

# استعمال تريستور در كنترل موتورهاي الكتريكي چرخان از نوع القايي

سيد رضا عالي

باشگاه پژوهشگران جوان واحد تبريز

دانشگاه آزاد اسلامي واحد تبريز

دانشجويي برق الكترونيك

## چكيده :

بسياري از اوقات لازم مي شود كه يك موتور را از حالت سكون به حركت دوراني با سرعت معيني وادار كنيم . در هنگام كار موتور ممكن است به تغيير سرعت ،تعويض جهت چرخش، تغيير وضعيت و شايد برگشت به شرايط اوليه در کوتاهترين زمان ممكن نياز شود .دوره كار را مي توان با تنظيم انرژي الكتريكي موتوري كه محرك بار است ، كنترل كرد.موتورهاي القايي ماشين هاي نسبتاً ارزان و مستحكي هستند كه آنها را ميتوان بدون كموتاتور و يا حلقه هاي لغزان ساخت . در نتيجه بنا به علل مذكور تاكنون در مورد كنترل اين موتورها از لحاظ راه اندازي ترمز،تغيير جهت چرخش يا سرعت و كنترل وضعيت ،مطالعه و بررسي هاي زيادي صورت گرفته است . روش هاي مختلف كنترل دور موتورهاي القائي با واحدهاي تريستوري مورد بررسي قرار مي گيرد ودر خاتمه چند مثال عملي معرفي مي شود .

كلمات كليدي :موتور هاي القايي ،تريستور،راه اندازي موتور وكنترل موتور

## مقدمه :

در حال حاضر نيمه هادي هاي متحرك جاگزين عناصر سنتي كنترل موتورهاي القايي شده اند .افزون بر اينكه اين المان ها در كنترل محرك هاي تجاري به كار مي روند ،مطالعه شيوه هاي کاربردي براي پيشبرد و بهبود روش هاي موجود و ابداع روش هاي جديد همچنان مورد توجه محققين و شركت هاي سازنده است.

جاگزيني محركها ي الكتريكي با موتورهاي احتراق داخلي کاهش شديد آلودگي هوا را باعث ميشود و به اين دليل كوشش هاي زيادي لازم است تا اين جاگزيني با توجه به جنبه اقتصادي آن ممكن شود . يكي از عوامل مهم در اين جاگزيني مربوط به روش هاي ذخيره انرژي الكتريكي است . باطري هاي سرب اسيد، سنگين ،بزرگ و گران قيمت هستند ،آنها بايستي با سلولهاي سوختي جاگزين شوند تا بتوانند از پس كنترل كننده و محركهاي الكتريكي كه ميتواند يك موتور القايي باشد ، برآيند .

در اين مقاله روش هاي مختلف كنترل چرخش موتورهاي القايي با واحد هاي تريستوري مورد بررسي قرار مي گيرد و در خاتمه چند مثال عملي معرفي خواهد شد .

## 1- ترستور

SCR نام تجاری ترستور (یکسو کننده قابل کنترل سیلیکونی) جزء عمده ترین مدارات الکترونیک قدرت می باشد ( یک نیمه هادی fast switching )

### کار کرد :

مدوله کردن قدرت سیستم های الکتریکی جریان مستقیم و متناوب و عناصر دیگر مورد استفاده در الکترونیک قدرت به منظور فرمان (operate) و محافظت ترستور ها به کار برده می شوند.

خانواده ترستور ها گروهی از وسایل 4 لایه سیلیکونی مرکب از دیود ، تریود و تترود است ، مهمترین کلید نیمه هادی قابل کنترل در کنترل قدرت به کار می رود.

SCR که یک کلید قدرت یک طرفه است (کنترل عبور جریان در یک جهت) و نیز تریاک (triac) یک کلید قدرت دو طرفه است (یعنی عبور جریان را می تواند در دو جهت کنترل کند).

معایب ترستور: موقعی که ترستور روشن می شود و جریان را هدایت می کند در دو سر آن افت ولتاژ مستقیم (forward voltage drop) در حدود  $1/5$  ایجاد می شود.

کاربرد: برای کنترل محرک های الکتریکی مثلاً مته برقی ، مخلوط کنها ، آسیابها در کارخانه های نساجی به قدرت  $50-5$  Mw و یا دستگاه های کنترل شده با نیمه هادی برای تحریک توربو - آلترناتورها .

