

موضوع : موتور بدون جاروبک (BLDCM)

تهیه کننده: محمد رزاقی

درخواست کننده: شرکت الکترو مگا

زمستان 1396

مقدمه

در حوالی سال 1980 بود که تاثیر یک سری جدید از موتور ها بر زندگی ما شروع شد. امروزه موتور ها در سطح وسیعی در بسیاری از وسایل خانگی از جمله تجهیزات اداری و کامپیوتر های شخصی و ماشین فکس و تهویه مطبوع و جاروبرقی و فریزر ها و... استفاده می شوند.

در حقیقت بسیاری از وسایل الکترونیکی مصرفی با تعداد زیادی موتور تجهیز گردیده است. اگر به اطراف بنگریم در میابیم که اسانسور ها پله های برقی و ماشین های شبیه به اینها از تعداد زیادی موتور بهره میبرند بنابراین زندگی ما به خاطر احاطه شدن از چنین موتور هایی بسیار راحت شده است.

در میان انواع مختلف موتور، استفاده از موتور های بدون جاروبک به صورت بسیار چشمگیری در سال های اخیر در حال افزایش است، حال به بررسی یک نوع از این موتور ها میپردازیم.

استفاده کاربردی

بسیاری از کارها در اصل می‌توانند توسط موتورهای براشلس انجام پذیرند. اما قیمت و کنترل پیچیده جلوی جایگزین شدن کامل موتورهای دارای جاروبک با موتورهای براشلس در نواحی ارزان قیمت را گرفته است. با این حال، موتورهای براشلس در حال حکم‌فرمایی در بسیاری کاربردها، خصوصاً دستگاه‌هایی همچون سخت‌افزارهای کامپیوتر و پخش‌کننده‌های CD و DVD است. پنکه‌های خنک‌کننده کوچک استفاده‌شده در دستگاه‌های الکترونیکی منحصراً توسط موتورهای براشلس به حرکت در می‌آیند. همین‌طور در دستگاه‌هایی که به منبع شهری متصل نیستند و راندمان اهمیت بسیاری دارد و مدت طولانی طول می‌کشد تا باتری دوباره به شارژ متصل شود از این موتورها استفاده می‌شود. موتورهای براشلس کم سرعت و کم توان در دستگاه‌های گرامافون نیز استفاده می‌شوند.

حمل و نقل

موتورهای براشلس پرتوان در وسایل حمل‌ونقل برقی و هیبرید یافت می‌شوند.

گرمایش و تهویه.

مهندسی صنایع

کاربرد موتورهای BLDCM در مهندسی صنایع در درجه اول بر مهندسی تولید یا اتوماسیون صنعتی تمرکز دارد.

سیستم‌های کنترل حرکت

موتورهای BLDCM عموماً به عنوان محرک پمپ، پنکه، درایو دوک‌های نخ‌ریسی (اسپیندل) در سرعت‌های تنظیم‌پذیر و متغیر به کار می‌روند.

مزایای موتورهای براشلس:

از آنجائی که برش وجود ندارد، خوردگی آن هم در این موتورها وجود ندارد.

نیازی به نگرانی برای تمیز کردن برشها و محل اتصالشان وجود ندارد.

اصطکاک برش برای گرفتن سرعت موتور وجود ندارد.

نسبت توان به وزن بسیار بالاتری دارند.

این نوع موتور ها دارای راندمان بالا و عدم نیاز به تعمیر و نگه داری به علت عدم وجود جاروبک و اندازه کوچک و امکان ساخت در طرح های مختلف برای کاربرد های متفاوت و نویز محیطی بسیار کم و فاقد نویز الکتریکی و ثبات بیشتر کنترل در مقایسه با موتور های دیگر است.

انواع براشلس موتورها:

موتور های INRUNNER:

در نوع INRUNNER، آهنرباهای دائمی در قسمت داخلی سیم پیچها قرار داده شده اند. این موتورها ساختمانی بسیار شبیه به موتورهای معمولی دارند با این تفاوت که جای آهنربای دائمی و سیم پیچها عوض شده است.

موتورهای INRUNNER بسیار سریع میچرخند و راندمان بسیار بالاتری نسبت به موتورهای OUTRUNNER دارند.

موتورهای INRUNNER نیاز به استفاده از گیربکس مابین موتور و ملخ دارند تا دور آنها را کاهش داده و قدرت را افزایش بدهد. از این رو با استفاده از گیربکسهای مختلف بر روی این موتورها میتوان به قدرت و سرعت دلخواه برای نیازهای مختلف و مدلهای مختلف رسید. نکته منفی در مورد موتورهای INRUNNER این است که افزودن قطعات اضافی (گیربکس) میتواند احتمال خرابی و از کار افتادن موتور را افزایش دهد.

موتور های OTRUNNER :

در نوع OTRUNNER، آهنرباهای دائمی در قسمت بیرونی قرار گرفته اند. کاسه بیرونی موتور که محور موتور به آن متصل است، آهنرباهای دائمی را بر روی خود نصب دارد. موتورهای OTRUNNER بسیار کندتر از موتورهای INRUNNER میچرخند و گشتاور بسیار بیشتری هم ایجاد میکنند. بزرگترین حسن این موتورها این است که در واقع نیازی به گیربکس ندارند.

. راندمان موتورهای OTRUNNER در مقایسه با INRUNNER پایینتر است.

