

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

موضوع پروژه:

# راه اندازی موتورهای رلکتانسی



برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

( شماره پروژه = ۳۷۹ )

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فهرست مطالب

### فصل اول:

مقدمه

۶.....

### فصل دوم:

۱-۲) ساختمان موتور

رلوکتانسی..... ۸

۱-۲-۱) موتور رلوکتانسی و مقایسه ای با ابزار دیگر ..... ۸

۲-۱-۲) ساختمان موتور و اساس کار آن ..... ۱۰

۳-۱-۲) مدار ریاضی و مشخصه های عملیاتی ..... ۱۳

۴-۱-۲) بررسی و مقایسه المانهای سوئیچینگ قدرت ..... ۱۹

۵-۱-۲) کنترل موتور رلوکتانسی ..... ۲۴

۲-۲) مدارهای راه انداز ..... ۲۸

۱-۲-۲) بررسی انواع مختلف مدارهای راه انداز ..... ۲۸

### فصل سوم:

۱-۳) راه انداز جدید رزونانسی موتور رلوکتانسی ..... ۳۸

۲-۳) بررسی ساختاری مدار راه انداز ..... ۴۱

۳-۳) مقایسه کننده های ولتاژ ..... ۴۶

۴-۳) مرکز کنترل و مولد پالس ..... ۴۹

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فصل چهارم :

۴-۱) خلاصه و نتیجه گیری

..... ۶۱

..... پیوستها ۶۳

## ۷۰. فهرست اشکال

شکل ۱-۲ سطح مقطع یک موتور رلوکتانسی



۱۱

شکل ۲-۲ مقطع آرایشهای گوناگون موتور رلوکتانسی



۱۲

شکل ۳-۲ مدار مغناطیسی یک فاز از موتور رلوکتانسی



۱۳

شکل ۴-۲ منحنی شار مغناطیسی بر حسب نیروی محرکه مغناطیسی

۱۴

شکل ۵-۲ مقطع موتور رلوکتانس تک فاز

۱۷

شکل ۶-۲ منحنی اندوکتانس فاز بر حسب موقعیت روتور

۱۸

شکل ۷-۲ نحوه عملکرد موتور رلوکتانسی کنترل شده با جریان در سرعت کم

۲۴

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۲-۸ کموتاسیون موتور ۳ فاز

۲۵

شکل ۲-۹ مد تک پالس

۲۶

شکل ۲-۱۰ سطح مقطع انتهایی موتور رلوکتانس

۲۷

شکل ۲-۱۱ سیگنالهای خروجی تزویج کننده های نوری

۲۸

شکل ۲-۱۲ مدارراه انداز با دو کلید در هر فاز

۳۰

شکل ۲-۱۳ مدار راه انداز دارای  $n + 1$  کلید

۳۱

شکل ۲-۱۴ مدار C-dump

۳۲

شکل ۲-۱۵ مدار C - dump رزونانسی

۳۴

شکل ۲-۱۶ یک فاز مدار Bifilar

۳۵

شکل ۳-۱ مدار RLC سری

۳۹

۴۰

شکل ۳-۲ نحوه تغییرات ولتاژ و جریان خازن با اعمال ولتاژ DC

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۳-۳ شکل ابتدایی مدار راه انداز

۴۲

شکل ۳-۴ مدار راه انداز جدید

۴۳

شکل ۳-۵ تغییرات گشتاور موتور و پالسهای خروجی سنسورهای تشخیص موقعیت روتور

شکل ۳-۶ نحوه اتصال آپمپها به مدار درایور

۴۶

۴۷

شکل ۳-۷ تغییرات خروجی اپمپ و ولتاژ سینوسی اعمال شده به ورودی آن

شکل ۳-۸ نمایش شکل موجهای شارژ و دشارژ خازن 100uf

۴۸

شکل ۳-۹ نمایش شکل موجهای شارژ و دشارژ خازن 220uf

۵۱

شکل ۳-۱۰ نمایش شکل موجهای شارژ و دشارژ خازن 1200uf

۵۱

شکل ۳-۱۱ نمایش تاثیر تغییرات اندوکتانس فاز موتور در شکل جریان خازن

۵۲

شکل ۳-۱۲ نمایش تغییرات جریان خازن در هنگام شارژ

۵۳

شکل ۳-۱۳ پالسهای اعمالی به گیتهای M1 و M3 و نمایش جریان خازن

۵۳

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۳-۱۴ منحنی شارژ و دشارژ عملی خازن

۵۴

شکل ۳-۱۵ نمایش اتصالات داخلی مدار برای یک فاز

۵۵

شکل ۳-۱۶ نمایش نحوه اتصال سه فاز درایور

۵۸

شکل ۳-۱۷ نمایش کامل مدار درایور برای سه فاز موتور

۵۹

۶۲

شکل ۴-۱ نمای کلی مدار ساخته شده



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## چکیده

موتورهای رلوکتانس سوئیچی بدلیل هزینه اندک ساخت و ساختمان ساده خود ، همچنین قدرت تحمل خطای بالا و امکان کار در درجه حرارتهای زیاد، در دهه اخیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته اند . عدم وجود هر گونه سیم پیچی بر روی روتور و در نتیجه سبکتر شدن وزن آن، و قابلیت دستیابی به سرعتهای بالا از ویژگیهای منحصر به فرد این موتور می باشند . نداشتن سیم پیچ بر روی روتور و یا عبور نکردن هیچ جریانی از روتور این موتور را بی نیاز به استفاده از جاروبک و کموتاتور نموده و این بدین معنی است که موتور رلوکتانسی ، از نوع بدون جرقه و یا (Sparkless) می باشد . این موتور بدلیل نداشتن آهنربای دائمی و همچنین هر گونه سیم پیچی بر روی روتور دارای یک ساختمان بسیار ساده و اصطحلاک مکانیکی بسیار کم می باشد که این باعث افزایش طول عمر مفید موتور و همچنین صرفه اقتصادی بهتر آن نسبت به سایر موتورها گردیده است . یکی از مهمترین زمینه های تحقیقاتی در مورد موتورهای رلوکتانس سوئیچی، طراحی راه انداز این موتورها می باشد . بر اساس نوع استفاده از هر راه انداز ، کارائی و هزینه در بر گیرنده آن متفاوت می باشد . تمام راه اندازها مزایا و معایب خاص خود را دارا می باشند . عدم وابستگی فازها به یکدیگر و همچنین جریان تک قطبی در موتور رلوکتانس سوئیچی باعث بوجود آمدن راه اندازهای گوناگون گردیده است که بسیاری از آنها برای کاهش تعداد ادوات سوئیچ و افزایش سرعت کموتاسیون با هم ترکیب گشته اند. هم اکنون راه اندازهای موتور رلوکتانس سوئیچی به چند دسته عمده تقسیم بندی می شوند که تعدادی از آنها عبارتند از :

۱- راه انداز یک سوئیچ در هر فاز (One Switch per phase)

۲- راه انداز C-dump

۳- راه انداز Bifilar



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۴- راه اندازهای رزونانسی

۵- راه انداز کلاسیک Classic و انواع دیگر



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## فصل اول

### مقدمه

اساس کار موتور رلوکتانس سوئیچی روشن و خاموش نمودن صحیح و مناسب قطبهای استاتور ، ایجاد گشتاور مثبت و چرخش روتور می باشد و در نتیجه ضرورت وجود یک راه انداز مناسب برای بکار انداختن این موتور مشهود است . تاکنون راه اندازی که در بر گیرنده کلیه خصوصیات مطلوب این موتور باشد طراحی نگردیده است و این بدین معنی است که هر یک از راه اندازهایی که توسط محققین طراحی و ساخته شده اند در زمینه خاصی نسبت به سایر راه اندازهای موجود دارای برتری می باشند . راه اندازی که طراحی شد و در این پایان نامه به تفصیل در مورد آن بحث خواهیم نمود از لحاظ ساختاری از انواع راه اندازهای رزونانسی می باشد ویژگی اصلی راه اندازهای رزونانسی ، استفاده از پدیده رزونانس برای سرعت بخشیدن به پروسه قطع و وصل جریان در فازها و در نتیجه افزایش سرعت چرخش موتور می باشد . بدین صورت که با افزایش سرعت وصل شدن جریان در فاز به کمک پدیده رزونانس ، زمان اختصاص داده شده به جریان فاز برای رسیدن به مقدار تعیین شده کاهش می یابد . راه انداز مورد بحث نه تنها دارای ویژگی اشاره شده می باشد بلکه خصوصیت دیگر آن قابلیت سوئیچ در جریان صفر است . بدین معنی که عمل شارژ و دشارژ خازن و همچنین سوئیچینگ فازها در لحظه ای که جریان فاز صفر باشد صورت می گیرد که این عمل باعث کاهش تلفات ناشی از سوئیچینگ در جریانهای بالا و کاهش فشار بر روی المانهای سوئیچینگ می شود . به دلیل بهره گیری از پدیده رزونانس در این مدار می توانیم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مدت زمان برقدار بودن یک فاز و در نتیجه گشتاور خروجی کل سیستم را افزایش دهیم و یا به عبارت دیگر می توان فاصله زمانی بین زاویه خاموش شدن فاز در حال کار و زاویه روشن شدن فاز بعدی را اندکی کاهش داد .



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فصل دوم

ساختار موتورهای رلوکتانسی و بررسی انواع راه اندازهای آن

### مقدمه فصل

این فصل به دو قسمت تقسیم بندی شده است. بخش اول که در آن اندکی موتور رلوکتانس سوئیچی را از لحاظ ساختاری بررسی خواهیم نمود و بخش دوم که با انواع راه اندازهای بنیادی موتور رلوکتانس سوئیچی آشنا خواهیم شد و بطور مختصر برتریها و کاستیهای هر یک را خواهیم دید.

