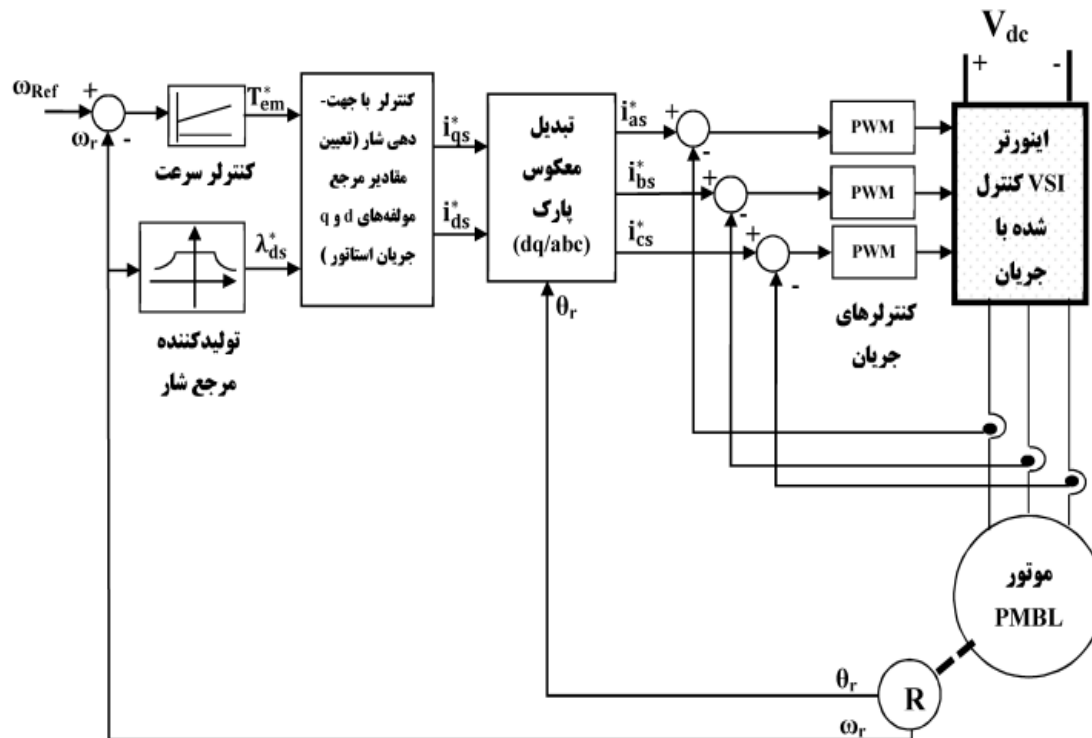
شود:

$$T_{em} = \frac{3P}{4} [\lambda_m i_{qs} + (L_d - L_q) i_{ds} i_{qs}] \quad (5)$$

✓ در نتیجه برحسب گشتاور مورد نیاز بار (که همان خروجی کنترلر سرعت است)، مقدار مرجع مولفه q جریان استاتور از رابطه زیر

حاصل می شود:

$$i_{qs}^* = \frac{4T_{em}^*}{3P\lambda_m} \quad (6)$$



بلوک دیاگرام درایو موتور PMSM (یا PMBL) به روش کنترل برداری و با اینورتر منبع ولتاژ کنترل شده با جریان با قابلیت کار در ناحیه توان ثابت (field weakening)



## روش شبه کنترل برداری (یا کنترل برداری اصلاح شده)

$$i_{qs}^* = \frac{4T_{em}^*}{3P\lambda_m} \quad (6)$$

✓ رابطه فوق را از روی رابطه توان فاصله هوایی و به طریق زیر نیز بدست آورد:

$$T_{em} \times \omega_m = \frac{3}{2} [e_d i_{ds} + e_q i_{qs} + e_0 i_{0s}] \quad (7)$$

$$i_{qs}^* = \frac{2T_{em}^* \omega_m}{3e_q} \quad (8)$$

✓ که در نتیجه:

✓ که در آن  $e_d$  و  $e_q$ ، مولفه‌های  $d$  و  $q$  ولتاژ ضدمحرکه استاتور و  $\omega_m$  سرعت مکانیکی روتور هستند.

✓ لازم به ذکر است که در موتورهای PMSM که ولتاژهای ضدمحرکه کاملاً سینوسی هستند، مقادیر لحظه‌ای

ولتاژهای  $e_d$  و  $e_q$  در هر سرعت دارای مقادیر ثابتی هستند، اما در موتورهای براشلس غیرایده‌آل که ولتاژ

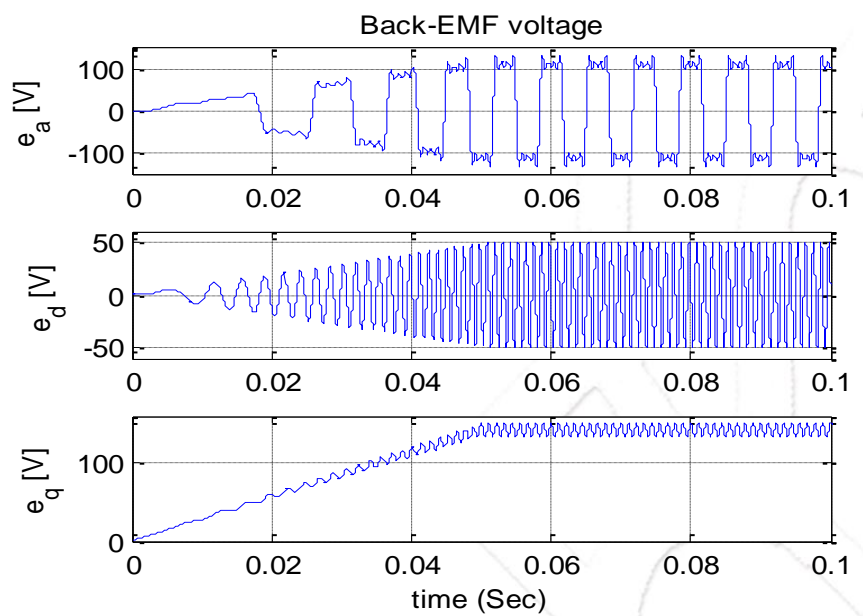
ضدمحرکه شامل هارمونیک است، مقادیر  $e_d$  و  $e_q$  ثابت نبوده و در هر سرعتی دارای نوساناتی هستند.



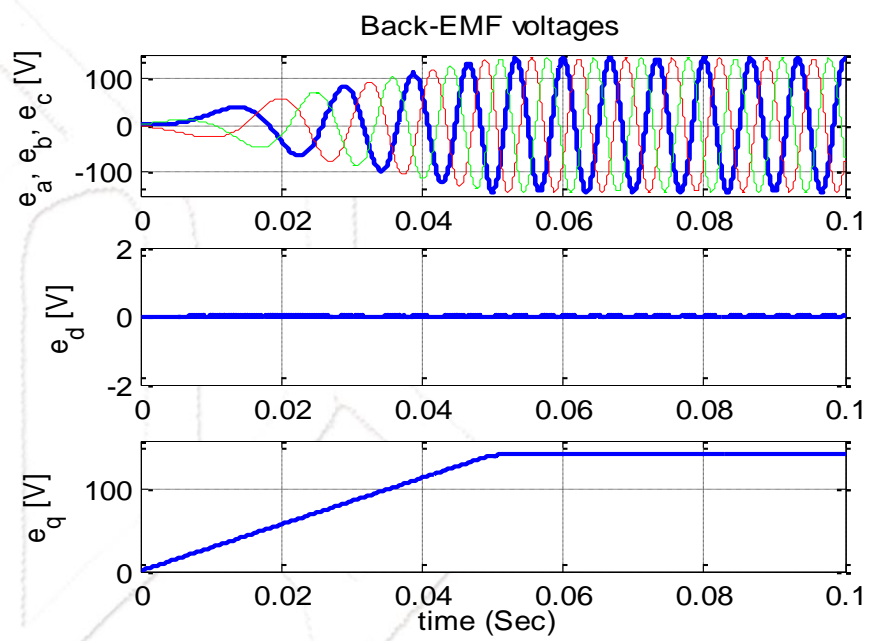


# روش شبه کنترل برداری (یا کنترل برداری اصلاح شده)

✓ تغییرات مولفه های d و q ولتاژهای ضدمحر که در یک موتور PMSM سینوسی و غیر ایده آل با یکدیگر مقایسه شده اند.