کنترل سرعت موتورهای جریان متناوب با تغییر دادن ولتاژ ورودی در پایانه های استاتور و یا روتور (چرخانه) منحصر به موتورهای القایی (اندوکسیونی) است بر تغییر و تعدیل ولتاژ از هر وسیله ای که استفاده شود ترستور می تواند به همان خوبی ، عمل تغییر ولتاژ را انجام دهد تنظیم سرعت موتورهای جریان متناوب با تغییر دادن ولتاژ ورودی مناسب نیست ولی کنترل سرعت این موتورها با تغییر فرکانس ورودی با مدارات ترستوری دارای اهمیت زیاد است.

### حالت عمل ترستور :

یک وسیله کلید زنی که همواره قطع یا وصل است و در یکی از دو حالت زیر عمل می کند:

1) در حالت اشباع یا هدایت کامل دارای امپدانس صفر است .

2) در حالت مسدود یا غیر هادی دارای امپدانس بی نهایت در مقابل عبور جریان است.

SCR : با ولتاژ بایاس مستقیم جریان قابل ملاحظه ای از خود عبور نمی دهد با ولتاژ بایاس مستقیم و یک

پالس کوچک بین دریچه و کاتد جریان قابل ملاحظه ای از آنند به کاتد عبور می کند.

3) راه اندازی به منظور روشن شدن مبحث راه اندازی موتور القایی هنگامی که ولتاژ منبع تغذیه به طور مستقیم به ترمینال ورودی موتور اعمال می شود، ناگزیر بایستی به مدار معادل موتور القایی مراجعه نماییم تا جریان ورودی یا عبوری از موتور را برحسب لغزش و امپدانس های ماشین محاسبه کنیم. استفاده از مدار معادل تقریبی شکل (1) خطای بسیار کم و قابل چشم پوشی در محاسبه مقدار جریان را به دنبال خواهد داشت.

پارامتر های مدار معادل تقریبی شکل 1 برای هر فاز موتور عبارت است از:

Y0: ادمیتانس مغناطیسی کندگی موتور

r1: مقاومت سیم پیچی روتور منتقل شده به استاتور

X1: راکتانس نشتی سیم پیچی استاتور

X2: راکتانس نشتی سیم پیچی روتور منتقل شده به استاتور (در فرکانس منبع تغذیه)

S: لغزش

جریان هر فاز برای لغزش S عبارت است از:

$$I = V / [(r_1 + r'_2/s)^2 + (x_1 + x'_2)^2]^{1/2}$$

و ضریب توان عبارت است از:

$$\cos \theta = (r_1 + r'_2/s) / [(r_1 + r'_2/s)^2 + (x_1 + x'_2)^2]^{1/2} \quad (2)$$

$$P_m = I_1 r'_2 [(1-S)/S]$$

توان خروجی خالص هر فاز عبارت است از:

$$T = (P/\omega) \cdot I_1^2 \cdot (r'_2/S)$$

بنا بر این گشتاور الکترو مغناطیسی هر فاز به قرار زیر خواهد بود:

که در آن p معرف زوج قطب ها و w سرعت زاویه ای است .

شرایط ایده آل برای راه اندازی یک موتور القایی عبارتند از:

1- جریان هجومی کم

2- داشتن در صد تنظیم مناسب ولتاژ تغذیه.

3- داشتن گشتاور زیاد برای آنکه هرچه سریعتر شتاب بگیرد و به سرعت پایدار عادی خود برسد.

4- داشتن ضریب قدرت بیشتر برای محدود کردن ولت آمپر موتور به ازای توان دلخواه بررسی روابط فوق برای

راه اندازی به ازای s=1 نشان می دهد که جریان مقدار بیشینه و ضریب قدرت مقدار کمینه را داراست گرچه

جریان زیاد باعث افزایش گشتاور راه اندازی می شود ولی پیشینه مقدار لغزش در مخرج رابطه گشتاور باعث کاهش مقدار گشتاور راه اندازی (به ازای مقدار ثابت مقاومت روتور) می شود. این مقادیر با شرایط ایده آل راه اندازی مذکور وفق نمی دهد ولی آنها برای موتورهای کوچک تا توان چند اسب بخار قابل تحمل هستند. این مشخصه های نامطلوب موقعی ظاهر می شوند که موتور به طور مستقیم به منبع تغذیه اتصال یابد، یعنی راه اندازی به روش اتصال مستقیم به خط باشد و تغییر آنها با افزودن بعضی از عناصر مداری به منظور کنترل مشخصه های فوق و نزدیک شدن به شرایط ایده آل راه اندازی امکان پذیر است.

