

# طراحی و شبیه سازی و ساخت درایور موتور القائی تکفاز جهت بدست آوردن راندمان و گشتاور ماکزیمم و ارائه الگوریتم کنترل پایدار کننده

استاد راهنما : دکتر محمد رضا بسمی  
استادیار در گروه مهندسی برق قدرت  
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد  
m\_r\_besmi@yahoo.com

نویسنده : حسین احمدی  
دانشجوی ترم آخر مهندسی برق قدرت  
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد  
hossein\_a60@yahoo.com

**چکیده :** در این مقاله شبیه سازی (با دو نرم افزار MATLAB و Orcad در فضای fbpn) و ساخت یک درایور موتور القائی تکفاز جهت بدست آوردن راندمان و گشتاور ماکزیمم ، مورد بررسی قرار خواهد گرفت . این درایور با استفاده از مدار قدرت سوئیچینگ و یک خازن و مدار کنترل میکروکنترلی ، روشی خاص را برای بدست آوردن مشخصات راندمان و گشتاور ماکزیمم به اجرا درمی آورد . در این روش به دو خازن راه انداز و دائم و نیز سوئیچ گریز از مرکز ، دیگر نیازی نیست . نمونه آزمایشگاهی این درایور بوسیله یک خازن راه انداز و یک مدار قدرت سوئیچینگ دارای دو IGBT و یک مدار کنترل شامل میکروکنترلر PIC-16F877 ، ساخته شده است . در این مقاله علاوه بر موارد فوق برای نخستین بار الگوریتم کنترل پایدار کننده برای این نوع درایور ارائه شده است .

**کلمات کلیدی :** موتور القائی تکفاز ، درایور ، راندمان و گشتاور ماکزیمم

## ۱- مقدمه :

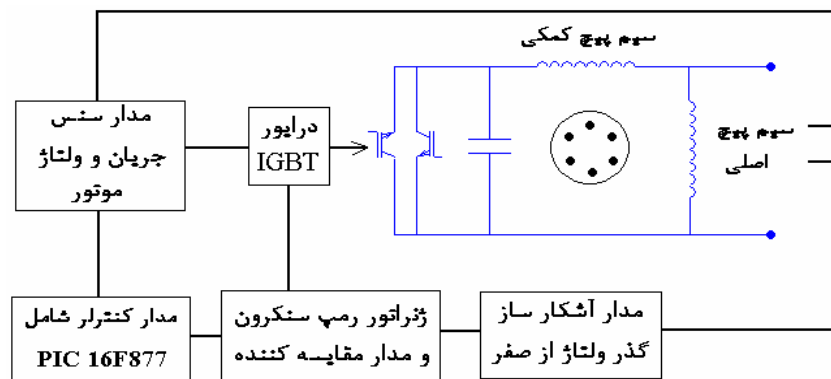
امروزه موتور القائی تک فاز (SPIM-Single Phase Induction Motor) هم در منازل و هم در کارگاههای صنعتی کاربرد گسترده ای صنعت دارد . مهمترین دلیل این امر این است منبع ولتاژ تک فاز معمولاً متداولترین و ابتدائی ترین منبع انرژی الکتریکی در دسترس می باشد . در مجموع موتور القائی تک فاز دارای مزایا و منافع زیادی است برای مثال نیاز به سطح ولتاژ پائین تری نسبت به موتور سه فاز القائی دارد و نیاز به نگهداری کمتری نسبت به سایر موتورها دارد و ... اما از دیگر سو این موتور دارای برخی معایب هم هست . بعنوان مثال ، یک موتور القائی تک فاز با خازن راه انداز و خازن دائم نیاز به دو خازن دارد . وقتی می خواهد حرکت کند نیاز به یک خازن بزرگ دارد تا گشتاور راه اندازی بزرگی تولید کند و وقتی موتور در حال حرکت است ، اگر چه حرکت می کند اما باز به یک خازن کوچکتر برای بهبود راندمان نیازمند است . بعلاوه یک سوئیچ مکانیکی گریز از مرکز نیز لازم است تا وقتی که سرعت موتور به نزدیکی ۷۰ درصد سرعت نامی اش رسید خازن راه انداز را با خازن دائم جایگزین کند .