(ب) PMSM غیر سینوسی



(الف) PMSM سینوسی

تغییرات ولتاژهای ضدمحر که استاتور موتور PMSM و مولفه های d و q آن طی فرآیند شتاب گیری تا رسیدن به سرعت نامی

✓ همانطور که مشاهده می گردد، مولفه  $e_q$  دارای نوساناتی است که در نتیجه اگر از رابطه زیر (و فقط از هارمونیک اصلی شار)

برای تعیین مقدار مرجع جریان  $i_{qs}$  استفاده شود، ریل گشتاور بوجود خواهد آمد.

$$i_{qs}^* = \frac{4T_{em}^*}{3P\lambda_m} \quad (6)$$

✓ لذا برای تاثیر هارمونیکها، نوسانات  $e_q$  باید در تعیین  $i_{qs}$  مرجع لحاظ شود.



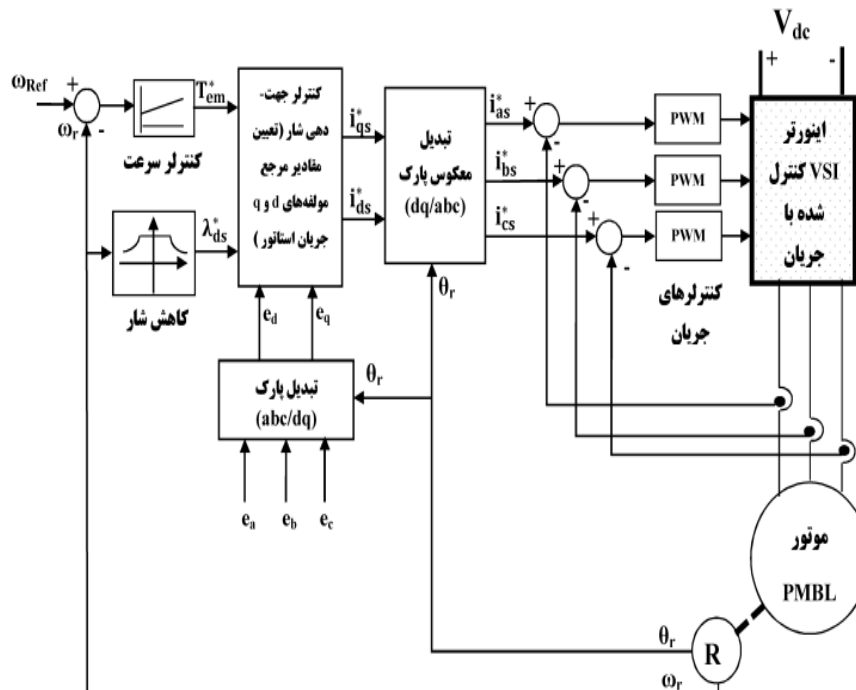
✓ لذا بمنظور لحاظ نمودن اثر هارمونیکهای ولتاژ ضدمحرکه و در ناحیه زیر سرعت نامی، مقدار مرجع  $i_{qs}$  از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$i_{qs}^* = \frac{2\omega_m}{3} \frac{1}{e_q} \times T_{em}^* \quad (9)$$

✓ در نتیجه برخلاف کنترل برداری موتور PMSM سینوسی که مقدار جریان  $i_{qs}$  عددی ثابت است، در روش شبه کنترل برداری این جریان در دستگاه دو محوری دوار dq دارای نوساناتی متناسب با عکس نوسانات  $e_q$  است.

✓ اگر موتور بخواهد در ناحیه توان ثابت نیز کار کند، مقدار مرجع جریان  $i_{ds}$  غیر صفر قرار داده می شود و مقدار مرجع  $i_{qs}$  از رابطه زیر حاصل می شود:

$$i_{qs}^* = \frac{2}{3e_q} (T_{em}^* \omega_m - e_d i_{ds}^*) \quad (10)$$



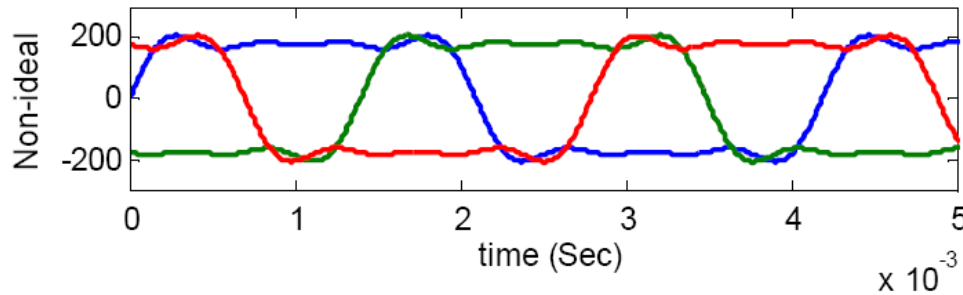


# روش شبه کنترل برداری (یا کنترل برداری اصلاح شده)

## شبه سازی روش

✓ برای بررسی رفتار دو روش کنترل برداری و شبه برداری، یک موتور برشلس غیرایده آل با مشخصات پارامتری داده شده، زیر شبه سازی می گردد.

✓ ولتاژهای ضدمحرکه هر فاز این موتور بصورت زیر بوده و دارای هارمونیکهای هارمونیکهای ۱، ۳، ۵ و ۷ با دامنه به ترتیب برابر با ۱۰۰٪، ۳۳٪، ۲۰٪ و ۱۳٪ هارمونیک اصلی است که از تحلیل FFT ولتاژ ضدمحرکه فاز موتور بدست آمده اند.



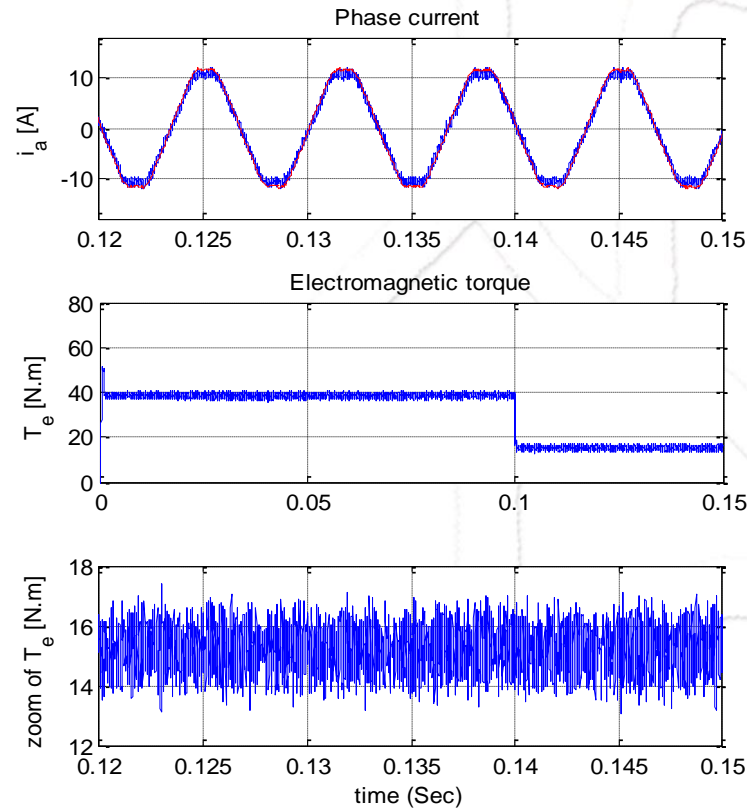
جدول ۱: پارامترهای موتور PMBL ایده آل مورد استفاده در شبه سازیها