### ۱-۲) بررسی ساختاری موتور رلوکتانس سوئیچی

#### ۱-۱-۲) موتور رلوکتانس و مقایسه با ابزارهای دیگر

با اینکه بیش از نیم قرن از مطرح شدن موتور رلوکتانس می گذرد تا سالهای اخیر هنوز به این موتور به شکل جدی نگاه نمی شد. در سالهای حاضر ابزارهای جدید نرم افزاری برای محاسبات و شبیه سازی دقیق میدانهای مغناطیسی و طراحی دقیق موتور رلوکتانس به کار رفته است. پیشرفت های صورت گرفته در الکترونیک صنعتی و ساخت قطعات نیمه هادی جدید (بویژه در فناوری MOSFET) نیز امکان ساخت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مدارهای راه انداز پر قدرت را فراهم ساخته است. در چنین بستری، موتور رلوکتانس کم کم نگاه بیشتری را به خود جلب کرد و فناوری آن با بهره گیری از امکانات موجود پیشرفتهای چشم گیری کرد بطوری که هم اکنون در بسیاری از کاربردها تبدیل به رقیب قدرتمندی برای موتورهای DC و AC شده است. این موتور دارای کاستی های کمی است و خوبیهایش آن را به موتور ایده آل نزدیک کرده است که در زیر آنها را نام می بریم.

۱ - ساختار ساده روتور: روتور این وسیله تنها یک هسته آهنی است و هیچ سیم پیچی در آن وجود ندارد بنابراین ساخت آن بسیار ساده و ارزان قیمت است.

۲ - دمای مجاز بالا برای روتور: به دلیل اینکه روتور در این وسیله سیم پیچی ندارد، عایق بندی در آن بکارنرفته است و از جنس آهنربا نیز نمی باشد، می تواند تا دماهای خیلی بالا گرم شود و به درستی به کار خود ادامه دهد.

۳ - خنک سازی آسان: تمام تلفات مسی که بخش مهمی از تلفات را تشکیل می دهد به استاتور منتقل شده است و چون دسترسی به استاتور وجود دارد میتوان به راحتی آنرا خنک کرد.

۴ - ساده بودن مدار راه انداز: در موتور رلوکتانس برخلاف موتورهای دیگر، جهت جریان گذرنده از قطب مهم نیست چون خاصیت آهنربایی آن مورد نظر است نه قطبیت آن. بنابر این مدار راه انداز این موتور بسیار ساده می شود و می توان با اختصاص دادن تنها یک کلید (از نوع نیمه هادی) به هر قطب، آن را به کار انداخت گرچه در کاربردها معمولاً از تعداد بیشتری کلید استفاده می شود.

۵ - گشتاور راه اندازی بزرگ: موتور رلوکتانس در هنگام راه اندازی دارای گشتاور بزرگی است که با مجذور جریان گذرنده از قطب متناسب است.

۶ - مشخصه های انعطاف پذیر: در ساختار ساده موتور رلوکتانس می توان دگرگونی های بسیاری ایجاد کرد تا مشخصه گشتاور-سرعت آن بطور مطلوب عوض شود و ویژگیهای کاری دلخواه را نشان بدهد.

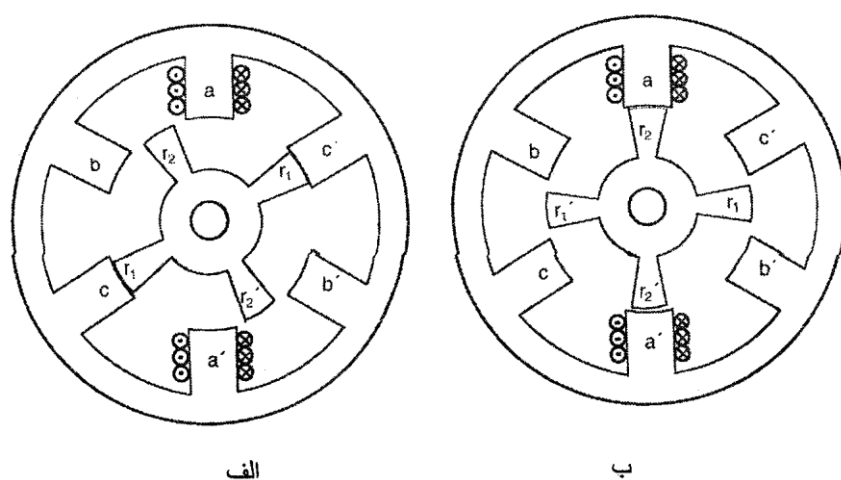
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- ۷ - قابلیت تطبیق با فضای کاری : می توان یک موتور رلوکتانس را در شکل‌های استوانه‌ای و دیسکی با ابعاد متنوع ساخت تا پاسخگوی نیازهای متنوع باشد .
- ۸ - نداشتن جاروبک : چون جاروبک و کوموتاتور در این موتور وجود ندارد قطعات کمتری در معرض استهلاک قرار دارند و نیاز به بازبینی و مراقبت آن کمتر است .
- ۹ - کارکرد بدون جرقه : نداشتن جاروبک این موتور را به یک دستگاه بدون جرقه (Sparkless) تبدیل می کند . بنابراین میتواند به راحتی در محیط‌های صنعتی با مواد آتش گیر که خطر انفجار وجود دارد از آن استفاده کرد .
- ۱۰ - ایمنی بالا برای مدار راه انداز : چون در موتور رلوکتانس جریان می‌تواند همواره از یک سو جاری شود در مدارهای راه انداز آن همواره کلیدها (ترانزیستور به عنوان کلید نیمه هادی) بطور سری با قطب قرار دارند و دیگر خطر اتصال کوتاه ولتاژ مثبت تغذیه به زمین (shoot-through) وجود ندارد .
- ولی گذشته از این نکات مثبت، موتور رلوکتانس دارای یک کاستی بزرگ است :
- ۱۱ - گشتاور این موتور، ضربه‌ای است : یعنی بجای اینکه نیروی دورانی یکنواختی بر شفت وارد کند، یک قطار از پالسهای گشتاور بر آن فرود می‌آورد. این ویژگی در بسیاری از کاربردها نامطلوب است .
- برای برطرف کردن این ضعف، تحقیقات زیادی صورت گرفته است و طی آن هم در ساختمان موتور و هم در طراحی مدار راه انداز از تکنیکهای خاصی بهره گرفته شده ، ولی هنوز نتوانسته‌اند از این موتور در تمام سرعتها ، گشتاور یکنواخت با قدرت بالا به دست آورند. شرح کاملتر مزایا و معایب این موتور در [ ۷ ] ، [ ۱ ] آمده است .

۲-۱-۲): ساختمان موتور و اساس کار آن:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

اکنون ساختمان این موتور را شرح می‌دهیم. به شکل 1 - 2 توجه کنید. در اینجا یک طرح ساده از موتور رلوکتانس دیده می‌شود که مقطع قطری را نشان می‌دهد. استوانه‌ای که در وسط شکل است و چهار برجستگی دور آن وجود دارد، روتور است. حلقه‌ای که دورتا دور روتور را احاطه کرده است و دارای برجستگی‌هایی رو به داخل است، استاتور می‌باشد. دور هر کدام از قطبهای استاتور سیم پیچی وجود دارد، ولی برای سادگی شکل تنها سیم پیچ‌های قطب  $a$  و  $a'$  نشان داده شده است.



الف

ب

شکل 1 - 2 سطح مقطع یک موتور رلوکتانس

فرض کنیم در ابتدا، مانند آنچه در شکل 1 - 2 الف دیده می‌شود، قطبهای  $r_1, r_1'$  از روتور با قطبهای  $c, c'$  کمینه است، و اعمال جریان الکتریکی به این قطبها هیچ تغییری در وضعیت قطبها ایجاد نمی‌کند. حالا به قطبهای  $a, a'$  توجه کنیم، اگر یک جریان الکتریکی با جهتی که در شکل نشان داده شده است در این قطبها حرکت کند یک شار مغناطیسی به راه خواهد انداخت که میل دارد نزدیک ترین مسیر را از درون قطعات آهنی طی کند. یعنی به ترتیب از قطب  $a$ ، قطب  $r_2$ ، هسته روتور، قطب  $r_1'$ ، قطب  $a'$  و بدنه استاتور می‌گذرد و به نقطه اول باز می‌گردد تا مسیر خود را ببندد. ولی دقت شود که رلوکتانس این مسیر می‌تواند با تغییر موقعیت روتور، کمتر شود. از آنجا که شار مغناطیسی میل دارد از مسیر کوتاه‌تری جاری شود گشتاوری بر روتور وارد می‌کند که آنرا در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخاند تا قطبهای  $a$  و  $r_2$  هم راستا شوند. به این ترتیب روتور  $30^\circ$  درجه می‌چرخد و به شکل 1 - 2 - ب می‌رسیم. در اینجا با

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

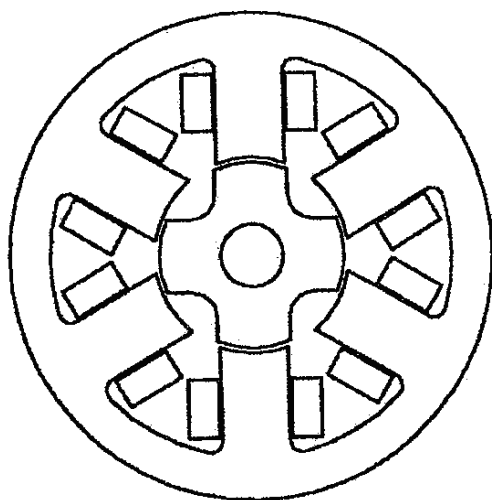
روشن کردن قطبهای  $b$  ,  $b'$  روتور  $30^\circ$  درجه دیگر خواهد چرخید. اگر قطبهای استاتور را با ترتیب  $c$   $b$   $a$  و با زمان بندی درست روشن و خاموش کنیم روتور به دنبال میدان خواهد آمد و بطور ساعتگرد خواهد چرخید. روشن کردن هر قطب ، روتور را  $30^\circ$  درجه می چرخاند ، پس برای یک دور کامل باید  $12$  قطب روشن و خاموش شوند یعنی دوره  $c$   $b$   $a$  باید  $4$  بار تکرار شود. تنها با تغییر دادن ترتیب قطبها یعنی تبدیل آن از  $c$   $b$   $a$  به  $b$   $c$   $a$  می توان جهت چرخش روتور را عوض کرد و آن را بطور پاد ساعتگرد به حرکت در آورد.