نحوه ی عملکرد:

معنی براشلس Brushless یعنی چه؟

در موتور های DC براش یعنی جاروبک و وظیفه ی جاروبک ها تأمین جریان برای آرمیچرها است که در موتورهای اولیه از جنس نوعی الیاف ذغالی بودند که البته با توسعه موتورها دیگر از آنها استفاده نمی شود! و به جای آنها قطعه ای فلزی از جنس پلاتینیوم و کموتاتور آنها از نوعی آلیاژ طلا گرفته است که البته به علت هزینه ی بالای اینگونه موتورها، فقط در موتورهای DC کوچک و سروو موتورها مورد استفاده قرار می گیرد.) چون قطعات مورد استفاده کوچک هستند.

البته مشکل براش های ذغالی این بوده است که هم زود ساییده می شد و از کار می افتاد و نیز دارای افت ولتاژ زیادی در حدود 1 یا 2 ولت در دوسر ذغال ها بود، گرچه با اضافه کردن ذرات مسی در ذغال حدود 0.3 ولت کاهش می یابد اما همین موضوع سبب تولید نویز زیاد و ساییدگی زودتر براش ها می شد.

پس مشکلات موتورهای DC برآش را در موارد زیر خلاصه می کنیم:

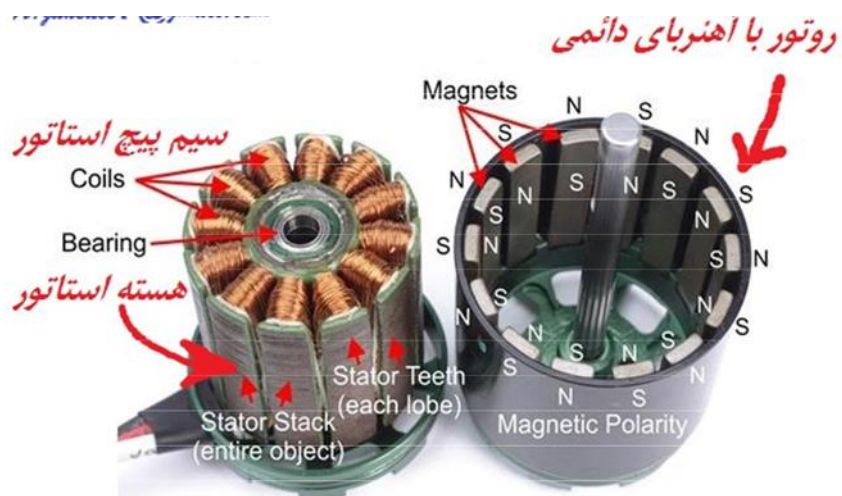
- 1- عمر محدود (به علت ساییده شدن و از کار افتادن زود هنگام)
- 2- اتصال معیوب چون برآش ها با فشار ثابت به کموتاتورها متصل می شود، ممکن است برآش علت های پیش بینی نشده این اتصال از بین برود و این عدم اتصال ممکن است سبب ایجاد جرقه های شدید شده و نیز ممکن است موتور راه اندازی نشود.
- 3 - حجیم بودن برآش ها و کموتاتورها فضای زیادی از موتورهای DC را تشکیل می دهند و حذف این قطعات سبب کاهش اندازه موتور و طراحی موتورهای متفاوتی شود.
- 4- منبع نویزهای الکتریکی و محیطی

حال سوال این است به جای برآش ها و کموتاتور چه چیزی جایگزین شده است؟؟

در این فرآیند تکنولوژی یک مدارات الکترونیکی جای خود را به جاروبک ها و کموتاتورها داده است، که این مدار چاپی به شکل صفحه دیسک دارای سه C بوده که به عنوان مدار کلیدی یا سنسور مغناطیسی می باشد.

چون اگر قرار است موتور برآشلس به جای موتورهای برآش کار کند باید به نوعی طراحی شود که اصول الکترونیکی و مکانیکی آن رعایت شود، به این ترتیب مدارات موتورهای برآشلس باید دو کار اساسی انجام دهد:

- 1- مکانیسم کلید زنی که در موتورهای DC سبب جریانی متناوب و در نتیجه به حرکت در آمدن آرمیچر میشود
- 2- آهنربای دائمی در موتورهای برآشلس، خود شامل روتور و قسمت دوار بوده که سیم پیچ میدانی (آرمیچر) قسمتی از استاتور را تشکیل می دهد.