مقدار	نماد	کمیت
$0.2 \Omega$	$R_s$	مقاومت هر فاز
$0.8 \text{ mH}$	$L_s$	اندوکتانس خودی هر فاز
$0.35 \text{ mH}$	$M$	اندوکتانس متقابل فازها
۱۲	$P$	تعداد قطبها
$0.15 \text{ V}/(\text{rad}/\text{sec})$	$K_e$	ثابت ولتاژ ضدمحرکه
$0.015 \text{ N.m}/\text{s}^2$	$J$	ممان اینرسی
۳۰۰ V	$V_{dc}$	ولتاژ باس DC
۱۵ N.m	$T_n$	گشتاور بار نامی

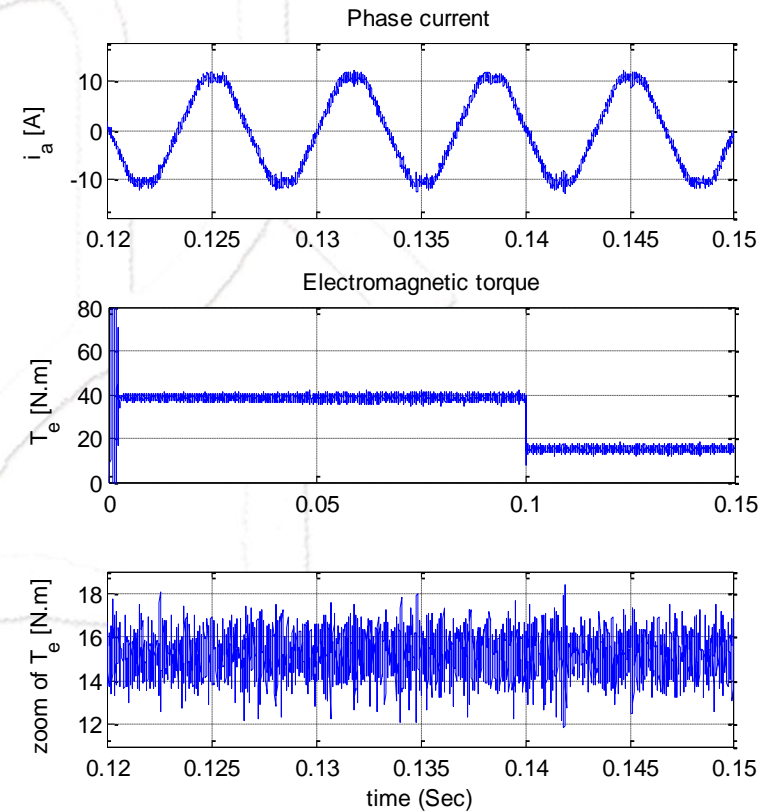


✓ شکل زیر نتایج دور روش برای موتور PMSM غیرسنوسی (براشلس غیر ایده آل) را نشان می دهد. مقدار رپیل گشتاور روش کنترل شبه برداری کمتر است.

✓ همانطور که مشاهده می گردد در روش شبه برداری، شکل موج جریان واقعی و مرجع بصورت غیرسنوسی هستند.

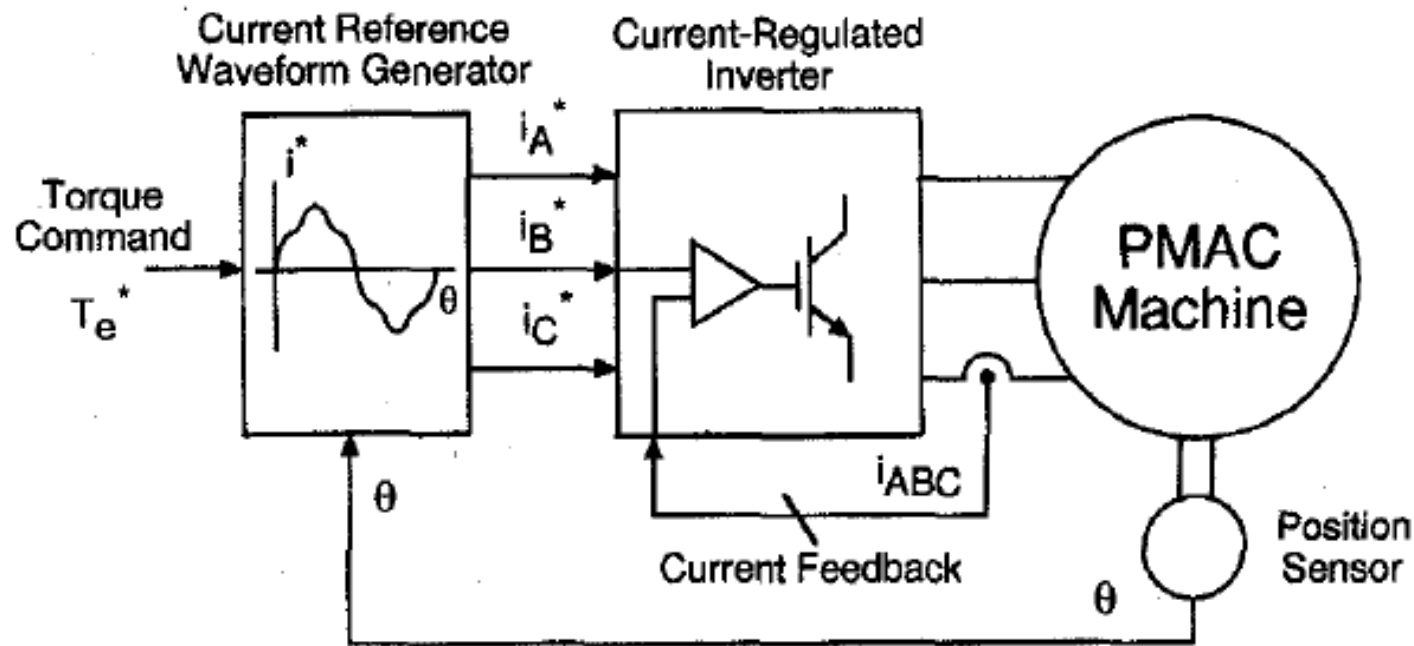


(ب) کنترل شبه برداری



(الف) کنترل برداری

- ✓ در این روش ها برای حذف ریپل گشتاور، یک شکل موج جریان برنامه ریزی شده (و نه بصورت سینوسی)، ایجاد می گردد.
- ✓ در این روش ها اطلاعات لازم در مورد مقدار و منبع ریپل گشتاور باید وجود داشته باشد.
- ✓ یکی از روشهای پر کاربرد این دسته از روشها، روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی است که در ادامه توضیح داده می شود.



بلوک دیاگرام کلی روش شکل دهی جریان مرجع جهت کاهش ریپل گشتاور



## □ روش های شکل دهی جریان مرجع

### ➤ روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی

✓ جهت ایجاد گشتاور لحظه‌ای عاری از ضربان ناشی از هارمونیک‌های ولتاژ ضدمحرکه، و در صورتیکه محتوای هارمونیکی ولتاژ ضدمحرکه فاز معلوم باشد، می‌توان تمام یا برخی هارمونیک‌های دلخواه در شکل موج گشتاور را با تزریق جریان مرجع مناسب حذف نمود.