موتوری که در بالا شرح داده شد از نوع  $6/4$  است ( $6$  به  $4$  یعنی  $6$  قطب استاتور در برابر  $4$  قطب روتور) و با مبالغه نشان داده شده است ، در عمل این موتور را بصورت شکل  $2-2$  می سازند. انواع دیگری مانند  $8/6$  و  $10/8$  نیز وجود دارند که در این شکل آمده اند. مستطیلهای موجود در دو طرف هر قطب در شکل  $2-2$ ، مقطع سیم پیچهای آن قطب را نشان می دهد.

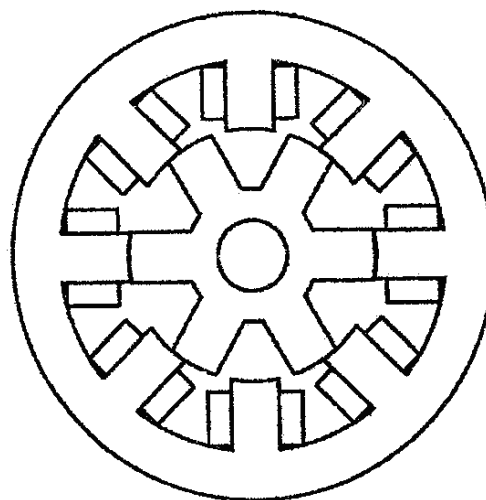




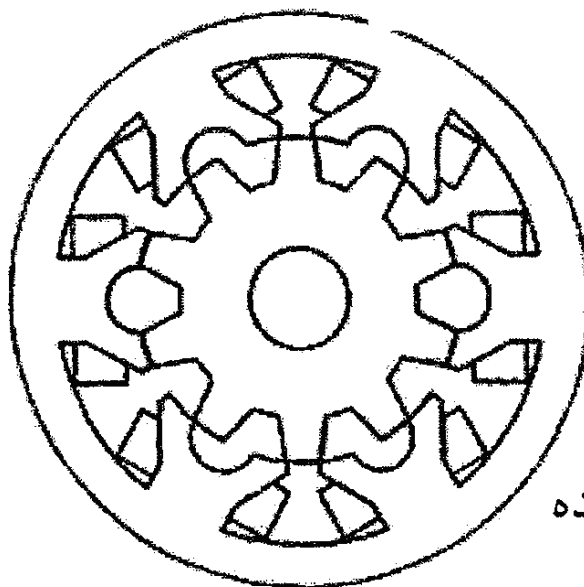
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شش به چهار



هشت به شش



دوازده به ده

شکل 2-2 مقطع آرایشهای گوناگون موتور رلوکتانس

ممکن است چنین به نظر برسد که موتور رلوکتانس همان موتور پله ای است. گرچه این دو موتور از جهاتی شبیه به هم هستند ولی تفاوتی موجود آنها را به دو ابزار متفاوت برای کاربردهای کاملا متمایز تبدیل می کند. از جمله تفاوتی که موتور رلوکتانس با موتور پله ای دارد می توان موارد زیر را برشمرد:

۱ - تعداد قطبهای آن کمتر از موتور پله ای است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۲ - زاویه گامهای آن بسیار بزرگتر است .

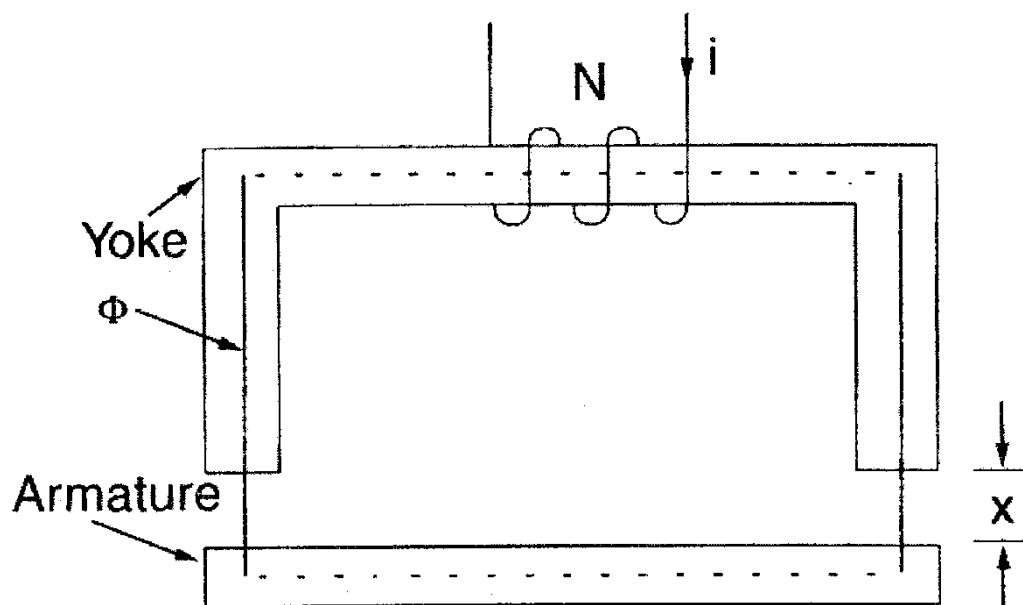
۳ - معمولا در هر قطب یک دندانه دارد .

۴ - برای توانهای بالاتر به کار می رود .

۲-۱-۳): مدار ریاضی و مشخصه های عملیاتی:

اصول ریاضی عملکرد موتور رلوکتانس را با استفاده از یک آهنربای الکتریکی یوقی شکل و یک تیغه

فلزی که در مسیر میدان آن قرار دارد بررسی می کنیم. این آرایش در شکل ۲-۳ آمده است .



شکل 3 - 2 مدار مغناطیسی یک فاز از موتور رلوکتانس

سیم پیچی دارای  $N$  دور است و هنگامی که جریان  $i$  از درون آن می گذرد، شار  $\phi$  را در هسته ایجاد می کند. فرض کنیم که تیغه آهنی ثابت است . با افزایش جریان ، نیروی محرکه مغناطیسی (Magnetic

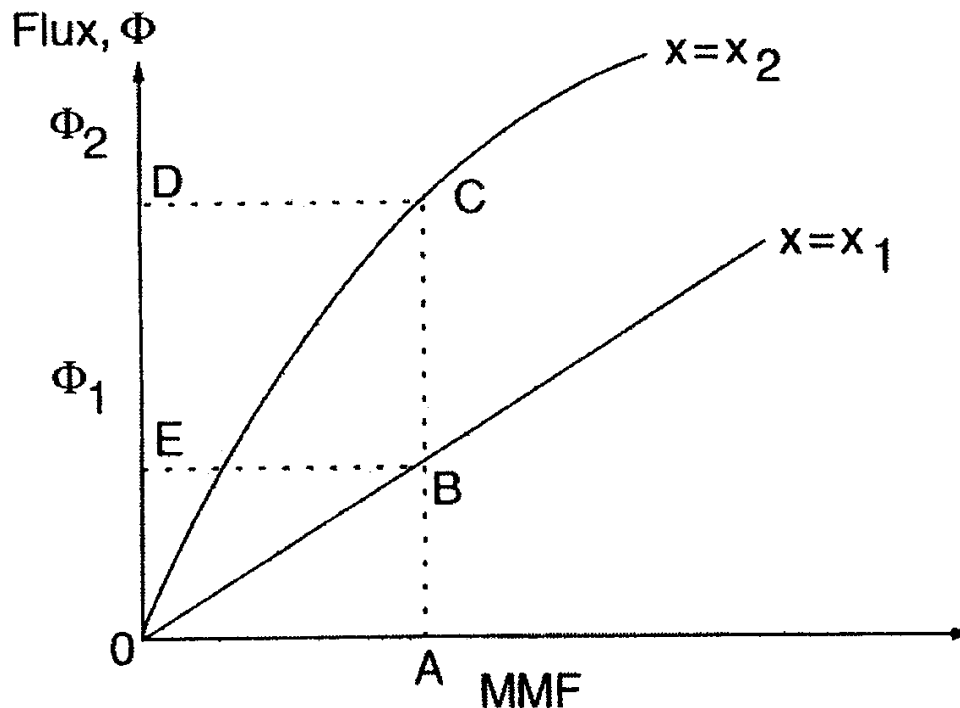
motive Force)  $mmf$  افزایش می یابد و شار بیشتری در هسته جاری می شود . پس انتظار می رود که

منحنی شار بر حسب  $mmf$  یک خط گذرنده از مبدا با شیب مثبت باشد . این منحنی در شکل 2-4 دیده

می شود . در نزدیکی مبدا منحنی بسیار نزدیک به خط راست است ولی با افزایش شار کم کم هسته به

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

سوی اشباع شدن می رود و شیب منحنی کاهش می یابد. دو منحنی رسم شده برای دو فاصله هوایی متفاوت است که در اینجا  $x_1 > x_2$  می باشد. چون شکاف هوایی  $x_1$  بزرگتر است، مقاومت موجود بر سر راه شار مغناطیسی بزرگتر است و منحنی شیب کمتری بالا می رود.