5- راه اندازی موتورهای کوچک با روش راه اندازی اتصال مستقیم به خط دارای چند مزیت است :  
اول: روش ساده و ارزانی است .

دوم: جریان راه اندازی زیاد به مفهوم حداقل تاخیر در رسیدن موتور به سرعت نرمال است .

راه اندازی اتصال به خط در موتورهای بزرگ ممکن است اثرات نامطلوبی متعددی داشته باشد به طوری که:

1- جریان بسیار زیادی که از منبع تغذیه کشیده می شود، ایجاد افت ولتاژی بر روی منبع تغذیه می کند، که باعث تضعیف شدت نور و یا چشمک زدن لامپ های (فلیکر) میشود که از نظر مصرف کننده های خانگی و صنعتی غیر قابل تحمل است .

2- اگر به عنوان مثال چند موتور با هم شروع به کار کنند جریان راه اندازی آنها ممکن است از حد ظرفیت فیدر بیشتر شود، در نتیجه وسایل حفاظتی عمل نموده و منبع تغذیه را قطع می کنند .

3- جریان راه اندازی زیاد در موتور های بزرگ به خاطر زیاد بودن ممان ایلرسی مدت بیشتری نسبت به موتور های کوچک ادامه خواهد یافت . معمولاً جریان راه اندازی در حدود 6 یا 7 برابر جریان زیاد بار موتور هاست. عبور این جریان زیاد برای هر مدتی که باشد باعث ایجاد حرارت در سیم پیچ ها میشود و ممکن است عایق بندی آنها را که از آسیب پذیرترین قسمت های این نوع ماشین ها است خراب کند.

به منظور رفع عیب حاصل از جریانهای هجوی بالا بایستی جریان را با کاهش ولتاژ اعمال شده به موتور و یا افزایش امپدانس به مدار برای مدت کوتاه راه اندازی، محدود کرد.

به طور کلی روش های راه اندازی عبارتند از:

1- راه اندازی با اتصال مستقیم به خط

2- راه اندازی با اتصال مقاومت استاتور

3- راه اندازی با اتصال اتو ترانسفور ماتور

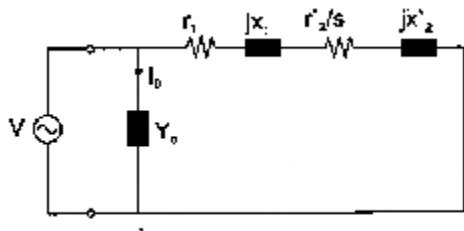
4- راه اندازی با اتصال ستاره - مثلث

5- راه اندازی با اتصال با موتور القایی قفس سنجابی (تغییر شکل هادی های روتور یا رو. تور دو قفسی)

6- راه اندازی با اتصال با مقاومت روتور

7- راه اندازی با اتصال با کنترل الکترونیک قدرت

روش های راه اندازی 1 تا 6 روش های معمولی است که میتوان آنها را در کتابهای ماشین های الکتریکی به تفصیل مطالعه کرد . از ادوات الکترونیک قدرت میتوان برای کاهش جریان راه اندازی و افزایش گشتاور راه اندازی استفاده نمود.

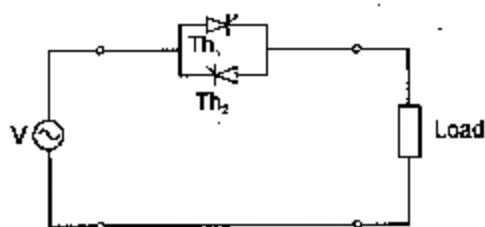


شکل (1) مدار معادل موتور القایی

3- راه اندازی تریستوری:

شکل (1)