✓ فرض نمائید که ولتاژ ضدمحرکه فاز a دارای هارمونیک‌های مضارب بالاتر بصورت زیر باشد:

$$e_a = E_1 \sin \omega t + E_3 \sin 3\omega t + E_5 \sin 5\omega t + E_7 \sin 7\omega t + \dots \quad (11)$$

✓ و جریان تزریقی به فاز a موتور نیز به شکل زیر باشد:

$$i_a = I_1 \sin \omega t + I_5 \sin 5\omega t + I_7 \sin 7\omega t + \dots \quad (12)$$

✓ در اینصورت توان فاصله هوایی فاز a بصورت زیر خواهد بود:

$$e_a i_a = P_0 + P_2 \cos 2\omega t + P_4 \cos 4\omega t + P_6 \cos 6\omega t + \dots \quad (13)$$

✓ اما توان فاصله هوایی مجموع سه فاز به دلیل اختلاف فاز ۱۲۰ درجه ای ولتاژها و جریانهای هر سه فاز نسبت به یکدیگر، فقط شامل هارمونیکهای مرتبه ۶ است:

$$P_g(t) = 3(P_0 + P_6 \cos 6\omega t + P_{12} \cos 12\omega t + P_{18} \cos 18\omega t + \dots) \quad (14)$$

✓ گشتاور فاصله هوایی از تقسیم توان فاصله هوایی بر سرعت روتور و مطابق رابطه زیر بدست می‌آید:



## □ روش های شکل دهی جریان مرجع

### ➤ روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی

✓ گشتاور الکترومغناطیسی موتور برابر است با:

$$T_{em} = T_0 + T_6 \cos 6\omega t + T_{12} \cos 12\omega t + T_{18} \cos 18\omega t + \dots \quad (15)$$

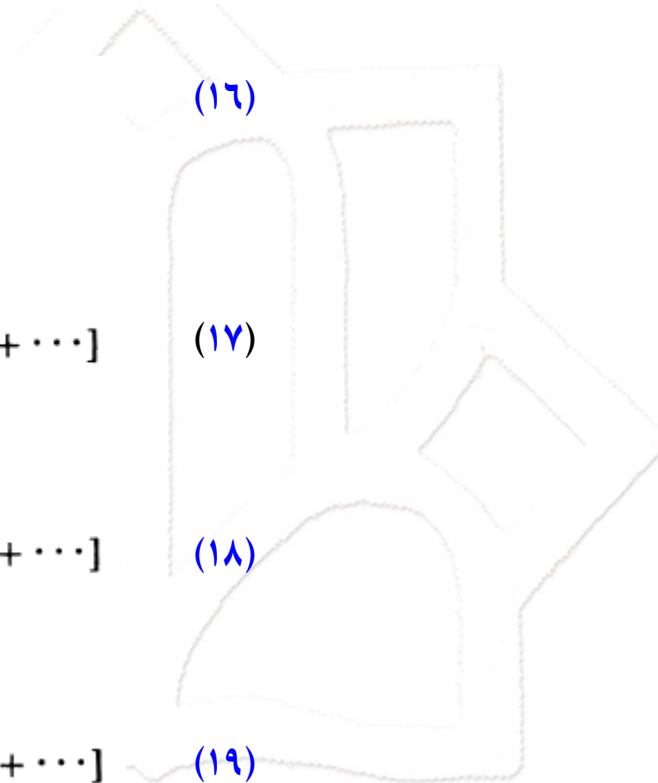
✓ که در آن:

$$T_0 = \frac{3}{2\omega_m} [E_1 I_1 + E_5 I_5 + E_7 I_7 + E_{11} I_{11} + \dots] \quad (16)$$

$$T_6 = \frac{3}{2\omega_m} [I_1(E_7 - E_5) + I_5(E_{11} - E_1) + I_7(E_1 + E_{13}) + I_{11}(E_5 + E_7) + \dots] \quad (17)$$

$$T_{12} = \frac{3}{2\omega_m} [I_1(E_{13} - E_{11}) + I_5(E_{17} - E_7) + I_7(E_{19} - E_5) + I_{11}(E_{23} - E_1) + \dots] \quad (18)$$

$$T_{18} = \frac{3}{2\omega_m} [I_1(E_{19} - E_{17}) + I_5(E_{23} - E_{13}) + I_7(E_{25} - E_{11}) + I_{11}(E_{29} - E_7) + \dots] \quad (19)$$



✓ با توجه به آنکه هدف از کنترل ایجاد گشتاور ثابت  $T_0$  و حذف ریبهای گشتاور مراتب بالاتر است، جریانهای هارمونیک  $I_5, I_1$  و ... به نحوی انتخاب می شوند که  $T_6$  به بالا صفر شوند.



## □ روش های شکل دهی جریان مرجع

### ➤ روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی

✓ در ادامه برای موتور براشلس غیر ایده آل با مشخصات ارائه شده در اسلاید های قبل، این روش اعمال می گردد.

✓ فرض نمائید که ولتاژ ضدمحر که فاز a دارای هارمونیک های مضارب بالاتر بصورت زیر باشد:

$$e_a(t) = E_1 \sin \omega t + E_3 \sin 3\omega t + E_5 \sin 5\omega t + E_7 \sin 7\omega t \quad (20)$$

✓ جریان هارمونیکی را به صورت زیر در نظر می گیریم:  $i_a(t) = I_1 \sin \omega t + I_5 \sin 5\omega t + I_7 \sin 7\omega t$  (21)

✓ توجه نمائید که با توجه به عدم وجود هارمونیکهای مراتب بالاتر ولتاژ ضدمحر که، هارمونیک جریان را تا مرتبه هفتم در نظر می گیریم. همچنین چون موتور دارای اتصال ستاره زمین نشده است، جریان هارمونیک سوم هم صفر خواهد بود.

✓ توان فاصله هوایی فاز a شامل هارمونیکهای تا مرتبه ۱۴ خواهد بود:

$$P_a(t) = e_a i_a = P_0 + P_2 \cos 2\omega t + P_4 \cos 4\omega t + P_6 \cos 6\omega t + \dots \quad (22)$$

✓ توان فاصله هوایی مجموع سه فاز نیز فقط شامل هارمونیکهای صفر، ۶ و ۱۲ خواهد بود:

$$P_g(t) = 3P_0 + 3P_6 \cos 6\omega t + 3P_{12} \cos 12\omega t \quad (23)$$

✓ گشتاور الکترومغناطیسی از تقسیم توان فاصله هوایی بر حسب سرعت بصورت زیر حاصل می شود:

$$T_e(t) = \frac{P_g}{\omega_r} = T_0 + T_6 \cos 6\omega t + T_{12} \cos 12\omega t \quad (24)$$







## □ روش های شکل دهی جریان مرجع

➤ روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی

$$T_e(t) = \frac{P_g}{\omega_r} = T_0 + T_6 \cos 6\omega t + T_{12} \cos 12\omega t \quad (25)$$

$$T_0 = \frac{3}{2\omega_r} [E_1 I_1 + E_5 I_5 + E_7 I_7] \quad (26)$$

✓ که در آن:

$$T_6 = \frac{3}{2\omega_r} [I_1 (E_7 - E_5) - I_5 E_1 + I_7 E_1] \quad (27)$$

$$T_{12} = \frac{3}{2\omega_r} [-I_5 E_7 - I_7 E_5] \quad (28)$$

✓ حال دامنه های جریانهای هارمونیک  $I_1, I_5$  و  $I_7$  را طوری تعیین می کنیم که فقط مولفه ثابت گشتاور مقداری غیر صفر داشته باشد و هارمونیکهای ۶ و ۱۲ صفر شوند.

$$\begin{bmatrix} E_1 & E_5 & E_7 \\ E_7 - E_5 & -E_1 & E_1 \\ 0 & E_7 & E_5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_5 \\ I_7 \end{bmatrix} = \frac{2\omega_r}{3} \begin{bmatrix} T_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_5 \\ I_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0063 \\ -0.047 \\ 0.0235 \end{bmatrix} \frac{2\omega_r}{3} T_l \quad (30)$$