شکل 4-2 منحنی شار مغناطیسی بر حسب نیروی محرکه مغناطیسی

با افزودن جریان و حرکت از مبدا بر روی منحنی انرژی الکتریکی وارد سیستم می شود و به فرم مغناطیسی در آمده، ذخیره می گردد. این انرژی با فرمول زیر محاسبه می شود.

$$W_e = \int e i dt = \int \frac{N d\Phi}{dt} = \int N i d\Phi = \int F d\Phi \quad 2-1$$

که در آن  $e$  نیروی محرکه الکتریکی (emf) القا شده و  $F$  همان mmf است. این انرژی در شکل ۴-

۲ برابر است با مساحت بسته در OBEO و OCDO، اولی برای حالت  $x_1$  و دومی برای حالت  $x_2$ .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تا اینجا فرض بر این بود که تیغه آهنی ثابت است ولی در حقیقت پس از افزایش جریان از یک حدی تیغه به حرکت در می آید و انرژی الکتریکی وارد شده به سیستم به دو بخش می شود. یک بخش آن مانند قبل به شکل میدان مغناطیسی ذخیره می شود و بخش دیگر به شکل کار حقیقی برای حرکت دادن تیغه مصرف می شود. در این حالت هیچ کدام از منحنی های  $x_1$  و  $x_2$  نشان دهنده تغییرات سیستم نیستند چون با حرکت تیغه،  $x$  عوض می شود. برای نشان دادن تغییرات از روابط دیفرانسیلی استفاده می کنیم.

$$\delta W_e = \delta W_f + \delta W_m \quad 2-2$$

برای انجام محاسبات در حالتیکه حرکت مکانیکی داریم فرض می کنیم که نیروی محرکه مغناطیسی در نقطه A ثابت و برابر با  $F_1$  (جریان ثابت) و در اثر نزدیک شدن تیغه به یوق یعنی رفتن از  $x_1$  به  $x_2$ ، شار مغناطیسی از  $\Phi_1$  به  $\Phi_2$  می رود، انرژی ها چنین به دست می آیند:

$$\delta W_e = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} F_1 d\Phi = F_1(\Phi_2 - \Phi_1) = \text{Area}(BCDEB) \quad 2-3$$

$$\delta W_f = W_f | (F_1, x_2) - W_f | (F_1, x_1) = \text{Area}(OCDO) - \text{Area}(OBEO) \quad 2-4$$

با داشتن تغییرات انرژی الکتریکی و انرژی ذخیره شده در میدان، می توانیم تغییرات انرژی مکانیکی را از تفاضل آنها به دست می آوریم:

$$\delta W_m = \delta W_e - \delta W_f = \text{Area}(OBEO) \quad 2-5$$

که این همان سطح محصور بین دو منحنی با یک mmf معین است. اگر سطح بین هر منحنی و محور mmf را کوانرژی ( $W'$ ) بنامیم، کار مکانیکی انجام شده در این فرآیند برابر با تغییرات کوانرژی است. یعنی:

$$\delta W_m = \delta W'_f \quad 2-6$$

که در آن کوانرژی برابر است با:

$$W'_f = \int \Phi dF = \int \Phi d(Ni) = \int (N\Phi) di \quad 2-7$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اگر بجای حرکت خطی ، حرکت چرخشی داشته باشیم می توانیم انرژی مکانیکی را بر حسب گشتاور و زاویه چرخش بیان کنیم :

$$\delta W_m = T_e \delta \theta \quad 2-8$$

که در آن  $T_e$  گشتاور الکترومغناطیسی و  $\delta \theta$  تغییر زاویه روتور است . پس می توان گشتاور را چنین نوشت :

$$T_e = \frac{\delta W_m}{\delta \theta} \quad 2-9$$

با فرض حرکت دورانی و با توجه به اینکه  $\lambda = N\Phi = Li$  از معادله 2-7 داریم :

$$W'_f = \int \lambda(\theta, i) di = \int L(\theta, i) i di \quad 2-10$$

که در آن  $L$  (اندوکتانس) و  $\lambda$  (شارپیوندی) ، تابع موقعیت روتور ( $\theta$ ) و جریان هستند .

و از رابطه 2-6 و 2-9 گشتاور چنین به دست می آید :

$$T_e = \frac{\delta W_m}{\delta \theta} = \frac{\delta W'_f}{\delta \theta} = \frac{\delta W'_f(i, \theta)}{\delta \theta} \Big|_{i = \text{constant}} \quad 2-11$$

و با همان فرض جریان ثابت، می رسیم به :

$$T_e = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \quad 2-12$$

اگر رابطه  $L$  و  $\theta$  خطی باشد ، که معمولاً چنین نیست ، داریم :

$$\frac{dL(\theta, i)}{d\theta} = \frac{L(\theta_2, i) - L(\theta_1, i)}{\theta_2 - \theta_1} \Big|_{i = \text{constant}} \quad 2-13$$

مقدار به دست آمده از این عبارت را می توان با در نظر گرفتن همان تقریب خطی ، ثابت فرض کرد و

آنها در بازه های خاصی از  $\theta$  ثابت است و در جاهای دیگر به شدت تغییر می کند به همین دلیل نمی توان

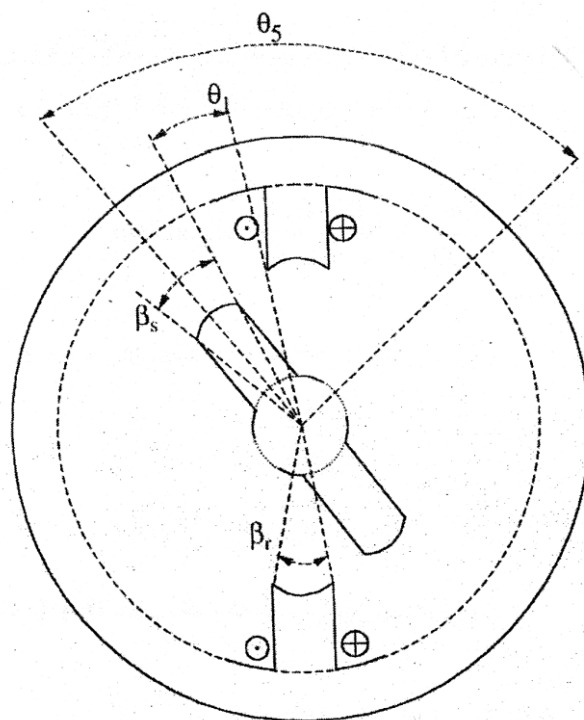
برای موتور رلوکتانس یک مدل ثابت و ساده ارائه کرد (در حقیقت یک مدل برای موتور رلوکتانس متغیر و

تابع زاویه دوران خواهد بود) .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با دقت به معادله 12 - 2 در می یابیم که برای داشتن گشتاور مثبت باید جریان تنها زمانی در قطب جاری شود که اندوکتانس آن در حال زیاد شدن با  $\theta$  است. با بازگشت به شکل 1 - 2 روشن است که این حالت در هنگام نزدیک شدن قطب روتور به قطب استاتور رخ می دهد که در آن مسیر شار مغناطیسی در حال کوتاه شدن است و خاصیت سلفی قطب رو به افزایش است. ولی برای کنترل بهینه موتور باید مشخصه اندوکتانس بر حسب زاویه  $\theta$  را بدست آوریم.

چون در موتور رلوکتانس تزویج مغناطیسی بین قطبها بسیار ناچیز است می توان برای به دست آوردن مشخصه اندوکتانس تنها یک قطب را در نظر گرفت، مانند آنچه در شکل 5 - 2 دیده می شود.

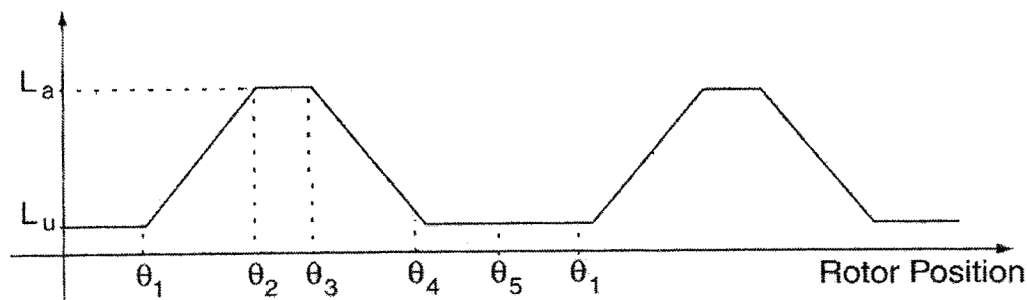


شکل 2-5 مقطع موتور رلوکتانس تک فاز

با توجه به این شکل در می یابیم که مشخصه اندوکتانس دارای 4 ناحیه است. یکی ناحیه ای که قطبهای روتور و استاتور از یکدیگر دورند و اندوکتانس کمینه است. در این حالت چون فاصله هوایی زیاد است و رلوکتانس آن غالب است، اندوکتانس بستگی چندانی به زاویه ندارد. ناحیه بعدی هنگامی است که قطبها در حال قرار گرفتن بر روی یکدیگر هستند و رلوکتانس وابستگی کمتری به شکاف هوایی پیدا می کند و

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

اندوکتانس تقریباً بطور خطی با  $\theta$  افزایش می یابد. پس از آن در بازه ای که قطبها همپوشانی زاویه ای کامل دارند، با تغییرات کوچک زاویه این همپوشانی از بین نمی رود و در پی آن اندوکتانس تقریباً ثابت می شود و در بیشینه قرار می گیرد. ناحیه پایانی جایی است که قطبها کم کم از روی هم کنار می روند و اندوکتانس با افزایش  $\theta$  کم می شود تا به ناحیه یک باز گردد. این بازه ها در شکل ۲-۶ دیده می شوند:



شکل ۲-۶ منحنی اندوکتانس فاز بر حسب موقعیت روتور

زاویه های نشان داده شده در مشخصه اندوکتانس بر حسب کمیت های نشان داده شده در شکل ۲-۵ بدست می آیند:

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{2\pi}{P_r} - (\beta_s + \beta_r) \right] \quad 2-14$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \beta_s \quad 2-15$$

$$\theta_3 = \theta_2 + (\beta_r - \beta_s) \quad 2-16$$

$$\theta_4 = \theta_3 + \beta_s \quad 2-17$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\theta_5 = \theta_4 + \theta_1 = \frac{2\pi}{P_r} \quad 2-18$$

در فرمولهای بالا Pr تعداد قطبهای روتور است و  $\beta_r, \beta_s$  زاویه قطب روتور و استاتور هستند .  
از موتورهای با سرعت متغیر خصوصیتی از قبیل حداقل ریپل در گشتاور خروجی ، خطای اندک در حالت ایستا و تعادل ، داشتن حداقل پیکهای جریان (Overshoot) در هنگام افزایش یا کاهش سرعت ، زمان راه اندازی اندک و حداقل سرعت نوسان ، مورد انتظار می باشد که به سادگی قابل دسترسی نیست بدلیل اینکه برای دستیابی به خصوصیات ذکر شده ، نیازمند مواجه شدن با بسیاری از ویژگیهای غیر خطی موتوری می باشیم . گشتاور الکترومغناطیسی تولید شده توسط موتور SR تابع غیر خطی از جریان استاتور و موقعیت روتور ( $\theta$ ) می باشد . برای داشتن گشتاور مثبت یا حالت موتوری تنها در پیک مثبت افزایش اندوکتانس فاز، باید جریان در فاز جاری باشد در غیر این صورت موتور تولید گشتاور ترمزی نموده و یا هیچ گشتاوری را ایجاد نمی نماید . اندوکتانس فاز استاتور زمانی به ماکزیمم مقدار خود میرسد که قطبهای استاتور و روتور روبروی یکدیگر قرار گرفته باشند و به همین ترتیب زمانی به حداقل مقدار خود می رسد که قطبها هیچگونه همپوشانی نداشته باشند . دقیقا در لحظه شروع افزایش اندوکتانس فاز، جریان استاتور باید وصل شده و در لحظه توقف افزایش اندوکتانس باید قطع گردد .

۲-۱-۴): بررسی و مقایسه المانهای سوئیچینگ قدرت :

یکی از مهمترین عوامل انتخاب کننده نوع موتور و راه انداز برای کاربردهای صنعتی قیمت آن می باشد . موتور رلوكتانس سوئیچی (SRM) یک موتور ساده کم هزینه و مقاوم بوده و در نتیجه برای کاربردهایی که در آن به سرعتهای متفاوتی نیاز است مناسب می باشد [ ۱۰ ] .

بدلیل داشتن راه انداز تقریبا ساده و همچنین سیستم کنترل مناسب و نه چندان پیچیده در مصارف صنعتی موتور رلوكتانس سوئیچی دارای اهمیت قابل توجهی می باشد . البته علی رغم ویژگیهای فوق موتور رلوكتانس آنچنان که باید رشد تدریجی خود را بصورت کامل طی ننموده است . داشتن گشتاور با ریپل بالا



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در هنگام تغییر فاز ، لزوم استفاده از سنسورهای تشخیص موقعیت روتور دقیق و استفاده از راه اندازهای (Converter) مناسب و خاص از عیوب این موتورها محسوب می گردد .

امروزه بدلیل پیشرفت زیادی که در ادوات نیمه هادی صورت گرفته است استفاده از ترانزیستورهای قدرت BJT در مصارف صنعتی با توانهای بالا محدود گردیده است و بجای آن ترانزیستورهای پر قدرت Mosfet و IGBT به بازار عرضه شده اند که انواع مختلفی از آنها می تواند تا  $600A$  را سوئیچ نماید . در این گزینه بدلیل اهمیت ویژه ای که انتخاب نوع سوئیچ بر اساس نوع موتور و سرعت مورد نظر دارا می باشد مقایسه ای بین دو سوئیچ قدرتمند موجود در بازار یعنی Power Mosfet و IGBT صورت گرفته و با شناخت نسبی که نسبت به این دو حاصل می شود انتخاب نوع سوئیچ آگاهانه تر صورت می پذیرد .

هدف از کنترل سرعت موتور ، کنترل نمودن سرعت ، جهت چرخش و یا موقعیت محور موتور می باشد برای اینکار باید نوعی مدولاسیون بر روی ولتاژ اعمالی به موتور صورت گیرد . بدین ترتیب که با کنترل زمان خاموش و روشن نمودن سوئیچهای قدرت ، می توان ولتاژ اعمال شده به موتور را در جهت تغییرات سرعت و یا موقعیت محور موتور تغییر داد .

کنترل کننده زمان سوئیچینگ جریان باید بداند که جریان در سیم پیچهای فاز دقیقا در لحظه افزایش اندوکتانس به مقدار مرجع خود رسیده وبه همین ترتیب در لحظه توقف آن به مقدار صفر برگردانده شود . بدلیل زمانی که برای افزایش و کاهش جریان تا مقدار مرجع نیاز داریم قبل از رسیدن روتور به موقعیت هم پوشانی (  $\theta$  ) خاص ، باید جریان در فاز برقرار گردد . به آن زاویه ای که در آن جریان در فاز جاری می شود زاویه روشن شدن (turn-on angle) و همچنین به آن زاویه ای که جریان از فاز قطع می شود زاویه - خاموش شدن (turn-off angle) اطلاق می شود که اندازه این زوایا به سرعت موتور تعداد قطبهای استاتور در روتور و جریان مرجع بستگی دارد .

مبدلهایی که برای راه اندازی موتورهای الکتریکی مورد استفاده قرار میگیرد باید قدرت تأمین جریان بالا و همچنین تحمل ولتاژ بالا بدلیل وجود خاصیت سلفی فاز و القای ولتاژ بالا را داشته باشند .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

یکی از عمده ترین قسمتهایی که در این راه اندازها نقش اساسی را بر عهده دارند سوئیچها می باشند و

برای IGBT داریم :

جریان میانگین کلکتور - امیتر  $I_{ave}$  : ولتاژ کلکتور - امیتر در حالت اشباع  $V_{CE} - SAT =$

با نگاهی به معادلات اتلاف در این دو ترانزیستور می توان جمله  $I^2$  از معادله مسافت را مهمترین و

اصلی ترین عامل اختلاف این دو دانست . بدلیل داشتن توان ۲ برای جلوگیری از اتلاف توان بیش از حد ،

مقاومت  $R_{DS} - on$  مسافت باید مقدار بسیار کمی داشته باشد . در ولتاژهای پایین امکان رسیدن به

مقاومت  $R_{DS} - on$  که در حد چند دهم اهم است امکانپذیر می باشد ولی با افزایش ولتاژ تا ۲۵۰V یا

بیشتر  $R_{DS}$  نمی تواند تا آن اندازه لازم کوچک باشد و باعث ایجاد توان تلفاتی زیاد می گردد .

نکته قابل توجه دیگر در بررسی دو ترانزیستور می تواند وابستگی  $R_{DS} - on$  به درجه حرارت در

مقابل وابستگی  $V_{CE} - Sat$  به درجه حرارت باشد . با افزایش درجه حرارت  $R_{DS} - on$  مسافت

تمایل به افزایش دارد حال آنکه  $V_{CE} - sat$  در IGBT (بجز در جریان بالا) کاهش می یابد و این یعنی

افزایش تلفات توان در مسافت و کاهش تلفات در IGBT . در تعیین نوع المان سوئیچینگ قدرت باید به

برخی از نکته های حیاتی توجه خاص نمود . در جدول شماره ۱ مقایسه ای بین توان ، ولتاژ اعمالی ، جریان

راه اندازی ، بهره و ... در چند دسته از موتورها صورت گرفته است. نکته ای که در اینجا باید توجه نمود

اینست که جریان راه اندازی برای برخی موتورها به چندین برابر جریان حالت تعادل موتور می رسد که

نقش ویژه ای در انتخاب نوع المان سوئیچینگ بر عهده دارد .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نوع موتور	توان اسب بخار	ولتاژ ورودی	میزان جریان در بار کامل	بازده	گشتاور Lb*ft	سرعت در بار کامل
DC بدون جاروبک	.54	۴۸ ولت DC	۸,۷A	۸۷	.53	5000
DC با جاروبک	.4	60 ولت	6 A	۸۴	.7	4000
استپر (پله ای)	.01	۲۴ ولت	0.3 A	۶۵	.1	300 to 600
رلوکتانسی	1.20	۲۴ ولت	37.5 A	۹۴	1.8	15000
AC القایی	2.00	۲۳۰ ولت AC	10.0 A	۷۹	3	3450

جدول شماره ۱

ماسفتها و IGBT ها بر خلاف ترانزیستورهای BJT با ولتاژ کنترل می شوند که این باعث ساده تر شدن

کنترل این ترانزیستورها می شود .

مشابهاتی که بین این دو نوع ترانزیستور وجود دارد فقط به روشن شدن و خاموش شدن بر طبق میزان

ولتاژ اعمالی برگیت آندو خلاصه می گردد . اختلاف عمده بین ایندو اینست که ماسفت یک کانال مقاومتی

است بین درین - سورس در حالیکه IGBT یک پیوند PN است از کلکتور به امیتر که این باعث وجود

اختلاف در میزان اتلاف توان در حالت روشن بودن می گردد .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

توان اتلافی در ماسفت به این صورت تعریف می گردد :

$$P_{loss} = I_{rms}^2 * R_{DS-on} \quad R_{DS-on} = \text{مقاومت بین درین - سورس}$$

ترانزیستور در حالت روشن شدن

$$I_{rms} = \text{جریان درین - سورس}$$

توان اتلافی در IGBT عبارتست از:

$$P_{loss} = I_{av} \times V_{CE-SAT}$$

$$V_{CE-SAT} = \text{ولتاژ اشباع کلکتور - امیتر}$$

$$I_{av} = \text{جریان میانگین از کلکتور به امیتر}$$

از طرف دیگر در بعضی از کاربردهای ولتاژ بالا که نیاز به سرعت سوئیچینگ بالا دارند اتلاف توان در

هنگام سوئیچ کردن می توان از اتلاف توان خود ترانزیستور فراتر رود IGBT در مقایسه با Mosfet از

سرعت سوئیچینگ کمتری برخوردار میباشد و در نتیجه تلفات سوئیچ در این ترانزیستور بیشتر از ماسفت

می باشد .