تعدادی مقالات در مورد بهبود کارایی موتور القائی تک فاز با استفاده از تکنولوژی الکترونیک قدرت بحث کرده اند . برای مثال Novotny خازن کنترل شونده الکترونیکی را برای افزایش گشتاور متوسط موتور القائی تک فاز پیشنهاد می کند [1] . Lipo یک خازن AC قابل تنظیم را برای موتور القائی تک فاز ارائه می دهد [2] . Liu دو استراتژی با استفاده از خازن متغیر AC ( AC Switched Capacitor ) برای افزایش گشتاور راه اندازی را پیشنهاد می کند [3] .

خازن متغیر AC نشان داده است که ساده تر و کاراتر از بقیه توپولوژی ها در کنترل موتور القائی تک فاز می باشد . در این مقاله ما هم برای بهبود راندمان و هم برای بهبود گشتاور راه اندازی موتور القائی تک فاز از خازن متغیر AC استفاده می کنیم . با استفاده از میکروکنترلر PIC-16F877 ، ما می توانیم زمان اتصال کوتاه خازن متغیر را تنظیم کنیم و بعد هم راندمان و هم گشتاور را بهبود ببخشیم و آنرا تا حد ماکزیمم از نظر تئوریک افزایش دهیم .

## ۲- شرح دستگاه :

شکل ۱ بلوک دیگرام دستگاه درایور طراحی شده را نشان می دهد . این از دو بخش اصلی ، مدار سخت افزار و برنامه نرم افزار تشکیل شده است . مدار سخت افزاری دارای تعدادی مدار سنسور برای گرفتن فیدبک ، یک مدار آشکار ساز گذر ولتاژ از صفر ، یک ژنراتور رمپ سنکرون ، یک مدار مقایسه کننده ، یک مدار درایور IGBT ، یک مدار سوئیچینگ و یک مدار کنترل شامل میکروکنترلر است . در این درایور از میکروکنترلر PIC-16F877 استفاده شده است . ابتدا میکروکنترلر سرعت و جریانهای سیم پیچ های موتور را می خواند و سپس بر اساس آن زمان اتصال کوتاه سوئیچ را برای افزایش گشتاور راه اندازی و یا افزایش راندمان موتور تعیین می کند .



شکل ۱ - بلوک دیگرام درایور موتور تکفاز القائی

## ۳- مدل سازی یک موتور القائی تک فاز در فضای dq و در فضای fbpn

معادلات الکتریکی حاکم بر موتور القائی تک فاز قفس سنجایی با سیم پیچ کمکی و امپدانس راه انداز را در فضای dq می توان به صورت یک ماتریس نشان داد که در ذیل مشاهده می کنید . با حل این معادلات به همراه معادله مکانیکی حاکم بر موتور می توان رفتار این نوع موتور را به خوبی تشریح کرد .

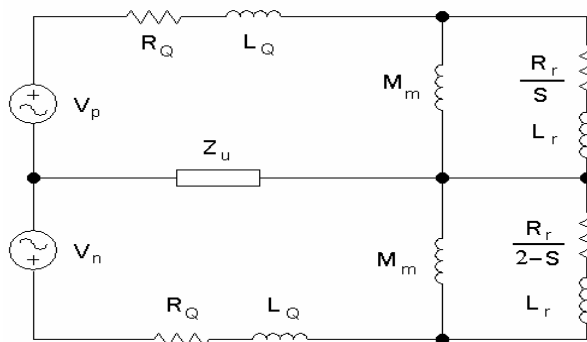
$$\begin{bmatrix} V'_D \\ V_Q \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_D + L_D \times P + Z_X}{n^2} & 0 & \frac{M_{Dd} \times P}{n \times k} & 0 \\ 0 & R_Q + L_Q \times P & 0 & \frac{M_{Qq} \times P}{k} \\ \frac{M_{Dd} \times P}{n \times k} & \frac{M_{Qq} \times w_r}{k} & R_r + L_r \times P & \frac{L_r \times w_r}{k^2} \\ -\frac{M_{Dd} \times w_r}{n \times k} & \frac{M_{Qq} \times P}{k} & -\frac{L_r \times w_r}{k^2} & \frac{R_r + L_r \times P}{k^2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I'_D \\ I_Q \\ I'_d \\ I'_q \end{bmatrix}$$