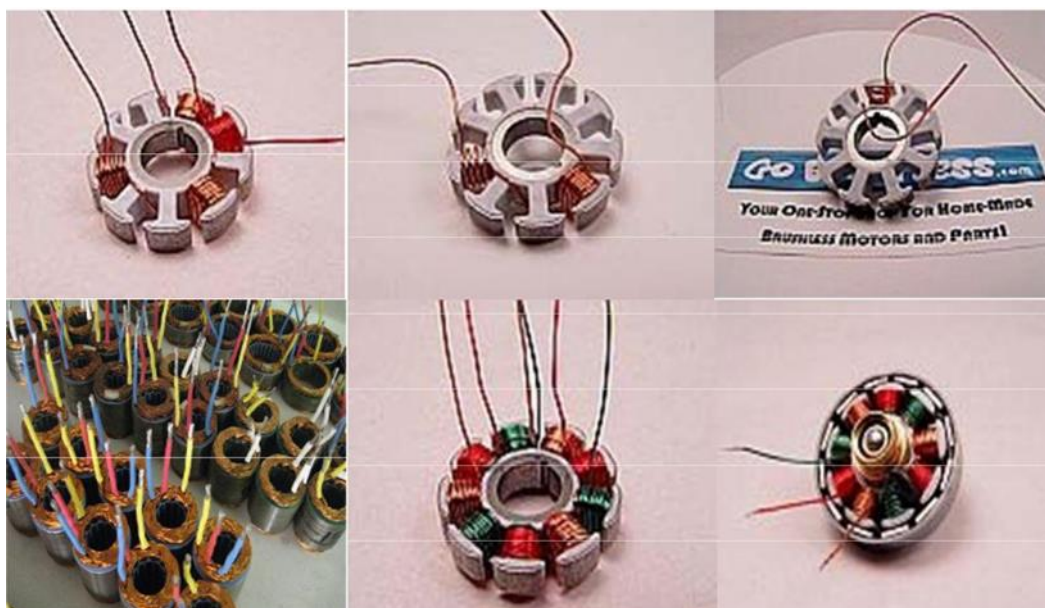


حال برای ساخت استاتور خصوصاً سیم پیچ استاتور دو نوع روش وجود دارد:

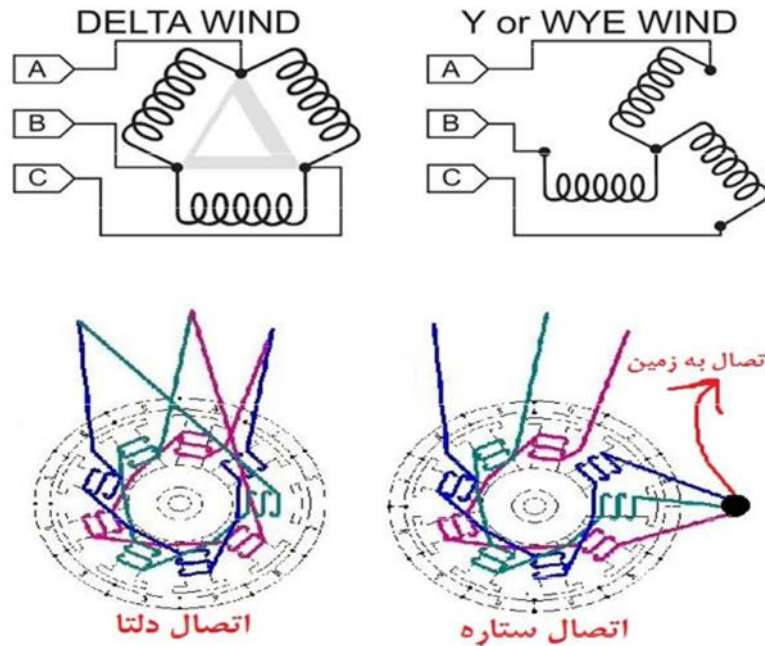
1- اتصال دلتا و یا مثلث

2- اتصال ستاره یا WYE

البته در موتورهای براشلس سه نوع سیم پیچ مجزاکه رنگ های متفاوت دارند استفاده همیشه که اصطلاحاً به سیم پیچ سه فاز معروف هستند.



در شکل زیر دو استاتور را نشان میدهد که دو نوع سیم پیچی متفاوت شده اند:



فرق این دو نوع اتصال در این است که، اتصالستاره ساخت آن به مراتب راحت تره و شرکت های زیادی از این نوع اتصالاستفاده می کنند و برای کارهای صنعتی از جمله هارد دیسک ها CD_ROM ها و غیره...مورد استفاده قرار میگیرد. این نوع اتصال نیازی به سنسور تعیین مکان نداره و اصلاًحاً به آن براشلس های بدون سنسور می گویند(Sensorless brushless)

و همچنین این نوع اتصال جریان کمتری استفاده کرده و در عین حال گشتاور بیشتری تولید می کند و همچنین نزدیک به 1.7دور کمتری در سیم پیچی نسبت به مشابه نوع دلتا خود دارد. اما در اتصالدلتا سرعت چرخش روتور آن بالاتر است و همچنین جریان بیشتری می کشد، در نتیجه بهره وری آن بالاتر می رود و می توان در مصارفی که توان بالاتری نیاز دارد از این نوع اتصال استفاده کرد.

در مدارات براشلس ها که در واقع این مدارات جای خود را با براش ها و کموتاتور عوض کردند، روش هایی جایگزین شدند که جریان را به صورت متناوب به استاتور داده و به نوعی نقش براش ها را ایفا می کنند که باعث چرخش روتور می شود، در ادامه به بحث در مورد چگونگی راه اندازی این موتور ها توسط این مدارات میپردازیم.

در مدارات براشلس ها که در واقع این مدارات جای خود را با براش ها و کموتاتور عوض کردند، روش هایی جایگزین شدند که جریان را به صورت متناوب به استاتور داده و به نوعی نقش براش ها را ایفا می کنند که باعث چرخش روتور می شود این مدارها شامل سنسورهای مکان یابی و پاروشهای موقعیت یابی هستند که آنها را نام میبریم:

1- سنسورهای مکانیاب نوری

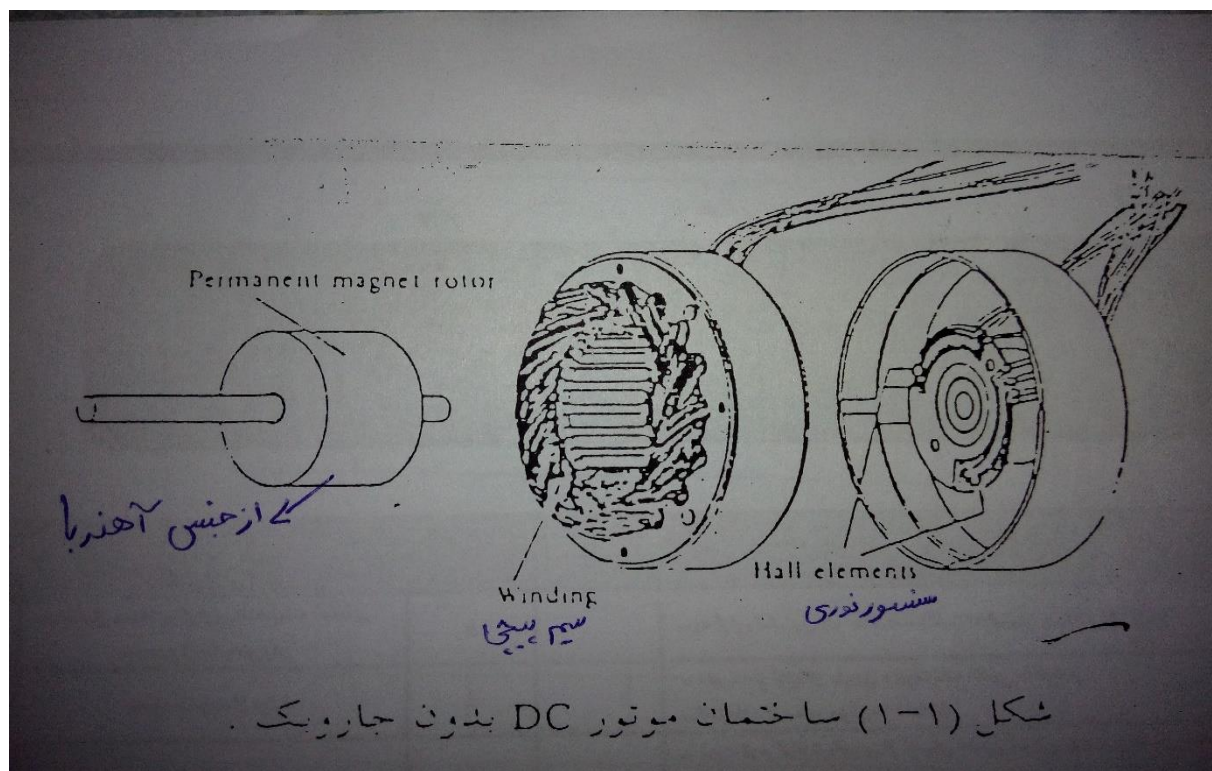
2- برگردان الکترو مکانیک در این روش موتور در هر لحظه مانند مولد عمل کرده و انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و با مدارات خاص خود که اصلاً مدارات برگردان سه فاز (three-phase inverter) می گویند موقعیت روتور را مشخص می کند.

3- استفاده از اجزای سنسورهای هال در جایگزینی براش ها.

شکل 1-1 ساختار یک موتور (BLDCM) را نشان میدهد. در این شکل استاتور همان آرمیچر را تشکیل میدهد و روتور از یک آهنربا تشکیل شده است که جنس آن از فرو مغناطیس است، سیم پیچی موتور DC بدون جاروبک مشابه سیم پیچی موتور چند فاز است و غالباً به صورت 3 فاز سیم پیچی میشود.

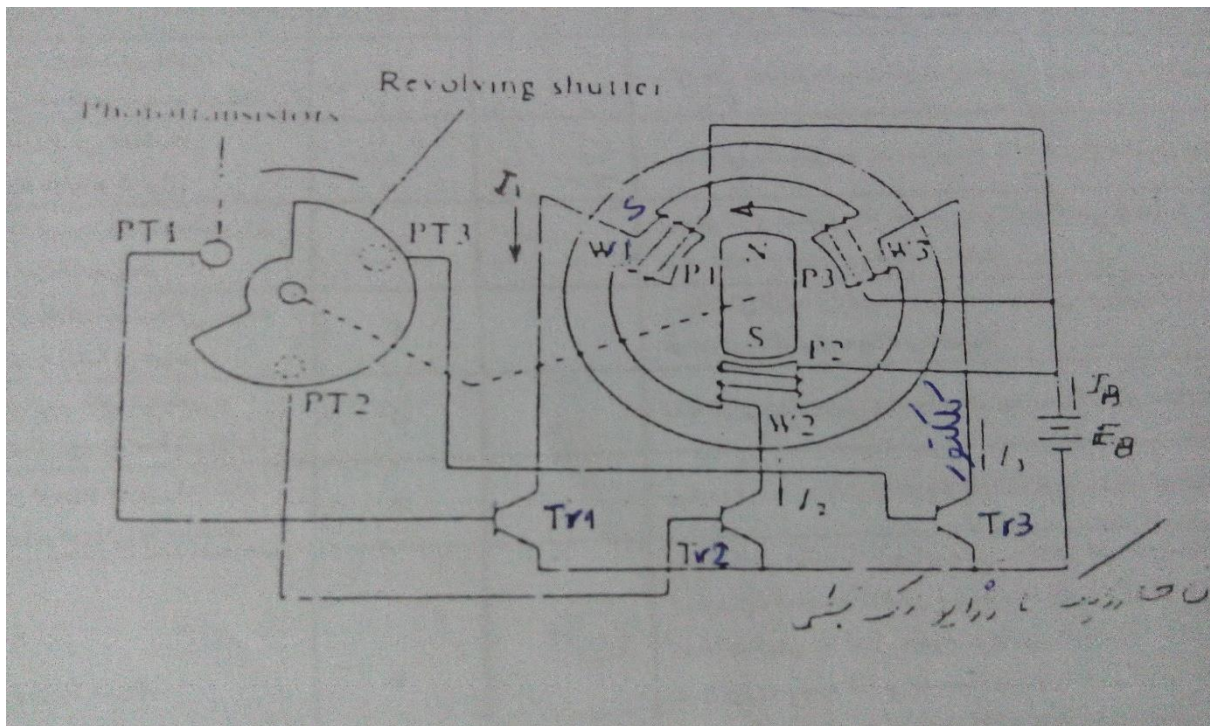
در موتور های BLDCM از تجهیزاتی برای شناسایی موقعیت روتور به منظور تولید سیگنالهای کنترلی روشن و خاموش کردن سویچ های الکترونیکی وجود دارد.