با در نظر گرفتن تمام موارد فوق در می یابیم مطابق با نوع کاری که می خواهیم انجام دهیم می

توانیم بهترین ترانزیستور را انتخاب نماییم . در کاربردهایی که نیاز به سرعت سوئیچینگ بالا در ولتاژهای

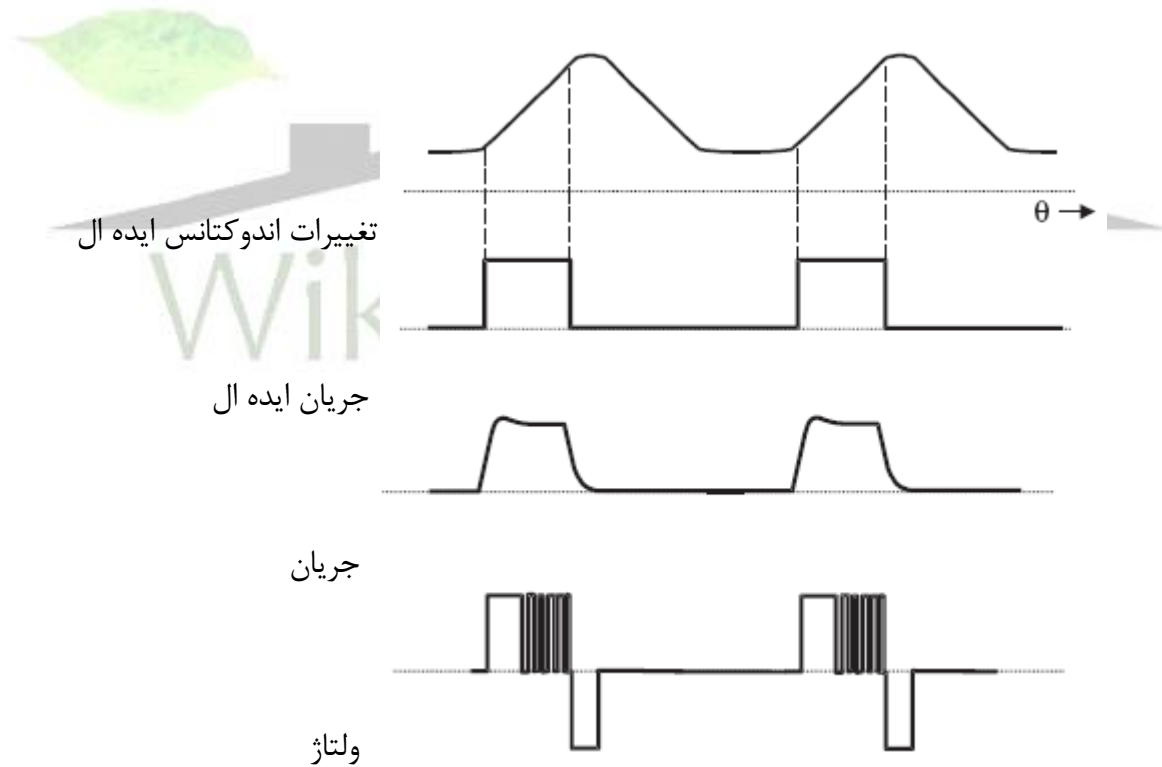
کم می باشد ماسفت بهترین گزینه ای است که در اختیار داریم ولی در کاربردهای ولتاژ بالا که نیازی به

سرعت سوئیچینگ خیلی بالا نیست بکار بردن IGBT بهترین انتخاب ما خواهد بود .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲-۱-۵): کنترل موتور رلوکتانسی:

نحوه کنترل کردن موتور رلوکتانسی ، سنکرون نمودن زمان برقرار شدن فازها با موقعیت روتور می باشد که در شکل زیر به تصویر کشیده شده است .

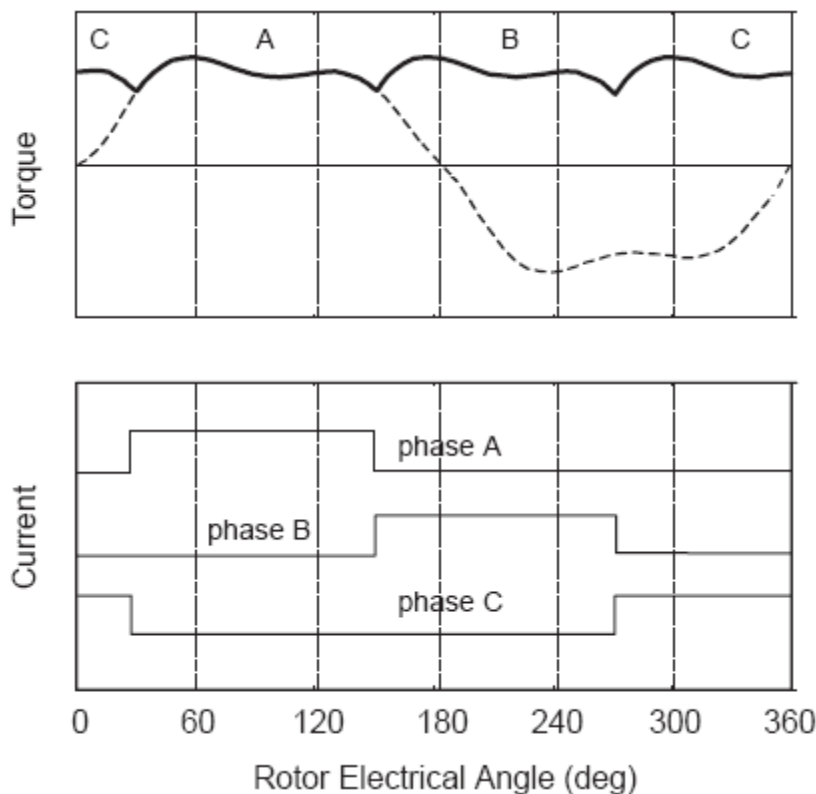


شکل ۲-۷ نحوه عملکرد موتور رلوکتانسی کنترل شده با جریان در سرعت کم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اگر در بازه افزایش رلوکتانس جریان برقرار گردد گشتاور حاصل مثبت خواهد بود (گشتاور موتوری) ولی اگر در بازه کاهش اندوکتانس این عمل اتفاق بیفتد باعث ایجاد گشتاور ترمزی خواهد شد. انتخاب صحیح لحظه قطع و وصل جریان و همچنین ماکزیمم دامنه جریان فاز تعیین کننده نحوه عملکرد نهایی موتور خواهد بود. طراحی زوایای کموتاسیون که بعضا به آن زاویه آتش نیز گفته میشود معمولا برای نیل به دو هدف مجزا انجام می پذیرد ۱- ماکزیمم نمودن گشتاور خروجی موتور ۲- ماکزیمم کردن بازده موتور.

برای ماکزیمم کردن بازده باید زمان بین خاموش شدن و روشن شدن موتور را به حداقل خود رساند در حالیکه برای ماکزیمم نمودن گشتاور خروجی موتور باید برای استفاده از تمام گشتاور تولید شده توسط یک فاز، این زمان به حد اکثر مقدار خود برسد. در زیر شکل ساده ای از نحوه کموتاسیون موتور مشاهده می شود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### شکل ۸-۲ کموتاسیون موتور ۳ فاز

خط نقطه چین در نمودار نشان دهنده گشتاوری است که توسط فاز A تولید می شود در صورتیکه جریان در یک سیکل کامل الکتریکی چرخش موتور برقرار باشد. آنچه با خط پر نشان داده شده است گشتاور تولید شده توسط فاز A با توجه به نمودار جریان ایده ال می باشد.

زاویه روشن شدن و خاموش شدن با زمان تولید ماکزیمم گشتاور خروجی در جریان خاص خود همزمانی دارند. آنچه در شکل فوق قابل تعمق است وابستگی عملکرد نهایی موتور به زمان قطع و وصل نمودن فازها (قطع و وصل جریان) و همچنین دامنه ماکزیمم جریان جاری شده درون فازهای موتور می باشد.

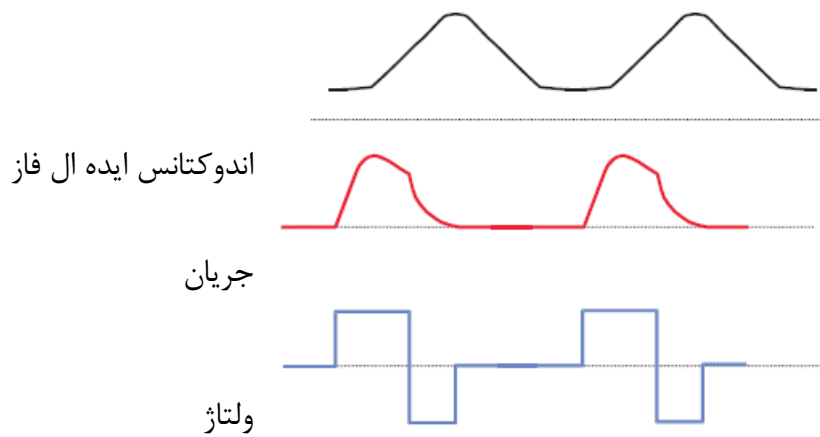
در حالت کلی برای کنترل موتور رلکتانس سوئیچی دو ناحیه در نظر گرفته می شود.