در این معادلات  $V_Q$  ولتاژ سیم پیچ اصلی ،  $V'_D$  ولتاژ سیم پیچ کمکی از دید سیم پیچ اصلی ،  $I_Q$  جریان سیم پیچ اصلی ،  $I'_D$  جریان سیم پیچ کمکی از دید سیم پیچ اصلی ،  $I'_q$  جریان سیم پیچ روتور در راستای سیم پیچ اصلی از دید سیم پیچ اصلی ،  $I'_d$  جریان سیم پیچ روتور در راستای سیم پیچ کمکی از دید سیم پیچ اصلی ،  $R_Q$  مقاومت و  $L_Q$  اندکتانس سیم پیچ اصلی ،  $R_D$  مقاومت و  $L_D$  اندکتانس سیم پیچ کمکی ،  $Z_X$  امپدانس راه انداز سری با سیم پیچ کمکی ،  $M_{Dd}$  اندوکتانس متقابل روتور و سیم پیچ کمکی ،  $M_{Qq}$  اندوکتانس متقابل روتور و سیم پیچ اصلی ،  $R_r$  مقاومت و  $L_r$  اندکتانس روتور در یک راستا ،  $n$  نسبت تعداد دور سیم پیچ کمکی روتور به تعداد دور سیم پیچ اصلی ،  $k$  نسبت تعداد دور فرضی روتور به تعداد دور سیم پیچ اصلی ،  $w_r$  سرعت زاویه ای حرکت روتور و  $P$  عملگر مشتق و  $S$  لغزش موتور است .

برای سادگی حل و انجام تحلیل بهتر با استفاده از تبدیل dq به fbpn ، معادلات را به فضای fbpn می بریم . در این حالت مدار معادل زیر را می توان برای موتور القائی تکفاز با امپدانس راه انداز ارائه کرد که در آن :

$$M = \frac{M_{Qq}}{k} = \frac{M_{Dd}}{n \times k} \quad Z_u = \frac{1}{2} \left( \frac{R_D}{n^2} + j \frac{X_D}{n^2} + \frac{Z_x}{n^2} - (R_Q + jX_Q) \right)$$

$$V_p = \left( \frac{1}{n} + j \right) \frac{V_s}{\sqrt{2}} \quad V_n = \left( \frac{1}{n} - j \right) \frac{V_s}{\sqrt{2}}$$



شکل ۲ - مدار معادل موتور القائی تکفاز با امپدانس راه انداز در فضای fbpn

در این مدار معادل توان ورودی مدار همان توان ورودی موتور است و توان تلف شده بر روی مقاومت‌های  $\frac{R_r}{2-S}$  و  $\frac{R_r}{S}$  همان توان خروجی موتور است ( البته با صرف نظر کردن از تلفات چرخی ) . از تقسیم این دو توان ( خروجی بر ورودی ) راندمان موتور را با تقریب خوبی می توان بدست آورد . اگر بخواهیم مقدار دقیق راندمان را بدست آوریم باید تلفات چرخی را نیز در نظر بگیریم که البته این تلفات تقریباً مقدار ثابتی است .

#### ۴- نحوه کنترل موتور

در این مقاله روش کنترل موتور اساساً از روی سرعت چرخش موتور انتخاب می شود . هنگامی که سرعت موتور پایینتر از ۱۳۰۰ دور در دقیقه است برای اینکه موتور به شرایط کار پایدار برسد و در زیر بار با مشکل مواجه نشود ، کنترل بر اساس تولید گشتاور ماکزیمم صورت می گیرد و زمانی که سرعت موتور به بیش از ۱۳۰۰ دور در دقیقه رسید ، به منظور بهبود شرایط کار پایدار کنترل بر اساس تولید راندمان ماکزیمم صورت می گیرد .