تفاوت BLDCM با موتور های DC معمولی در این است که در این موتورها به جای سیستم کموتاسیون از سویچ های الکترونیکی استفاده میشود. برای تشخیص موقعیت روتور در BLDCM غالباً از سنسورهای اثر هال و در بعضی موارد از سنسور نوری استفاده میکنند.



1- موتور های BLDCM با سنسورهای مکان یاب نوری

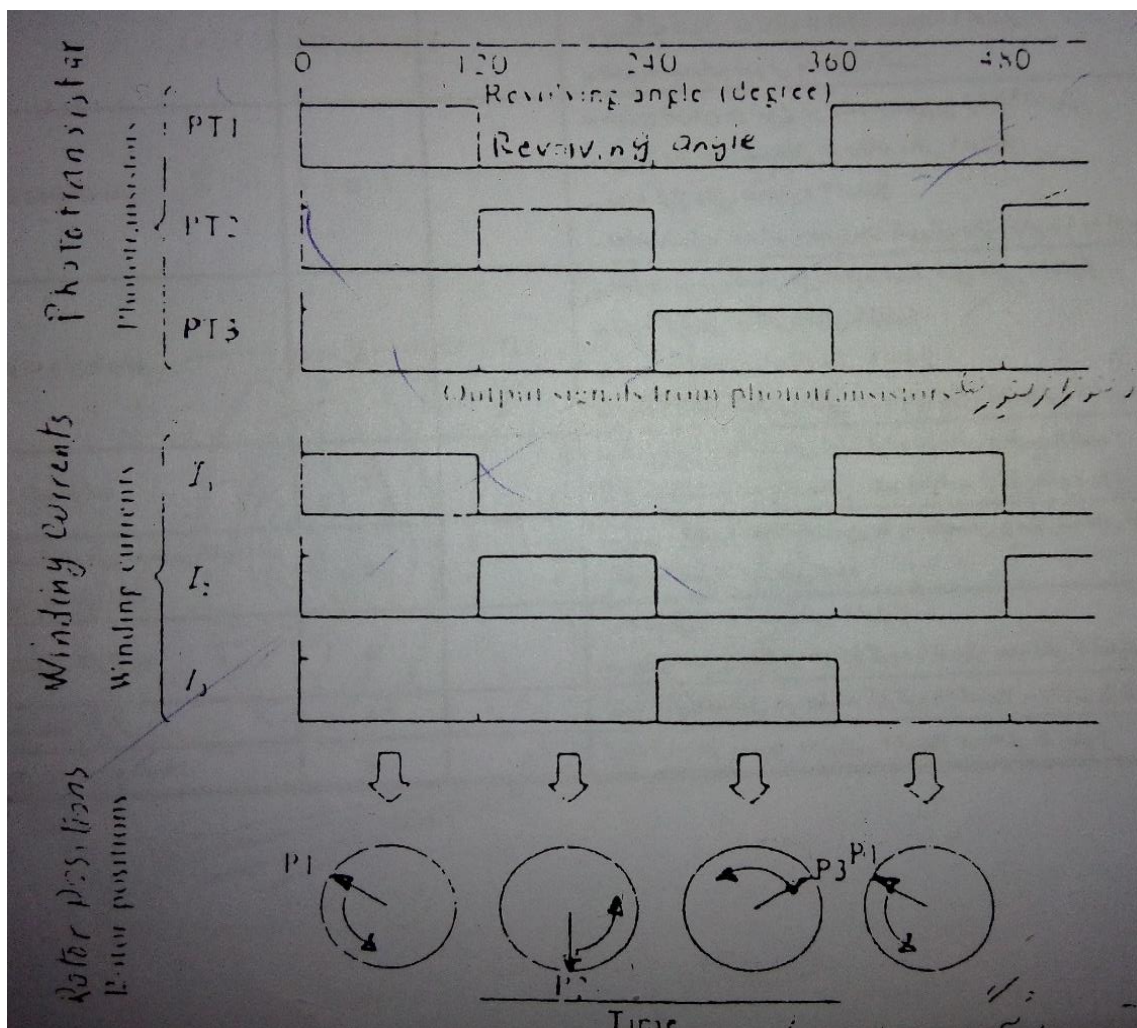
با توجه به شکل 1-2 اصول عملکرد DC یک موتور بدون جاروبک را میتوان بررسی کرد: در این شکل از فتو ترانزیستورها به عنوان آشکار ساز موقعیت روتور استفاده میشود. فتوترانزیستورهای pt1 و pt2 و pt3 در فواصا 120 درجه از هم قرار دارند و از طریق نوری که از شاطر کوپل شده با محور روتور دریافت میکند تحریک میشود.