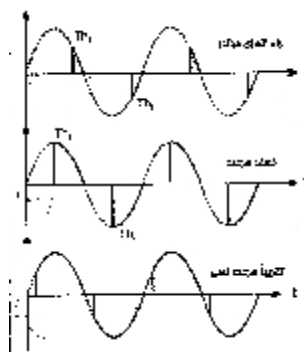
یک موتور القایی که احتیاج به وسایل مخصوص راه اندازی ندارد و جریان راه اندازی آن به شش یا هفت برابر جریان بار کامل نمی رسد دارای ایده آل ترین وضعیت است کاربرد مدارهای تریستوری در جریانهای زیاد و کوتاه مدت با آنکه میتواند جریان ها را تا حد قابل قبولی محدود سازد، ولی غیر اقتصادی است. سیستمی که احتیاج به وسایل راه اندازی اضافه نداشته باشد سیستمی است که کنترل سرعت در یک گستره وسیع محتاج است بنابراین کار بر یک اینورتر فرکانس متغیر ضرورت خواهد داشت . در موقع راه اندازی، فرکانس را در کمترین حد ممکن تنظیم میکنند. و چون سرعت متناسب با فرکانس است سرعت سنکرون نیز کم می شود. کنترل افزایش فرکانس باعث تنظیم سرعت چرخشی می شود و خیزهای جریان را محدود می کند . در هر حال، اگر موتور القایی برای محرک های سرعت ثابت مورد استفاده قرار گرفته باشد یک کلید تریستور ساده میتواند به سادگی راه اندازی را کنترل کند.



شکل (2) تنظیم کننده ولتاژ متناوب تک فاز را برای راه اندازی موتور القایی.

چون تریستور در یک جهت جریان را از خود عبور می دهد لذا دو تریستور با اتصال موازی معکوس برای عبور جریان در دو جهت مختلف به کار برده شده است، ولتاژ ورودی مدار ثابت است ، ولی ولتاژ خروجی با کنترل مدت زمان هدایت تریستور ها قابل تنظیم خواهد بود .

فرمان روشن شدن تریستور طبق شکل (3) در نقاط قابل تنظیمی از سیکل موج ورودی به گیت اعمال می شود این روش فرمان و تنظیم ولتاژ را روش کنترل فاز می نامند . زاویه آتش - تریستورها از 180 درجه شروع به کاهش پیدا می کند تا ولتاژ کمتری برای راه اندازی به موتور اعمال شود، در سرعت کامل موتور موقعی که ولتاژ پایانه های موتور به مقدار نامی برسد به صفر درجه می گراید وظیفه اصلی این کلید تریستوری محدود کردن جریان توسط کنترل مقدار موثر ولتاژ اصلی است.

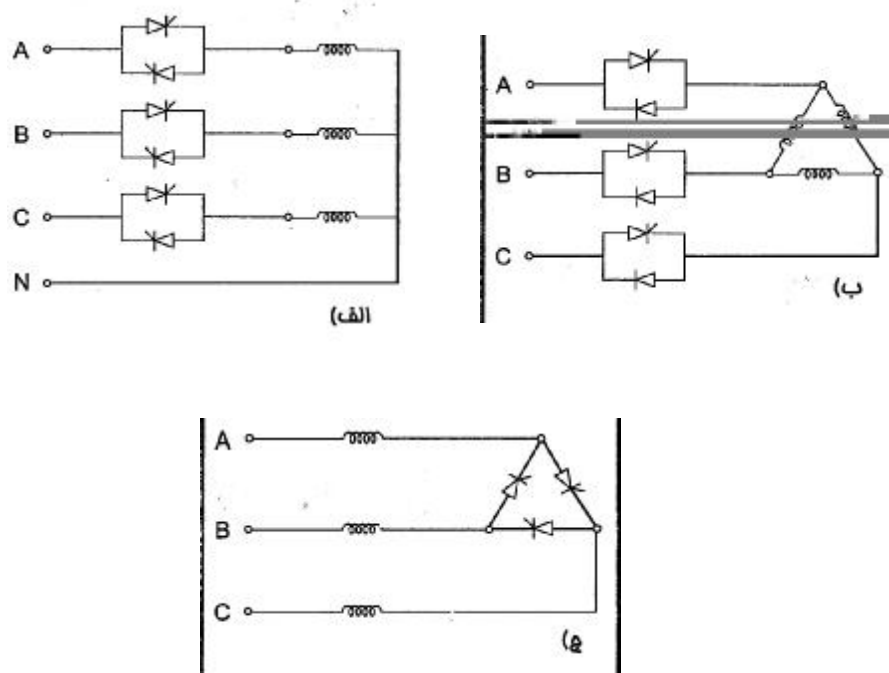


شکل (3) - بعضی از مدارهای سه فاز کنترل ولتاژ با روش کنترل فاز

در شکل (4) نشان داده شده است . برای سیستم سه فاز چهار سیمه ، تریستورهای اتصال موازی معکوس مورد نیاز است ولی برای سیستم سه فاز سه سیمه ، دیودها میتوانند جایگزین یکی از زوج تریستور ها شوند. بنا بر این فقط سه تریستور مورد استفاده قرار خواهد گرفت .