۱- ناحیه کم سرعت

۲- ناحیه پرسرعت

در ناحیه کم سرعت می توان بصورت قراردادی ماکزیمم مقدار مجاز جریان را تعیین نمود و برای رسیدن به آن جریان دلخواه روند کنترلی معمول را به موتور اعمال نمود. در شکل زیر طریقه کار موتور در سرعت کم نشان داده شده است. با افزایش سرعت موتور، کنترل میزان جریان هر فاز دشوارتر می گردد زیرا در سرعت بالا هم اثر back emf یا ولتاژ القا شده به موتور را باید لحاظ نمود و هم بازه کموتاسیون فازها کاهش یافته و عمل سوئیچینگ سریعتر می گردد. در واقع با تنظیم مدت زمان هدایت فازها می توان به جریان مطلوب دست یافت و به این روش، روش تک پالسی گفته میشود [۱۷].

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

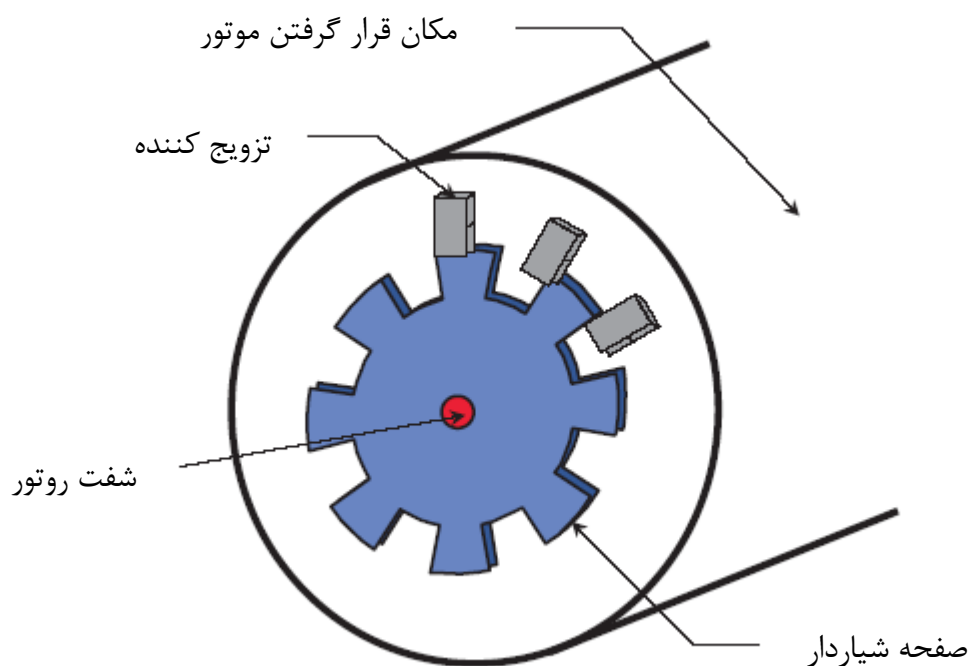


شکل ۹-۲ مد تک پالس

در حالت کلی افزایش سرعت موتور به دو صورت انجام میشود ۱- افزایش بازه هدایت فاز (افزایش زمان بین قطع و وصل فازها) ۲- کم کردن زوایای آتش یا بصورت ترکیبی از هر دو با تنظیم نمودن زوایای روشن و خاموش بودن فازها و تسریع نمودن زمان کموتاسیون موتور، زمان کافی برای افزایش جریان در بازه ای که اندوکتانس مقدار کمی دارد و کاهش جریان در فاز قبل از رسیدن به ناحیه ای که تولید کننده گشتاور منفی است در اختیار داریم. کنترل نمودن سرعت موتور به نحوه دقت و عملکرد سنسورهای تعیین موقعیت روتور و همچنین تعریف هدف ما از کنترل موتور مزبور بستگی دارد. در شکل زیر شماتیکی از سنسورهای تعیین کننده موقعیت روتور که از نوع تزویج کننده های نوری هستند مشاهده می شود.



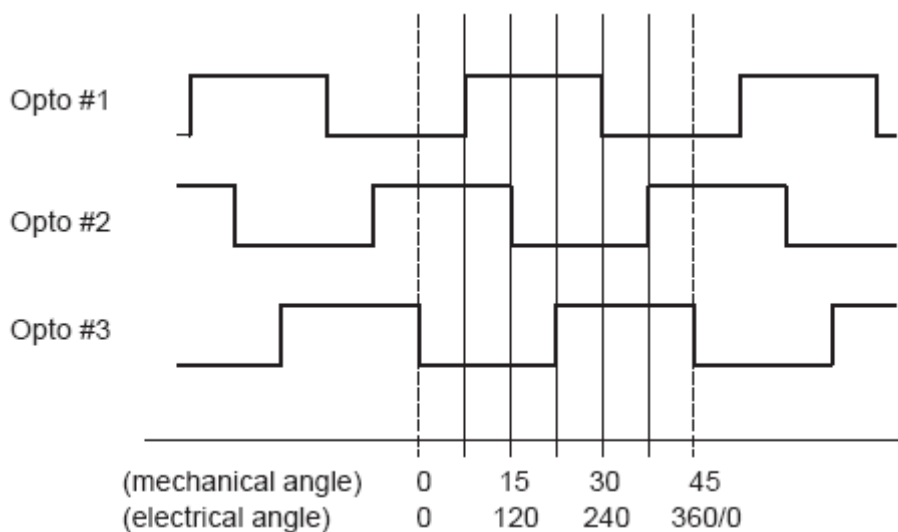
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱۰-۲ سطح مقطع انتهایی موتور رلوکتانس

شکل فوق مربوط به یک موتور رلوکتانس ۱۲ به ۸ می باشد. همانطور که در شکل فوق مشخص است صفحه ای که به شفت روتور بسته شده دارای ۸ شیار می باشد و تزوید کننده های نوری بر روی محیط استاتور تعبیه شده اند. در این شکل تزوید کننده های نوری تقریباً با فاصله  $30^\circ$  بر روی محیط دیسک قرار گرفته شده اند و شکل موجهای خروجی آنها در ذیل آمده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۱۱-۲ سیگنالهای خروجی تزویج کننده های نوری

با ترکیبی که تزویج کننده های نوری قرار گرفته اند هر ۷,۵ درجه شاهد پالسهای یکی از تزویج کننده ها هستیم و به ازای هر ۴۵ درجه مکانیکی سیکل کامل مجدداً تکرار می گردد. در شکل فوق زاویه ۱۸۰ درجه الکتریکی، به عنوان زاویه هم پوشانی و هم راستایی فاز A موتور در نظر گرفته شده است.

WikiPower.ir

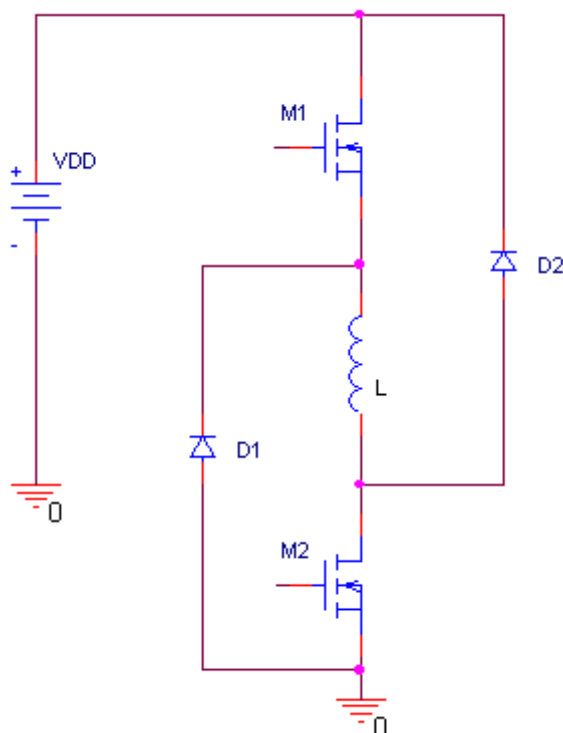
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲-۲): بررسی انواع مختلف راه اندازها

۲-۲-۱): مدارهای راه انداز

طبق بحثی که پیش از این مطرح شد تنها در بازه بین  $\theta_1$  و  $\theta_2$  است که باید جریان از قطب استاتور بگذرد. با فرض ثابت بودن نرخ رشد اندوکتانس با زاویه  $\theta$ ، باید جریان ثابتی از قطب بگذرد تا گشتاور ثابت تولید کند. گرچه با این کار گشتاور تقریباً ثابت می شود ولی این تنها برای بازه  $\theta_1$  تا  $\theta_2$  است و در بازه های دیگر این قطب گشتاور ندارد. پس گشتاور حاصل به صورت یک دنباله از پالسهای مستطیلی است که در بسیاری از کاربردها قابل قبول نیست. برای بهبود بخشیدن به این وضعیت، زاویه قطبها را به گونه ای طراحی می کنند که در پایان شیب مثبت اندوکتانس یک قطب، شیب مثبت اندوکتانس قطب بعدی شروع شود تا به این ترتیب پالسهای گشتاور قطبها به یکدیگر بچسبند و فاصله زمانی میان آنها نباشد. با این روش نوسانات گشتاور بطور چشم گیری کاهش می یابد ولی هنوز کاملاً یکنواخت نیست و باید با طراحی مدار کنترل مناسب آن را بهبود بخشید. در این زمینه مدارها و راه حل های گوناگونی طرح شده اند. در ادامه مهمترین مدارهای راه انداز موتور رلوکتانس را خواهیم دید و درباره هر کدام شرح کوتاهی خواهیم داد. برای بررسی بیشتر می توان به مراجع [۵] و [۱۱] و [۱۲] مراجعه نمود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