شکل 1-2 موتور DC بدون جاروبک

همانطور که در شکل 1-2 نشان داده شده قطب S روتور در مقابل قطب p1 استاتور و فتوترانزیستور pt1 نور را آشکار میکند، در نتیجه ترانزیستور tr1 روشن میشود به محض روشن شدن tr1 جریان از سیم پیچ W1 عبور میکند بنا براین قطب P1 بوجود می آید که به صورت قطب S خواهد بود و لذا قطب N روتور را جذب میکند و باعث حرکت روتور در جهت فلش نشان داده شده در شکل میشود، وقتی روتور حرکت میکند شاطر کوپل شده نیز حرکت میکند و فتو ترانزیستور pt1 در تاریکی قرار میگیرد و tr1 خاموش میگردد ولی در عوض فتو

ترانزیستور pt2 در روشنایی قرار میگیرد و لذا tr2 روشن میگردد و جریان از W2 استاتور عبور میکند و قطب S دیگری بوجود می آید که این قطب، قطب N روتور را جذب نموده و سبب گرایش روتور در جهت فلش نشان داده شده در شکل خواهد شد. چنانچه فتو ترانزیستور pt2 در تاریکی قرار گیرد فتو ترانزیستور pt3 در روشنایی قرار میگیرد و جریان از W3 میگذرد و قطب P3 بوجود می آید که به صورت قطب S خواهد بود و مجددا باعث می شود روتور در جهت معین حرکت کند با تکرار عملیات سویچینگ روتور به طور پیوسته حرکت خواهد کرد، سیگنال کامل عمل سویچینگ و جهت میدان مغناطیسی استاتور در شکل 3-1 نشان داده شده است.



شکل 1-3 تحریک سویچینگ میدان مغناطیسی استاتور در BLDCM

نحوه معکوس کردن جهت دوران:

به منظور تعویض دور در موتورهای DC معمولی میتوان پلاریته ولتاژ را عوض کرد اما در موتورهای DC بدون جاروبک این کار عملی نیست زیرا المانهای نیمه هادی سویچها یک جهت هستند و قادر نیستند جریان را در جهت معکوس از خود عبور دهند. در شکل 1-3 اتصالات بین ترانزیستورهای pt1 و pt2 و pt3 با ترانزیستورهای tr1 و tr2 و tr3 به صورت زیر است.

Pt1 به tr1 برای کنترل جریان سیم پیچی W1

Pt2 به tr2 برای کنترل جریان سیم پیچی W2

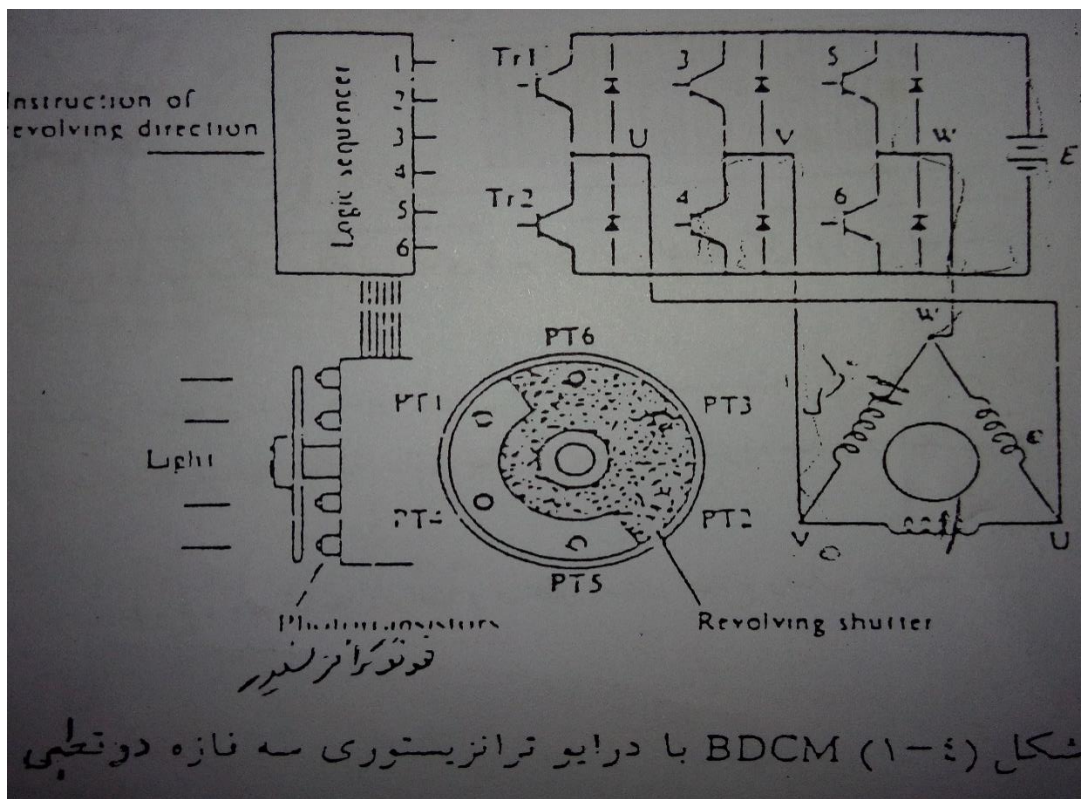
Pt3 به tr3 برای کنترل جریان سیم پیچی W3

این اتصالات باعث میشود موتور در خلاف جهت عقربه ساعت دوران کند .