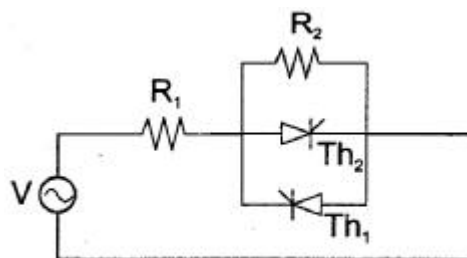
زوج تریستور های دارای اتصال موازی معکوس را می توان به صورت یک امپرانس متغیر در نظر گرفت . امپدانس آنها موقعی که زاویه آتش از صفر به 180 درجه تغییر می یابد به ترتیب از صفر تا بی نهایت افزایش خواهد یافت این امپرانس های افراطی را میتوان با افزودن عناصر دیگری قابل تنظیم کرد به عنوان مثال در شکل 5 امپرانس معادل مدار را میتوان بین مقادیر  $R_1$  تا  $R_1 + R_2$  به آرامی تغییر داد . این مدار را میتوان به عنوان مقاومت متغیر برای راه اندازی با سیم پیچی استاتور سری کرد و برای کنترل بهتر گشتاور میتوان به

عنوان مقاومت متغیر برای راه اندازی با سیم پیچی استاتور سری کرد و برای کنترل بهتر گشتاور میتوان مدار مشابهی را در مدار روتور موتور القایی قرار داد.



شکل 4- مدارهای کنترل ولتاژ سه فاز

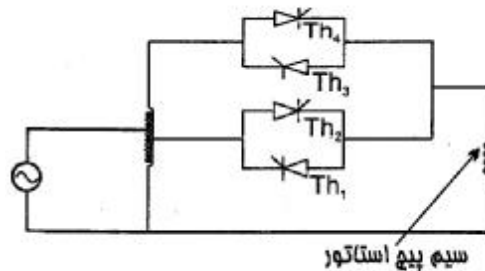
هنگامی که تریستور ها به طور کامل هدایت نمی کنند شکل موج اعوجاج پیدا میکند



شکل (5)- امپدانس غیر خطی متغیر

در صد هارمونیک ها با افزایش زاویه آتش تریستورها افزایش خواهد یافت این هارمیونیک ها بدون افزایش انرژی مکانیکی در بار مصرفی تولید حرارت اضافی خواهند کرد. شیوه هایی که اعوجاج بسیار کمتری به همراه دارد استفاده از تنظیم کننده های کامل اتو ترانسفور ماتور طبق شکل 6 است . راه اندازی موتور القایی در ولتاژ کم با شکل موج سینوسی ، در صورت هدایت کامل تریستورها  $Th_1$  و  $Th_2$  بخوبی انجام پذیر خواهد بود در

سرعت‌های بالاتر ترتیب کلید زنی بایستی طوری باشد که ترستورهای  $Th_3$  و  $Th_4$  را روشن کند ، تا ولتاژ بیشتری به سیم پیچ ها اعمال شود و ترستورهای  $Th_1$  و  $Th_2$  را خاموش کند .



شکل 6 راه اندازی با اتو ترانسفور ماتور

شکل 6 اصول کلی راه اندازی اتو ترانسفور ماتور را نمایش می دهد . دو مثال علمی دو شیوه را مشخص می کند که در آن ترستور در تعویض محل انشعاب ترانسفور ماتور به منظور تنظیم ولتاژ برای راه اندازی موثر است جرقه را در این روش می توان از بین برد . زیرا ترستورها می توانند جریان را از اتصال ها در طی فرآیند قطع و وصل منحرف کنند .

مراجع :

- 1\_power electronic s, ramshaw chapman & halltd
- 2\_petermining electric motor load and efficiency motor .doe.org
- 3\_ <http://www.vacon.com>
- 4\_optimizng your motor –driven system motor .doe.org