برای اینکه ما بتوانیم خازن مورد نظر خود را با توجه به وضعیت کارکرد موتور داشته باشیم ، از یک مدار سوئیچینگ و یک خازن روغنی استفاده کردیم تا بوسیله سوئیچینگ مقدار موثر خازن را تغییر دهیم و به مقدار دلخواه خود

برسانیم . در این مدار سوئیچینگ از دو IGBT در وضعیت موازی- معکوس (Anti Parallel) استفاده کردیم که در مجموع با خازن موازی شده اند . سوئیچ ساخته شده بوسیله این دو IGBT ، این قابلیت را دارد که در هر دو نیم سیکل عمل سوئیچینگ را انجام دهد . این سوئیچ در زمانی که اختلاف ولتاژ دو سر خازن صفر است بسته می شود و در زمانی که میکروکنترلر فرمان می دهد باز می شود تا عملاً خازن وارد مدار گردد و بدین وسیله مقدار موثر خازن را می توان کنترل کرد .

الف ) ایجاد خازن متغیر به روش سوئیچینگ :

طراحی و ساخت یک خازن متغیر مکانیکی کاری بسیار سخت و نامعقول است . در این مقاله ما با استفاده از تکنولوژی الکترونیک قدرت و مدارات سوئیچینگ ، یک خازن متغیر را بوجود آوردیم . دو IGBT موازی- معکوس و یک خازن روغنی دائم در اینجا نقش یک خازن متغیر AC را بازی می کنند که با تنظیم زمان اتصال کوتاه دو سر خازن بوسیله سوئیچ متشکل از IGBT ها می توان مقدار راکتانس موثر این مجموعه را کنترل کرد . روابط زیر معادلات حاکم بر این امر را نشان می دهد که در آنها  $X_{c\text{effective}}$  مقدار راکتانس مؤثر مدار و  $X_{c\text{running}}$  مقدار راکتانس خازن دائم و  $t_{on}$  زمان روشن بودن سوئیچ و  $t_{off}$  زمان خاموش بودن سوئیچ و  $D$  سیکل کار سوئیچ و  $T$  دوره تناوب سوئیچ است .

$$T = t_{on} + t_{off} \quad \& \quad D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$X_{c\text{effective}} = X_{c\text{running}} \times (1 - D) \quad (1)$$

باقرار دادن  $C = \frac{1}{j\omega X_c}$  در رابطه (۱) می توان به آسانی بدست آورد .

$$C_{\text{effective}} = C_{\text{running}} \times \frac{1}{(1 - D)} \quad (2)$$

همانطور که در رابطه (۲) مشاهده می کنید می توان به آسانی مقدار مؤثر خازن را با افزایش سیکل کار سوئیچ AC افزایش داد .

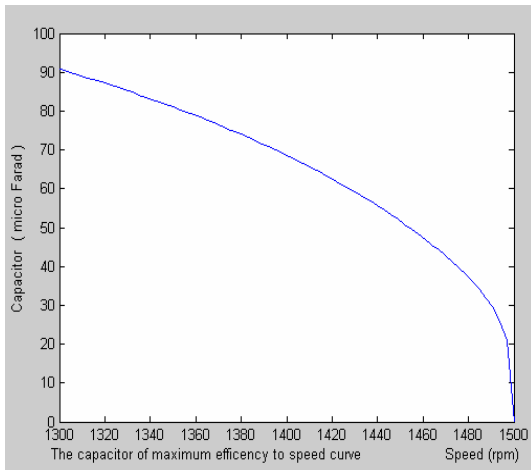
ب ) کنترل موتور بر اساس تولید گشتاور ماکزیمم :