2-موتور BLDCM با درایو ترانزیستوری سه فازه:

وقتی که یک موتور با یک مدار پل سه فازه درایو میشود راندمان که عبارت است از قدرت خروجی مکانیکی به قدرت الکتریکی بالا، از آنجایی که در این درایوها جریان میتواند به صورت متناوب از سیم پیچها عبور کند این درایو ها به درایو های دو قطبه معروفند.

مفهوم دو قطبه در اینجا این است که سیم پیچ استاتور هم میتواند بصورت قطب N و هم به صورت قطب S تحریک شود. شکل 1-4 چنین مداری را نشان میدهد. در این موتورها نیز همانند محرکهای تک قطبه از روش نوری برای آشکار کردن موقعیت روتور استفاده میشود همانطور که در شکل دیده میشود شش فتو ترانزیستور در روی صفحه ای با فواصل مساوی تعبیه شده است و شاطر نیز با محور روتور کوپل است، فتو ترانزیستورها با ترتیب خاص مورد تابش قرار میگیرند در اینجا رابطه بین خاموش و روشن شدن ترانزیستورها باید مشخص شود.



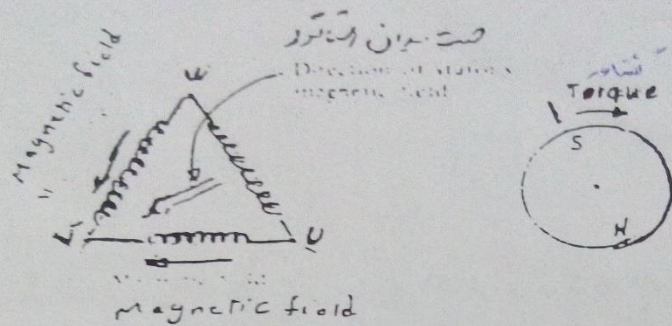
ساده ترین ارتباط عبارتست از اینکه مدار لاجیکی ترتیبی به گونه ای طراحی شود که متناظر با هر فتوترانزیستور که مورد تابش نور قرار میگیرد، ترانزیستور مربوط روشن شود. همانگونه که از شکل 1_4 پیدا است فتوترانزیستورهای PT1 و PT4 و PT5 مورد تابش نور قرار میگیرند، لذا ترانزیستورهای Tr1 و Tr4 و Tr5 روشن خواهند شد. نتیجه ترمینال های W و U دارای ولتاژ باتری و ترمینال V دارای ولتاژ صفر است، در این حالت جریان از ترمینال U به V و همچنین از W به V جاری میشود. شکل 1-5 میدان های مغناطیسی این دو سیم پیچ و همچنین میدان مغناطیسی منتهی را نشان میدهد اگر روتور به گونه ای قرار گیرد که میدان آن بر میدان

منتجه استاتور عمود شود در این وضعیت گشتاوری در جهت عقربه ساعت به روتور اعمال خواهد شد و باعث چرخش روتور در جهت عقربه ساعت میشود

با چرخش 30 درجه روتور فتوترانزیستور pt5 خاموش و pt6 روشن میشود با این تغییر جهت میدان استاتور 60 درجه در جهت عقربه های ساعت تغییر میکند. ملاحظه میشود که به این ترتیب با تغییر جهت میدان برای استاتور و روتور که به طور متناوبی تکرار میشود.

گشتاور ایجاد شده همواره روتور را در جهت عقربه ساعت به حرکت در می آورد و چرخش روتور به طور پیوسته انجام خواهد پذیرفت

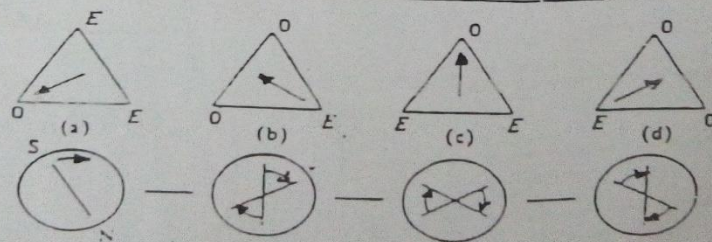
ترتیب روشن و خاموش شدن ترانزیستورها در شکل 6_1 و همچنین جهت میدانهای حاصل نشان داده شده است.