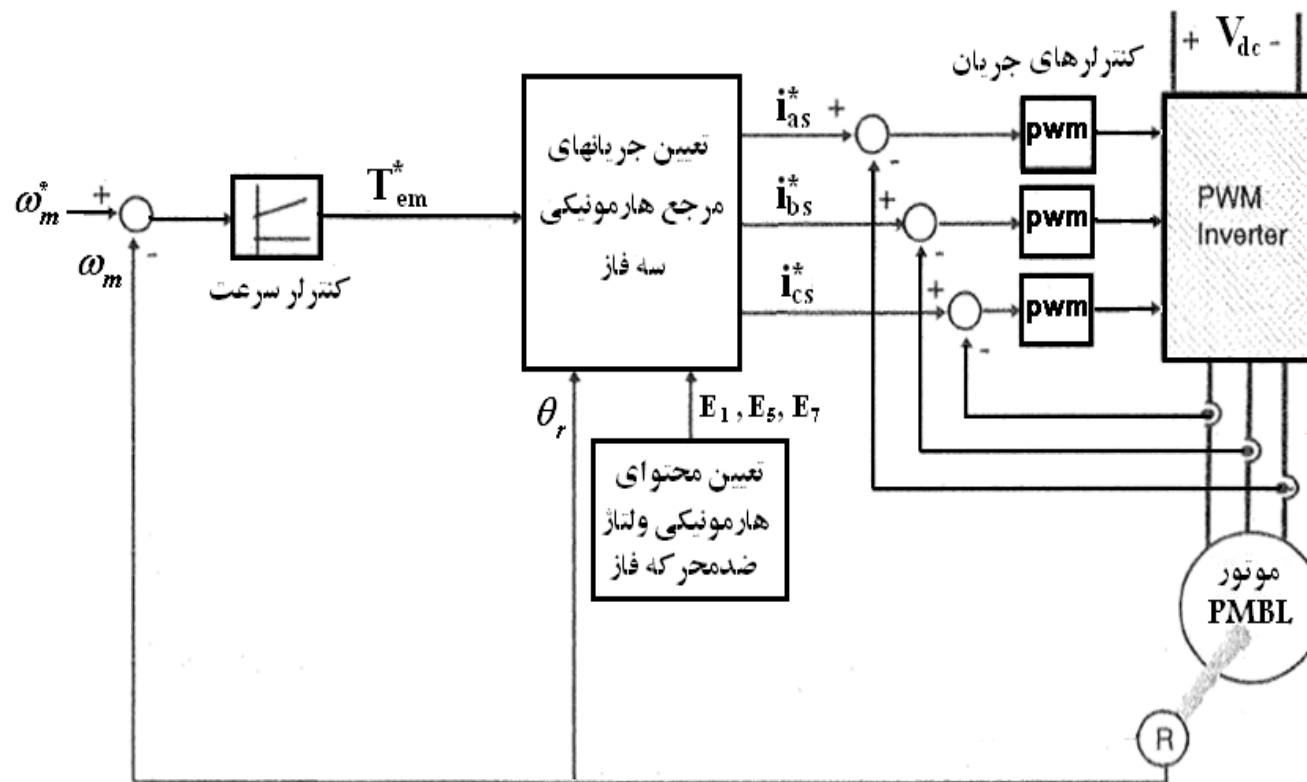
✓ در نتیجه داریم:



# روش های شکل دهی جریان مرجع

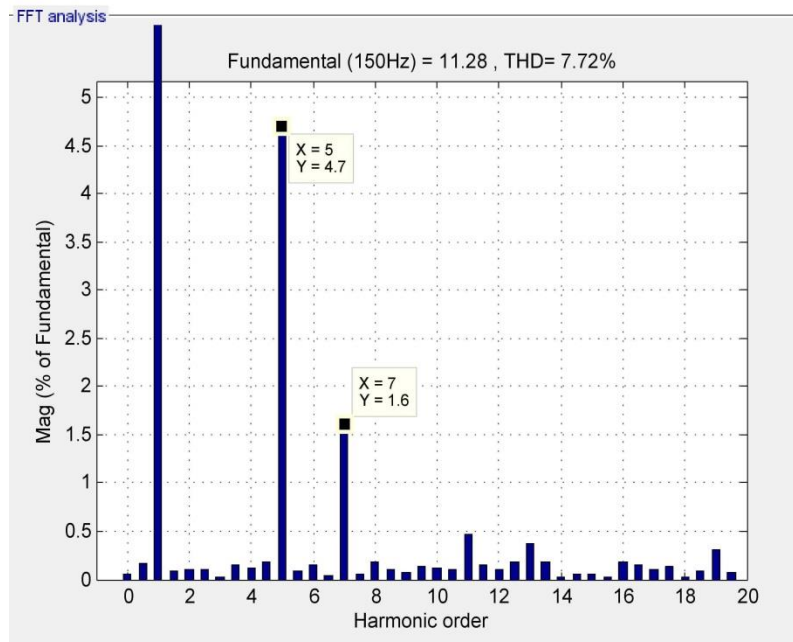
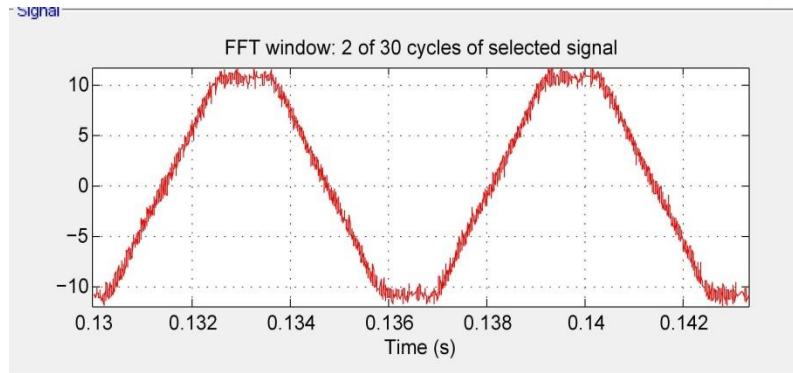
## روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی

- ✓ شکل زیر بلوک دیاگرام این روش کنترلی را نشان می دهد.
- ✓ در این روش حتما باید از اینورتر منبع ولتاژ کنترل شده با جریان استفاده نمود.
- ✓ در صورتیکه محتوای هارمونیکی شکل موج ولتاژ ضدمحرکه در سرعتهای مختلف متفاوت باشد، باید این تغییرات را در محاسبات تعیین مقادیر مرجع هارمونیکیهای جریان تاثیر داد.

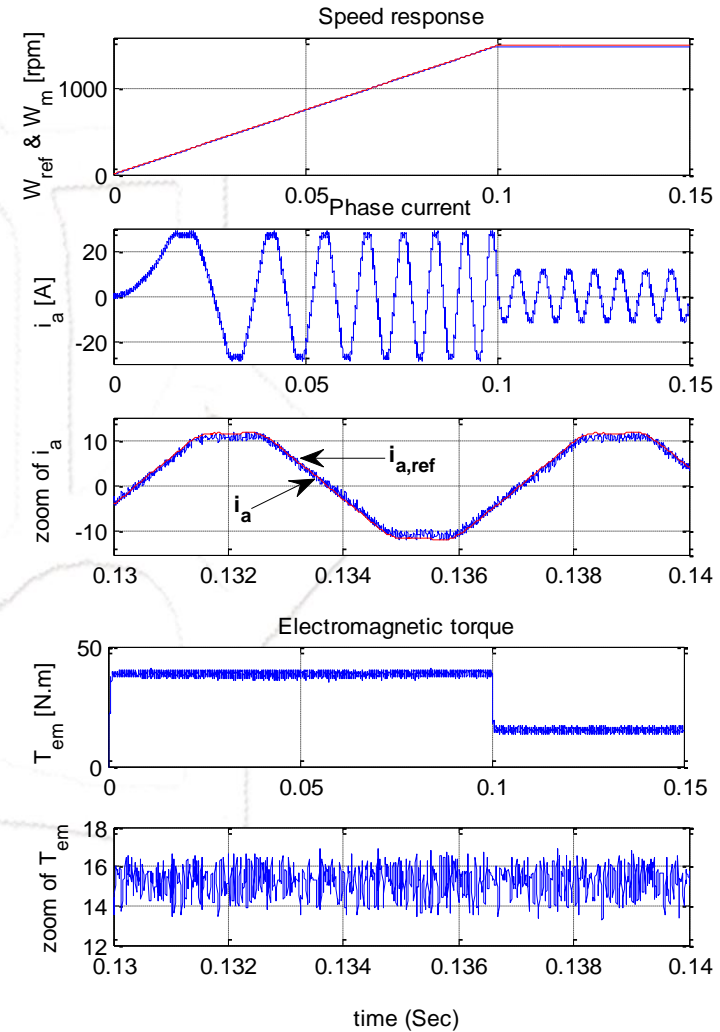


بلوک دیاگرام درایو موتور PMSM غیر سینوسی به روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی

شکلهای زیر نتایج شبیه سازی روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی را نشان می دهد.