مقدار گشتاور تولیدی موتور القائی تکفاز با خازن راه انداز به ولتاژ ورودی ، پارامترهای موتور ، سرعت موتور و مقدار مؤثر خازن نصب شده در سیم پیچ کمکی آن بستگی دارد . در این مقاله ما این تحلیل خود را در فضای fbpn انجام دادیم و به جای حل پارامتریک معادله  $\frac{dT_e}{dw} = 0$  [3] ، اقدام به حل عددی این معادله توسط نرم افزار MATLAB کردیم تا بتوانیم بر این اساس مقدار مؤثر خازن مورد نیاز در هر وضعیت را به دست آوریم . ما با قرار دادن پارامترهای موتور و سایر مقادیر در معادلات حاکم بر فضای fbpn ، به معادله گشتاور تولیدی موتور القائی تکفاز رسیدیم و با حل عددی این معادله برای یک موتور نمونه ( که آزمایشات خود را بر روی آن انجام می دادیم ) به نمودار ظرفیت خازن بر حسب سرعت موتور که در شکل ۳ آورده شده است ، رسیدیم . همانطور که انتظار می رفت وقتی که موتور راه اندازی می شود ، یک خازن بزرگ نیاز دارد تا گشتاور راه اندازی آن را افزایش دهد و وقتی که موتور در نزدیکی سرعت نامی خود است یک خازن مؤثر کوچکتر نیاز دارد تا گشتاور ضربه ای را کاهش دهد .

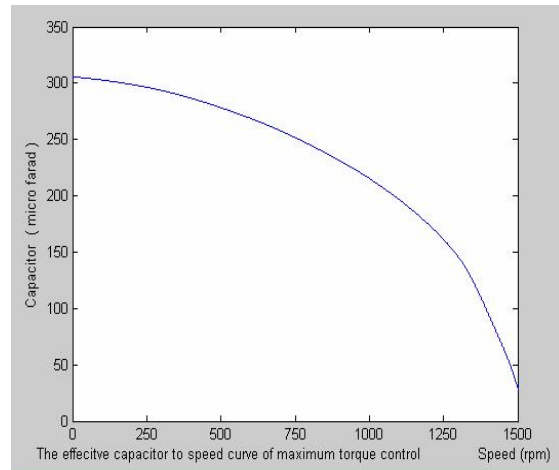
ج ) کنترل موتور بر اساس ایجاد راندمان ماکزیمم :

محاسبه مقدار خازن مورد نیاز برای ایجاد راندمان ماکزیمم نسبت به محاسبه مقدار خازن مورد نیاز برای تولید گشتاور ماکزیمم ، کار نسبتاً آسانتری است زیرا در این حالت می توان از مدار معادل حالت ماندگار موتور القائی تکفاز استفاده کرد و از حل معادلات دیفرانسیل پیچیده که شرایط گذرا را تحلیل می کنند ، رها شد . برای این کار ما ابتدا بر اساس مدار معادل ارائه شده به محاسبه توان ورودی و توان فاصله هوایی برای هر حالت پرداختیم و سپس با افزودن تلفات چرخی - که مقدار تقریباً ثابتی دارد - به معادلات خود اقدام به محاسبه توان خروجی کردیم و به تبع آن راندمان

ماکزیمم بدست آوردیم . در این مرحله نیز با استفاده از نرم افزار MATLAB و با حل عددی مقدار خازن مورد نیاز هر حالت جهت ایجاد راندمان ماکزیمم را به دست آوردیم که نتایج این حل به صورت نمودار خازن موثر بر حسب سرعت موتور در شکل ۴ آمده است .



شکل ۴ - نمودار مقدار موثر خازن بر حسب سرعت موتور برای ایجاد راندمان ماکزیمم



شکل ۳ - نمودار مقدار موثر خازن بر حسب سرعت موتور برای کنترل موتور بر اساس تولید گشتاور ماکزیمم

## ۵- الگوریتم کنترل پایدار کننده

در این مقاله ما روشی را برای بدست آوردن گشتاور ماکزیمم و راندمان ماکزیمم موتور القائی تکفاز بکار گرفته ایم که در عین سادگی بسیار کارا است . در این روش ما با توجه به جریان سیم پیچ های اصلی و کمکی و سرعت موتور و جدولی که برای همان موتور خاص از شبیه سازی ( همانند نمودارهای شکل های ۳ و ۴ ) بدست آورده ایم ، زمان اتصال کوتاه سوئیچ AC متشکل از IGBT ها را تعیین می کنیم و از این طریق موتور را در گشتاور ماکزیمم و راندمان ماکزیمم کنترل می کنیم . برای این کار از الگوریتم زیر استفاده می کنیم:

- ۱- خواندن جریان سیم پیچ های اصلی و کمکی و سرعت موتور
- ۲- اگر سرعت بالاتر از ۱۳۰۰ دور در دقیقه بود رفتن به مرحله ۱۴
- ۳- انتخاب یک مقدار اولیه زمان روشن بودن سوئیچ AC ( $t_{on}^{(k)}$ ) از جدول کنترل بر اساس تولید گشتاور ماکزیمم و انتخاب ماکزیمم گشتاور ( $T_m^{(k)}$ ) متناسب با مرحله ۱ و انتخاب یک تغییر کوچک در زمان اتصال کوتاه ( $\varepsilon$ )
- ۴- اعمال کردن  $t_{on}^{(k)}$  به سوئیچ AC
- ۵- خواندن جریان سیم پیچ های اصلی و کمکی و سرعت موتور
- ۶- محاسبه پارامترهای موتور و جریان در فضای fbpn
- ۷- محاسبه گشتاور  $T^{(k)}$
- ۸- محاسبه  $\Delta T^{(k)} = T_m^{(k)} - T^{(k)}$
- ۹- اگر  $\Delta T^{(k)} \geq 0$  آنگاه  $\varepsilon = \varepsilon$  و در غیر اینصورت  $\varepsilon = -\varepsilon$
- ۱۰- قرار دادن  $t_{on}^{(k)} = t_{on}^{(k)} + \varepsilon$
- ۱۱- اعمال کردن  $t_{on}^{(k)}$  به سوئیچ AC
- ۱۲- جایگزین کردن مقادیر مرحله k با k+1

- ۱۳- رفتن به مرحله ۱
- ۱۴- انتخاب یک مقدار اولیه زمان روشن بودن سوئیچ AC ( $t_{on}^{(k)}$ ) از جدول کنترل بر اساس ایجاد راندمان ماکزیمم و انتخاب راندمان ماکزیمم ( $\eta_m^{(k)}$ ) متناسب با مرحله ۱ و انتخاب یک تغییر کوچک در زمان اتصال کوتاه ( $\varepsilon$ )
- ۱۵- اعمال کردن  $t_{on}^{(k)}$  به سوئیچ AC
- ۱۶- خواندن جریان سیم پیچ های اصلی و کمکی و سرعت موتور
- ۱۷- محاسبه پارامترهای موتور و جریان در فضای fbpm
- ۱۸- محاسبه مجموع تلفات ، توان مکانیکی خروجی ، توان الکتریکی ورودی و راندمان  $\eta^{(k)}$
- ۱۹- محاسبه  $\Delta \eta^{(k)} = \eta_m^{(k)} - \eta^{(k)}$
- ۲۰- اگر  $\Delta \eta^{(k)} \geq 0$  آنگاه  $\varepsilon = \varepsilon$  و در غیر اینصورت  $\varepsilon = -\varepsilon$
- ۲۱- قرار دادن  $t_{on}^{(k)} = t_{on}^{(k)} + \varepsilon$
- ۲۲- اعمال کردن  $t_{on}^{(k)}$  به سوئیچ AC
- ۲۳- جایگزین کردن مقادیر مرحله k با k+1
- ۲۴- رفتن به مرحله ۱

لازم به ذکر است که محاسبه و اعمال  $t_{on}^{(k)}$  از نظر ایجاد پایداری برای موتور امری کاملاً ضروری است که این ضرورت این کار در عمل به اثبات رسیده است و اعمال این زمان به سوئیچ AC یکی از نتایج این مقاله است . محاسبه و اعمال این زمان در حقیقت تضمین کننده پایداری موتور است .