شکل (۱-۵) میدان مغناطیسی استاتور و جهت گشتاور برای موتور شکل (۱-۴) -

محل لایحه

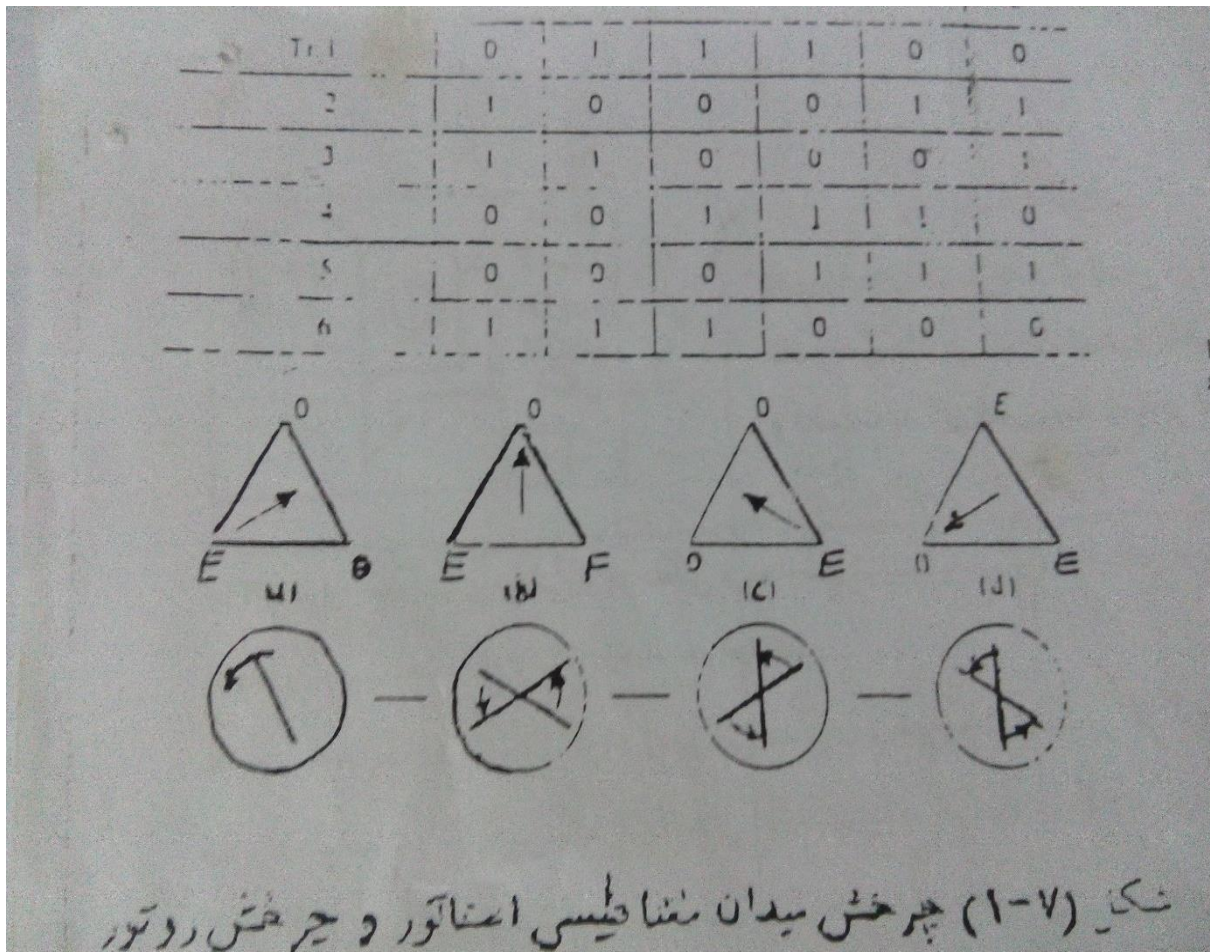
ON-OFF sequence	1	2	3	4	5	6
Tr 1	1	1	1	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1
3	0	0	1	1	1	0
4	1	1	0	0	0	1
5	1	0	0	0	1	1
6	0	1	1	1	0	0



شکل (۱-۶) چرخش میدان مغناطیسی استاتور و چرخش روتور در جهت عقربه‌های -

تغییر جهت چرخش یا جهت دوران:

همانند موتورهای BLDCM تک قطبه تغییر جهت دوران به وسیله ی مدار لاجیکی قابل تغییر است، این مدار باید به گونه ای طراحی شود که هر وقت به فتوترانزیستورهای نور رسید ترانزیستور مربوط خاموش شود. با توجه به شکل 1_4 باید ترانزیستورهای $tr2$ و $tr3$ و $tr6$ روشن شوند در این صورت ولتاژ باطری به ترمینال V اعمال میشود در حالیکه ترمینالهای U و W فاقد ولتاژ هستند. همانطور که در شکل 1_7 نشان داده شده است میدان مغناطیسی استاتور معکوس شده و لذا رتور در خلاف جهت عقربه ساعت دوران خواهد کرد.



شرکت های سازنده الکترو موتورها

از جمله شرکت های سازنده الکترو موتور و از جمله برانشلس موتورها میتوان به شرکت هایی از جمله شرکت جمکو، شرکت رها، شرکت توان رسان، شرکت واپایش، شرکت موتوژن و..... اشاره کرد.

فروشگاه لاند الکترونیک (نمایندگیم محصولات T-Motor):

تهران، خیابان جمهوری، بین سیتیر و حافظ، ساختمان عباسیان، زیرزمین، پلاک 48

فروشگاه محمد الکترونیک:

اصفهان خیابان طالقانی

فروشگاه مدلشاپینگ:

خیابان جمهوری، جنب پل حافظ، پاساژ امجد، طبقه دوم، پلاک 13

یا مراجعه به فروشگاه های اینترنتی زیر:

فروشگاه اینترنتی آرسیایی

فروشگاه رها

فروشگاه تخصصی هواپیما های رادیو کنترل و لوازم جانبی

مراجع

* کتاب ماشین های مخصوص مولفه دکتر محمدرضا فیضی

* ویکیپدیا

* وبلاگ مهندسی کنترل

* ماشین های مخصوص دکتر عظیم سلیمی نیای لاهیجی

* کتاب "موتور های بدون جاروبک - تئوری پیشرفته و کاربرد های مدرن آن - تالیف:
تاکاشی کنجو و شی جی نو بو ناکامورا - ترجمه: مسعود تجلی پور و رامین تجلی پور"

* سایت www.mikrocontroller.com

* سایت www.ulrichradig.de

* سایت www.eca.ir