(الف) تحلیل FFT شکل موج جریان فاز



(ب) نتایج روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی



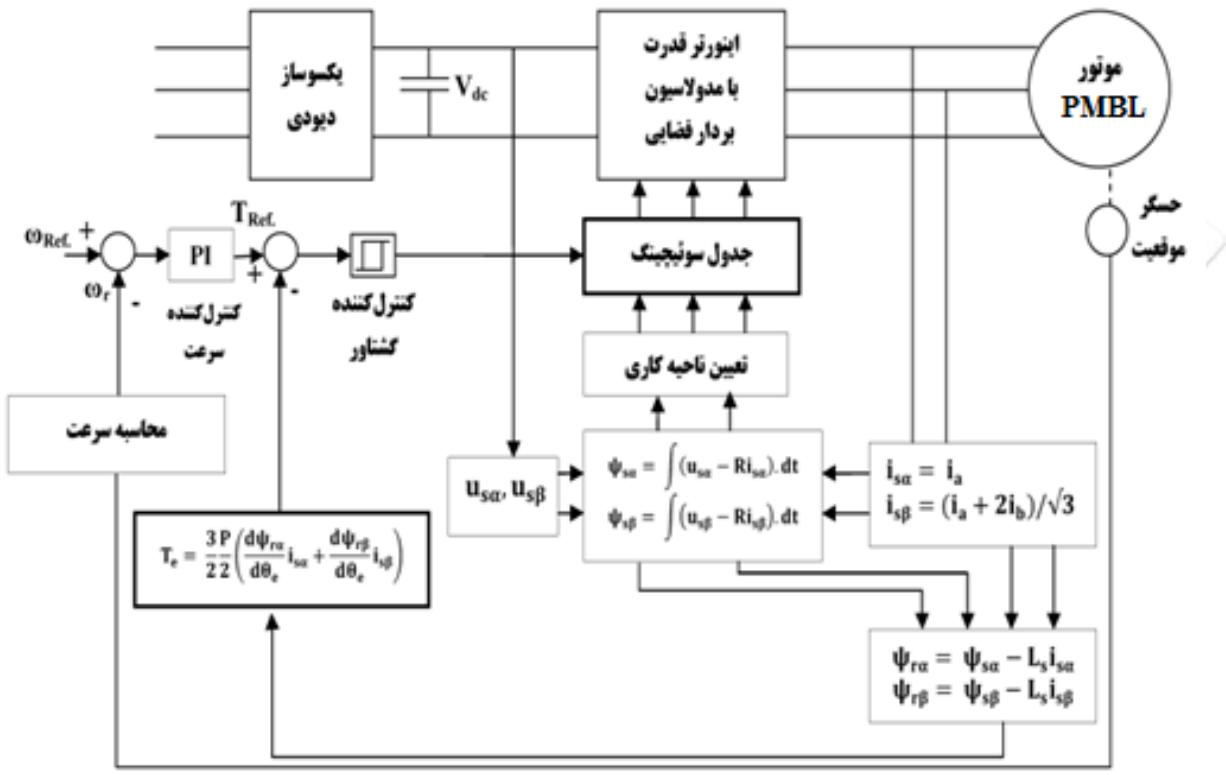
# روش کنترل مستقیم گشتاور

✓ روش DTC برای موتور برشلس غیرایده آل نیز بکار می رود.

✓ برای کنترل DTC این موتور دو رویکرد وجود دارد:

✓ ۱- هدایت جریان سه فاز و کنترل موتور مانند موتور PMSM

✓ ۲- هدایت جریان دو فاز و کنترل موتور مانند موتور BLDC

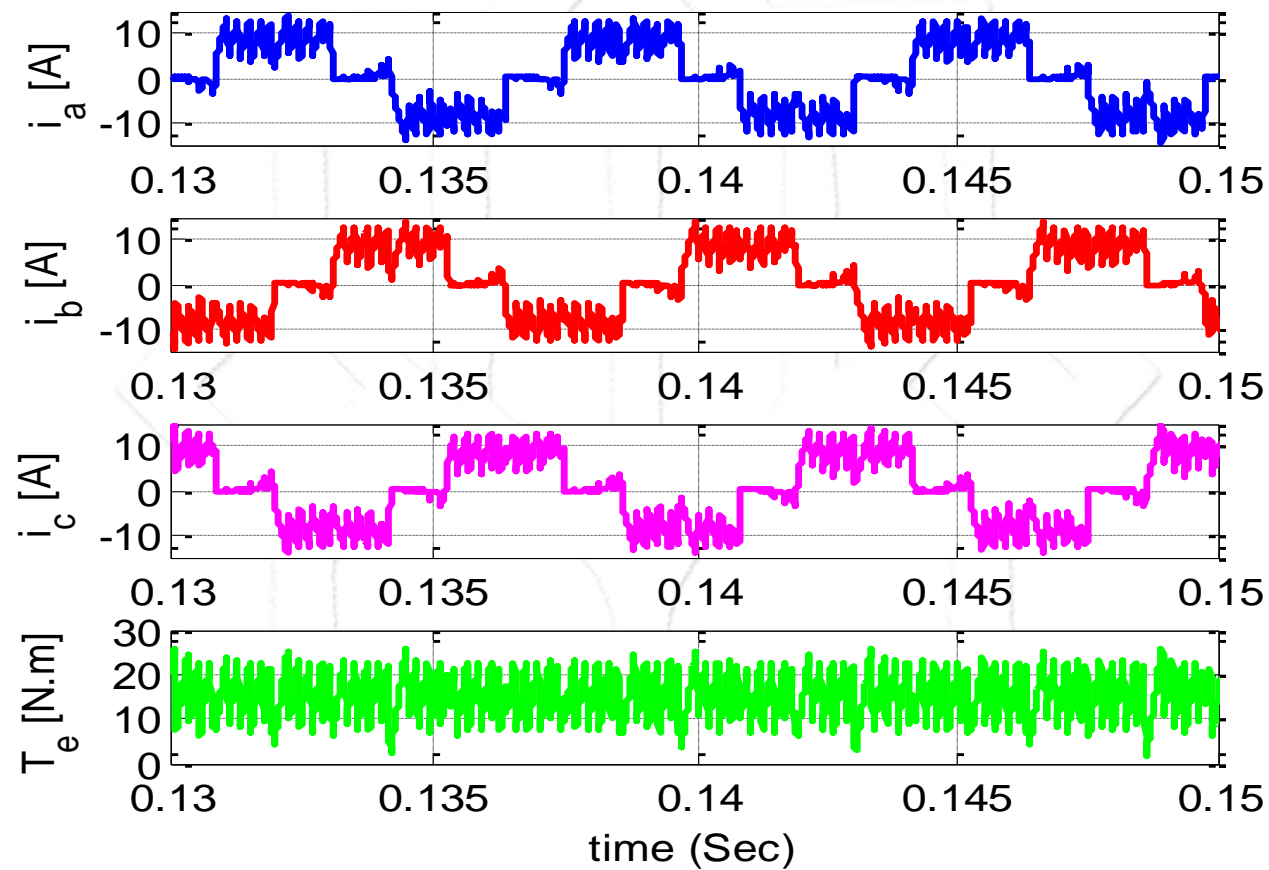


کنترل موتور برشلس غیر ایده آل به روش DTC



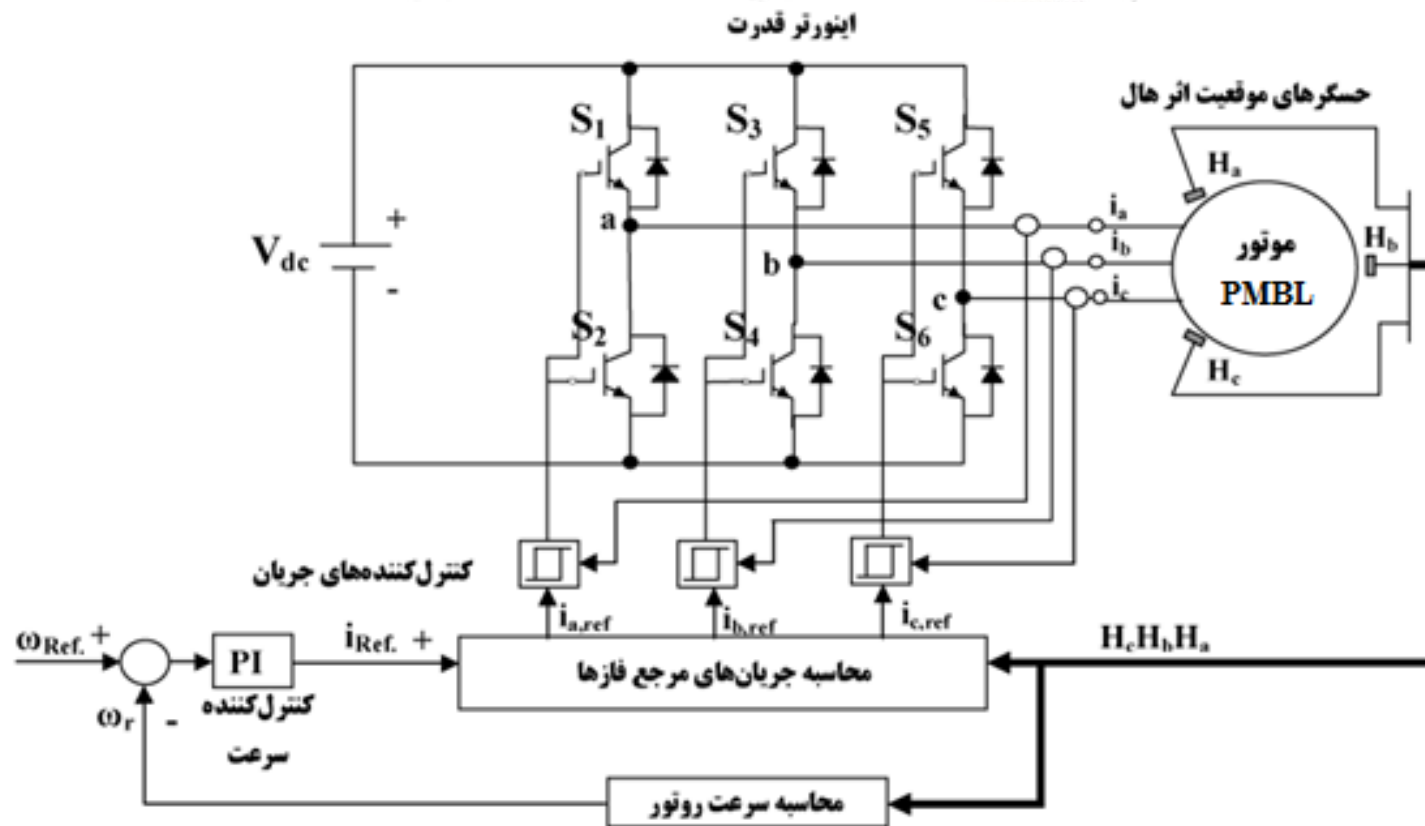


مشاهده می گردد که روش DTC ریل گشتاور زیادی ایجاد می کند.



نتایج شبیه سازی کنترل موتور براساس غیر ایده آل به روش DTC با هدایت جریان در دو فاز

- ✓ این روش دقیقا همان روشی است که در کنترل موتور BLDC بکار می رفت.
- ✓ می توان هم جریان لینک dc را کنترل نمود و هم جریان سه فاز را مستقلا کنترل نمود.
- ✓ روش کنترل جریان سه فاز ریپل گشتاور کمتری ایجاد می کند.