## ۶- نتایج آزمایشگاهی

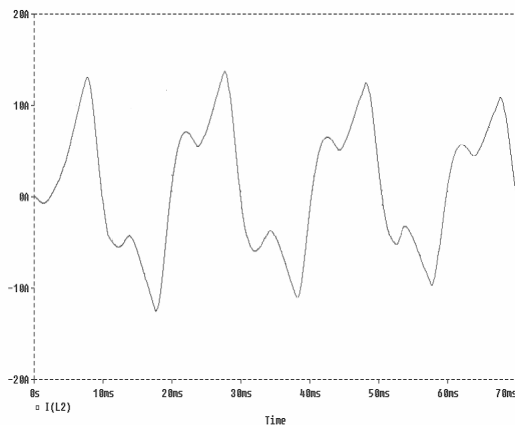
همانطور که در بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱ مشاهده می کنید درایور دارای یک آشکار ساز گذر از ولتاژ صفر ایزوله است کار ایزوله کردن مدار قدرت از مدار کنترل را نیز انجام می دهد . وقتی که ولتاژ دو سر خازن دائم در نزدیکی صفر است ، مدار آشکار ساز ولتاژ صفر این وضعیت را سنس کرده و یک پالس به ژنراتور شیب سنکرون می فرستد . سپس ژنراتور شیب سنکرون یک شکل موج شیب ( در حالت کلی دنداناره ای ) به مدار مقایسه کننده می فرستد . سپس مدار مقایسه کننده مقدار شکل موج شیب و ولتاژ فرستاده شده از طرف میکروکنترلر PIC را با یکدیگر مقایسه کرده که حاصل آن متناسب با زمان اتصال کوتاه دو سر خازن یا همان زمان روشن بودن سوئیچ است .

تا وقتی که مقدار شکل موج شیب پائین تر از ولتاژ خروجی میکروکنترلر باشد سوئیچ روشن باقی می ماند ، وقتی که مقدار شکل موج شیب برابر یا بزرگتر از خروجی میکروکنترلر باشد سوئیچ خاموش می شود . بخاطر اینکه سوئیچ در نزدیکی ولتاژ صفر روشن می شود ، تلفات سوئیچینگ بسیار کوچک است . ولتاژ خروجی میکروکنترلر نیز با توجه به وضعیت کاری موتور با یکی از روشهای کنترل بر اساس تولید گشتاور ماکزیمم یا کنترل بر اساس ایجاد راندمان ماکزیمم تعیین می شود . موتوری که در این مقاله نتایج درایو آن ذکر شده یک موتور القائی تک فاز ۵۰ هرتز ، ۷۵/۰ اسب بخار ، ۴ قطب است که برخی پارامترهای مهم آن عبارتند از :

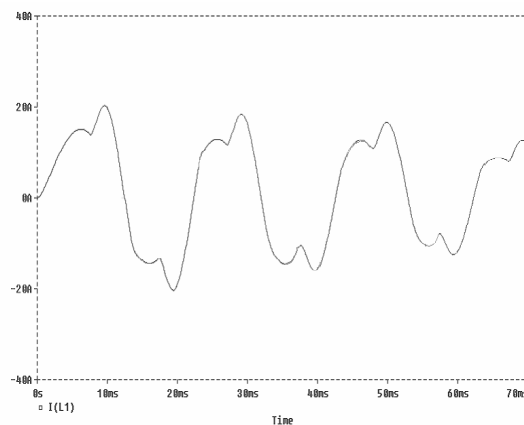
$$\begin{array}{lllll} X_{lq} = 1.03 \, \Omega & X_{ld} = 2.83 \, \Omega & X_{mq} = 26.7 \, \Omega & X_{md} = 62.5 \, \Omega & X'_{lr} = 1.0 \, \Omega \\ R_q = 0.654 \, \Omega & R_d = 3.52 \, \Omega & R'_r = 0.613 \, \Omega & Nd/Nq = 1.67 & C_{\text{running}} = 40 \, \mu\text{f} \end{array}$$

برخی نتایج حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری از درایور ساخته شده در این قسمت به صورت نمودار نشان داده شده اند . شکل ۵ جریان سیم پیچ اصلی است . شکل ۶ جریان سیم پیچ کمکی با همان زمان اتصال کوتاه قبل