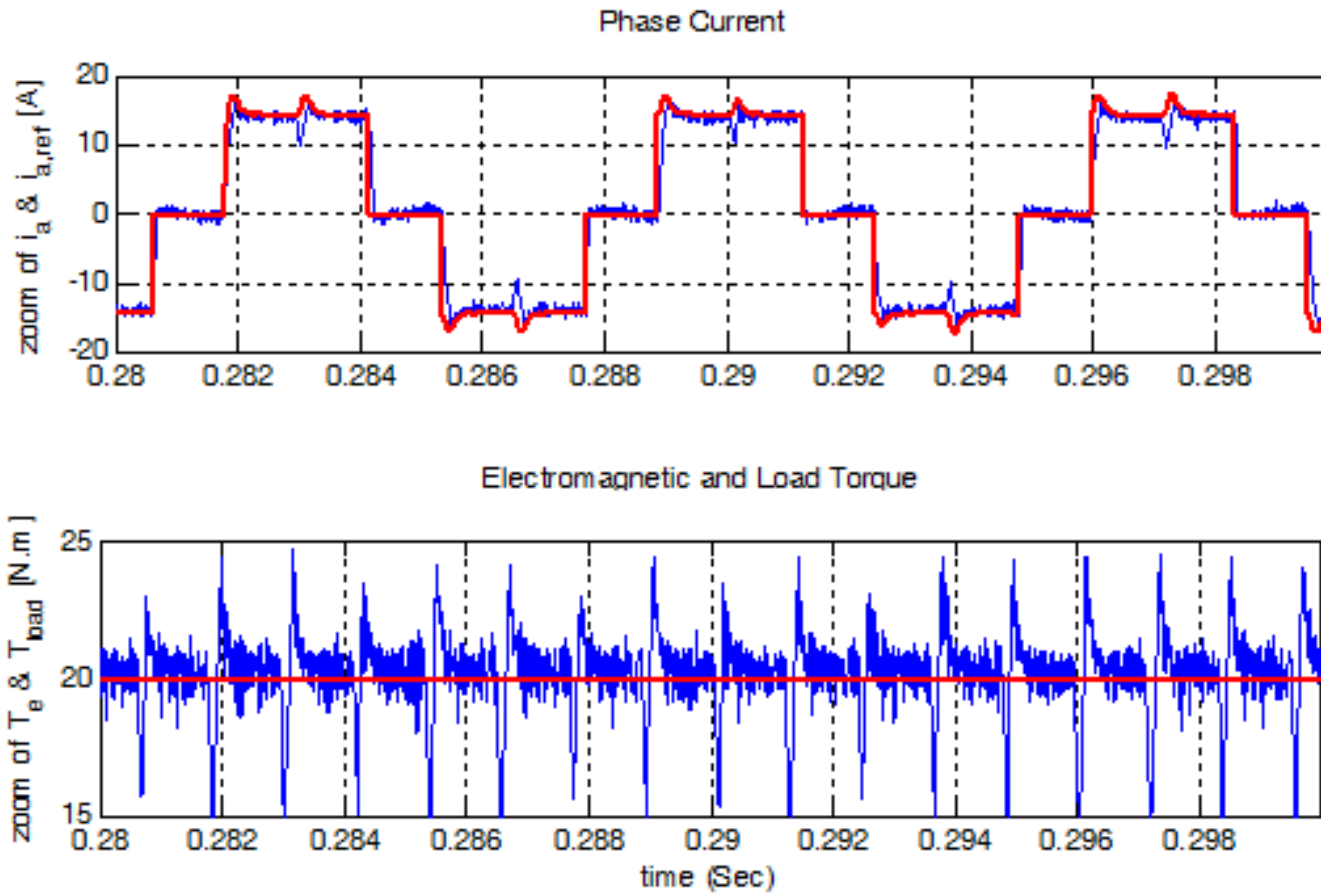


کنترل موتور براساس غیر ایده آل به روش کنترل جریان پله ای



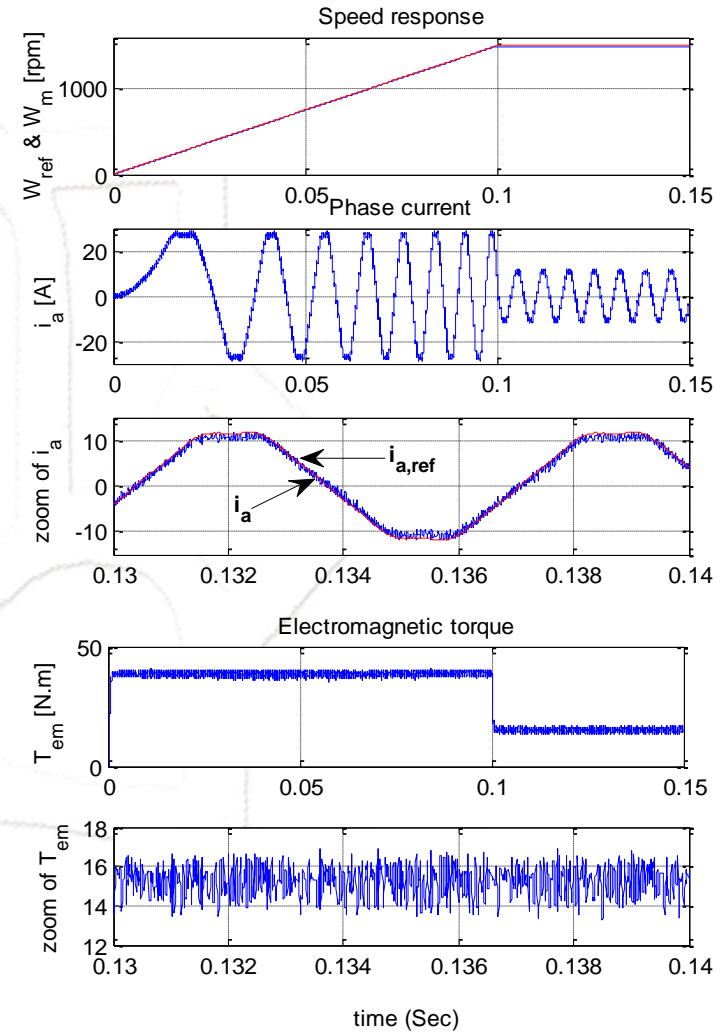
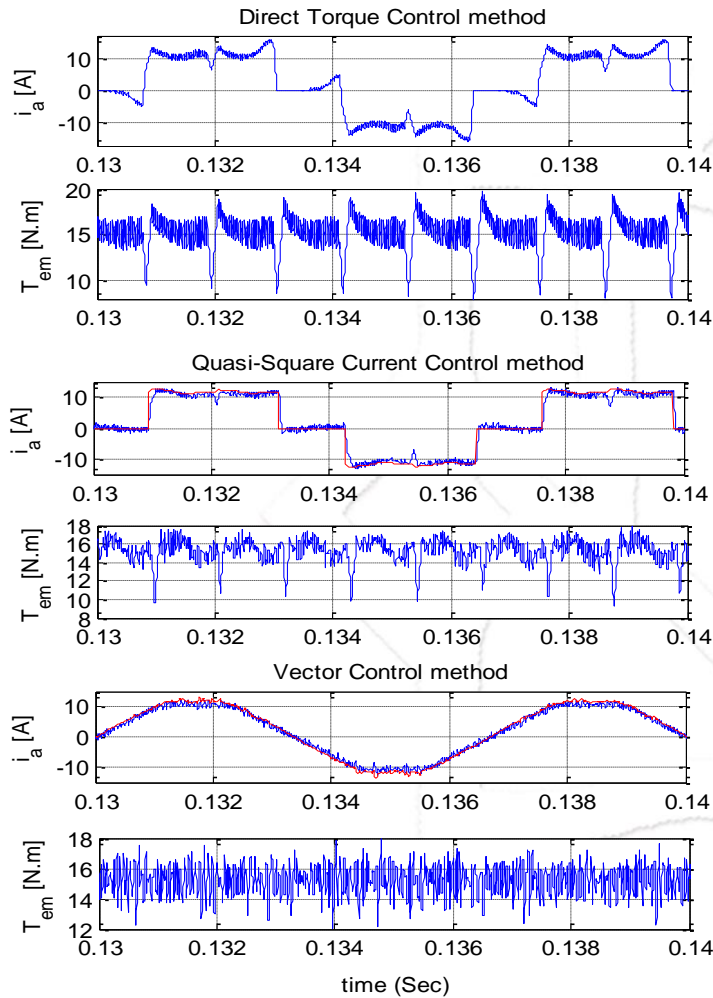
# □ روش کنترل جریان شبه مربعی (پله ای)

➤ تنظیم جریان سه فاز



نتایج شبیه سازی کنترل موتور برشلس غیر ایده آل به روش کنترل جریان پله ای سه فاز

✓ شکلهای زیر نتایج شبیه سازی روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی در مقایسه با چند روش دیگر را نشان می دهد.



(ب) نتایج شبیه سازی شکل موجهای گشتاور و جریان در کنترل موتور PMBL غیرسینوسی با استفاده از روشهای مرسوم دیگر (از بالا به پائین کنترل مستقیم گشتاور، کنترل جریان شبه مربعی و کنترل برداری)

(الف) نتایج روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی





## □ مقایسه روشهای مختلف کنترلی موتورهای براشلس غیرایده آل

✓ نتایج اعمال روشهای مختلف کنترلی به موتور براشلس غیر ایده آل جهت مقایسه در جداول زیر برای موتور نمونه داده شده، آورده شده اند.

جدول ۱. مقایسه ضریب گشتاور نسبی موتور PMSM غیر سینوسی با روش-  
های مختلف کنترلی در سرعت نهایی

روش کنترلی	ضریب گشتاور
کنترل جریان شبه مربعی با تنظیم جریان لینک DC	٪۶۶
کنترل جریان شبه مربعی با تنظیم جریان فازها	٪۴۶
کنترل مستقیم گشتاور	٪۸۰
کنترل برداری	٪۴۰
کنترل برداری بهبود یافته	٪۲۵
روش حذف هارمونیک گشتاور انتخابی	٪۱۶



## □ سایر روش های کنترل موتورهای برشلس غیرایده آل

✓ به غیر از روشهای کنترلی معرفی شده در این بخش، روشهای دیگری هم ارائه شده اند که کمتر به آنها پرداخته شده اند و به ندرت تجاری گشته اند. اما هر یک به نحوی سعی بر بهبود پاسخ سیستم هستند و شاید در موارد خاص و پروژه های خاص از سایر روشهای متداول تجاری بهتر باشند و استفاده از آنها توجیه پذیر گردد.

✓ در این درس از پرداختن به این روشها صرف نظر می شود و صرفا عناوین آنها ذکر می گردد:

- کنترل مستقیم توان (Direct power control)
- کنترل کننده مود لغزشی (Sliding mode controller)
- کنترل به روش مدل پیش بین (Model predictive control)
- کنترل به روش خطی سازی با فیدبک (Feedback linearization control)
- کنترل کننده تطبیقی مدل مرجع (Model reference adaptive controller (MRAC)
- کنترل کننده های هوشمند مبتنی بر منطق فازی و یا شبکه های عصبی (Fuzzy Control, Neural Network, Neuro-fuzzy)

✓ لازم به ذکر است که برخی از این روشها، خود روشی مستقل هستند نظیر روش کنترل مستقیم توان و یا روش خطی سازی با فیدبک و برخی دیگر نظیر کنترل پیش بین و یا کنترل فازی جهت بهبود روشهای متداول دیگر نظیر کنترل مستقیم گشتاور با آنها ترکیب می شوند.