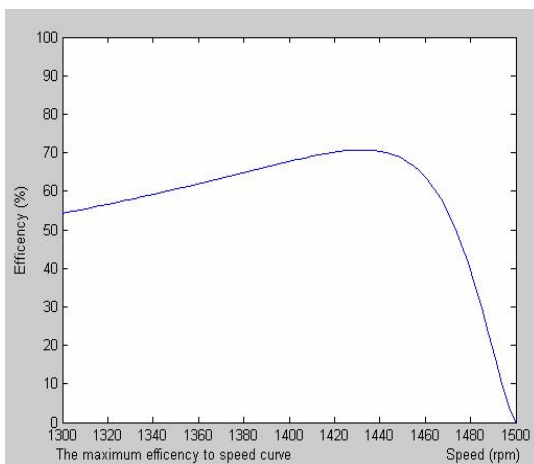
است. شکل ۷ نمودار زمان اتصال کوتاه نسبت به سرعت موتور در کنترل بر اساس تولید گشتاور ماکزیمم است. شکل ۸ نمودار راندمان ماکزیمم نسبت به سرعت موتور در کنترل بر اساس ایجاد راندمان ماکزیمم است.



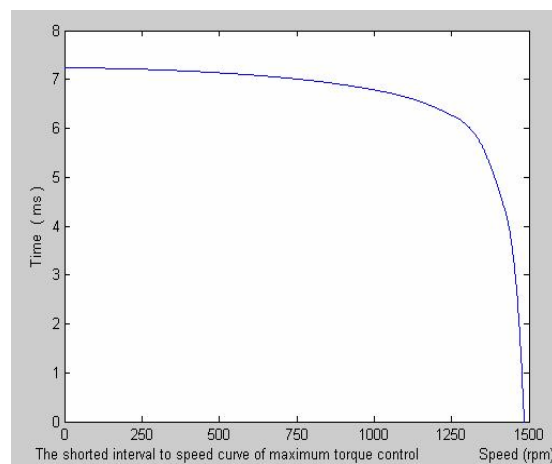
شکل ۶ - جریان سیم پیچ کمکی



شکل ۵ - جریان سیم پیچ اصلی



شکل ۸- نمودار راندمان ماکزیمم نسبت به سرعت موتور در کنترل بر اساس ایجاد راندمان ماکزیمم



شکل ۷- نمودار زمان اتصال کوتاه نسبت به سرعت موتور در کنترل بر اساس تولید گشتاور ماکزیمم

## ۷- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش ساده و کارآمد جهت درایو یک موتور القائی تکفاز با گشتاور ماکزیمم و راندمان ماکزیمم ارائه شده است که این کار بر پایه مباحث الکترونیک قدرت و تئوری جامع ماشینهای الکتریکی صورت گرفته است. کار طراحی و شبیه سازی با نرم افزارهای گوناگون از جمله MATLAB و Orcad صورت گرفته و نتایج آزمایشگاهی نیز به صحت و دقت تجزیه و تحلیل های تئوریک و شبیه سازی ها دلالت می کنند.

یکی از نتایج بسیار مهم این مقاله که در سایر مراجع به آن اشاره ای نشده الگوریتم کنترل موتور است. نکته مهم در این الگوریتم محاسبه  $t_{on}^{(k)}$  است که این زمان کار سوئیچ باعث بوجود آمدن پایداری بیشتر موتور می شود و موتور دیگر بر اثر تغییرات بوجود آمده ناشی از عوامل خارجی پایداری خود را از دست نمی دهد.

هزینه ساخت این درایور مبلغ چندانی نیست ( البته نسبت به دو خازن دائم و راه انداز برای برخی موتورهای تکفاز ) و در صورتی هم که به تولید انبوه برسد قیمت تمام شده آن از نظر اقتصادی کاملاً توجیه پذیر می شود . برخی از نتایج حاصل از این مقاله در قسمتهای قبل به صورت نمودار آمده اند .

## ۸- مراجع

- [1] T.A . Lettenmaier, D.W. Novotny and T. A . Lipo, "Single phase induction motor with an electronically controlled capacitor," IEEE Trans. Ind. Appl. vol. 27, no.1, pp. 38-43, Jan./Feb. 1991
- [2] E.Muljadi, Y. Zhao, T. H. Liu, and T. A . Lipo, "Adjustable ac capacitor for single-phase induction motor," IEEE Trans. Ind. Appl. vol. 29, no.3, pp. 479-485, Oct. 1993
- [3] T. H. Liu, "A maximum torque control with a controlled capacitor for a single-phase induction motor," IEEE Trans. Ind. Electron. vol. 42, no.1, pp. 17-24, Feb. 1995