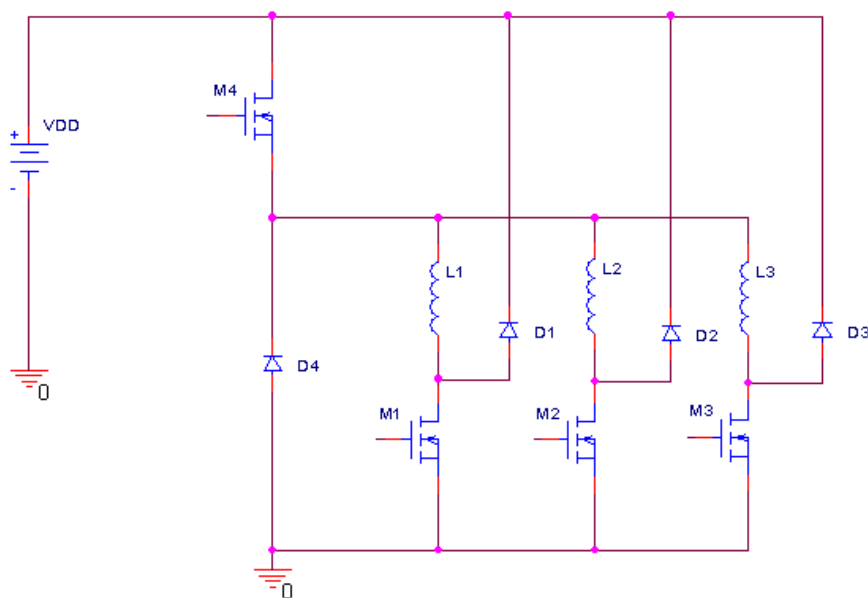


شکل ۲-۱۲ مدار راه انداز با دو کلید در هر فاز

یکی از ساده ترین و متداولترین مدارهای راه انداز موتور رلوکتانس در شکل ۱۲ - ۲ دیده می شود [۱۶]. این شکل تنها نشان دهنده یک فاز (دو قطب مقابل به هم که سیم پیچهای آنها به یکدیگر متصل هستند و با هم خاموش و روشن می شوند) از موتور است و فازهای دیگر همانند این هستند در لحظه ای که باید فاز روشن شود فرمان گیت به کلیدهای M1, M2 داده می شود. ولتاژ تغذیه بردو سر سیم پیچهای فاز استاتور قرار می گیرد و جریان در آن شروع به افزایش می کند. آهنگ افزایش جریان تابع ولتاژ تغذیه و خاصیت سلفی قطب است، البته مقداری تلفات اهمی نیز در آن وجود دارد [۷] و [۱۴]. هنگامی که باید فاز خاموش شود کلیدهای M1, M2 خاموش می شوند، ولی چون جریان سلف نمی تواند بطور ناگهانی قطع شود ولتاژ بسیاری بزرگی در دو سر آن پدید می آید که میل به حفظ جریان دارد و موجب سوختن کلیدها می شود. برای اینکه بدون آسیب دیدن کلیدها انرژی نهفته در فاز از آن خارج شود دیودهای D1 و D2 در مدار تعبیه شده اند. با خاموش شدن کلیدها، این دیودها یک مسیر برای جریان سلف تشکیل می

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

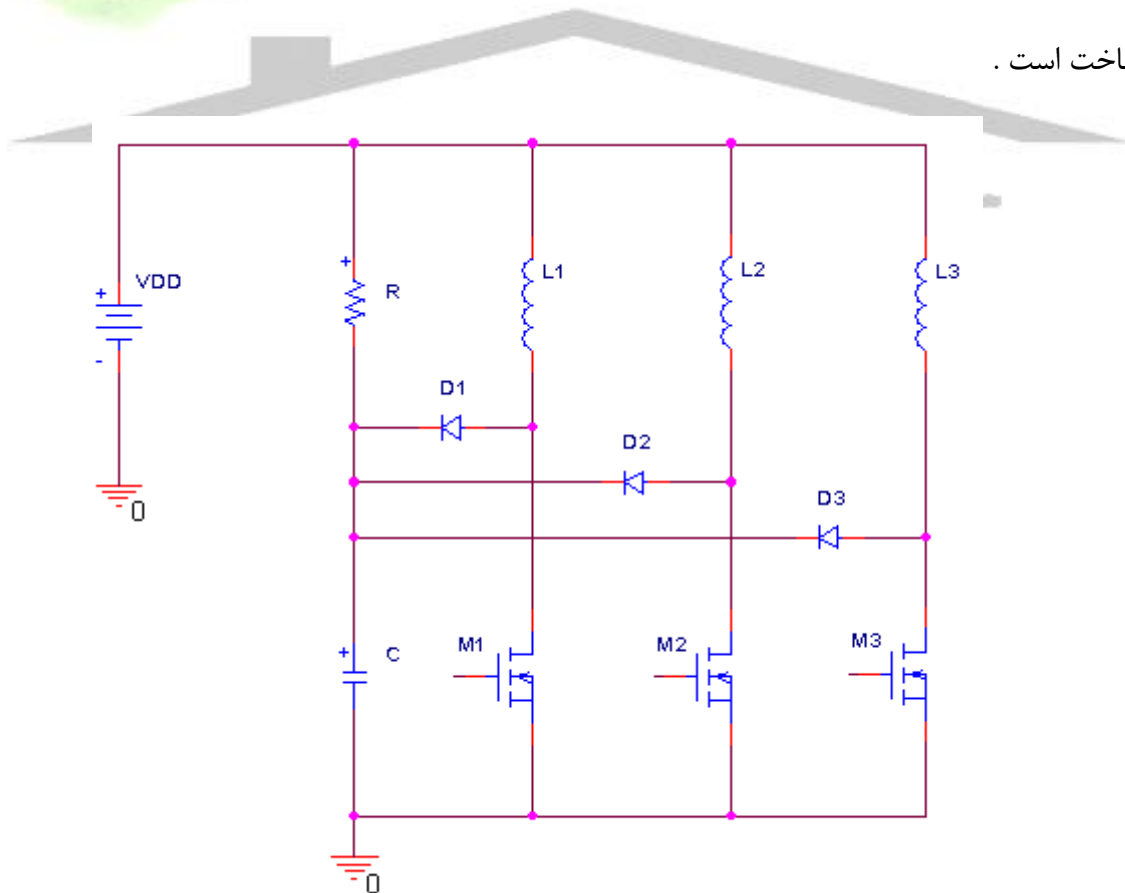
دهند که از زمین مدار به ولتاژ مثبت تغذیه می‌رود. به این ترتیب ولتاژ تغذیه بطور معکوس بر دو سر فاز قرار می‌گیرد و انرژی از آن خارج می‌شود و منبع تغذیه را شارژ می‌نماید [3]. روشن است که اگر ولتاژ تغذیه بزرگتر باشد علاوه بر آهنگ افزایش جریان، آهنگ کاهش آن نیز تندتر می‌شود چرا که در هنگام خاموش شدن ولتاژ معکوس بزرگتری بر آن قرار می‌گیرد. اما در فاصله روشن شدن و خاموش شدن فاز یعنی هنگامی که جریان ثابتی باید از آن بگذرد، یک مدار کنترل، جریان را اندازه می‌گیرد و با قطع و وصل کردن کلیدها بطور سریع، جریان را در محدوده قابل قبولی نگه می‌دارد. به چنین مداری که توضیح مفصل آن در [۷]، [۸] آمده است، کنترل کننده جریان هیستریزس می‌گویند (Hysteresis Current Controller). این کنترل کننده جریان در تمام مدارهای که در ادامه مطرح می‌شوند به کار می‌رود و جریان کلیدها را کنترل می‌کند و دیگر به آن اشاره نمی‌کنیم. حسن مدار شکل ۱۲ - ۲ اینست که انرژی ذخیره شده در قطبها را تلف نمی‌کند بلکه آنرا به منبع باز می‌گرداند تا به مصرف مفید برسد. ولی ضعف این مدار آنست که سرعت روشن و خاموش شدن قطبها بستگی مستقیم به ولتاژ تغذیه دارد و اگر بخواهیم موتور در سرعت های بالا کار کند ولتاژ تغذیه بزرگی لازم است. با دادن تغییرات کوچکی در این مدار می‌توان تعداد کلیدها و دیودها را کاهش داد، به این ترتیب مدار از دید اقتصادی بهبود می‌یابد. چنین مداری در شکل ۱۳ - ۲ دیده می‌شود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۱۳ - ۲ مدار راه انداز دارای  $n + 1$  کلید

در این شکل بجای ۳ تا از دیودهای چرخش آزاد (Free Wheeling Diode) یکی قرار داده شده که در زمان های لازم بجای هر کدام از آنها عمل می کند [۱۳]. به علاوه بجای کلیدهای بالایی فازها یک کلید مشترک قرار داده شده است. در هنگام روشن شدن فازها کلیدهای M1, M2, و M3 تعیین می کنند که جریان باید به کدام فاز برسد و سیگنال مدار کنترل جریان (Hysteresis Current Controller) به کلید M4 که بین آنها مشترک است، داده می شود [۱] و [۱۵]. به این ترتیب کلید M4 تعیین کننده شدت جریان است و این کار را برای هر سه فاز در زمان لازم انجام می دهد. در هنگام خاموش شدن کلیدها جریان فازها مانند مدار قبلی از دیودها می گذرد و منبع تغذیه را شارژ می کند. ولی در هنگام خاموش شدن تمام فازها یک دیود مشترک وجود دارد و آن دیود D4 است. از نظر مشخصه های کاری این مدار دقیقاً مانند مدار شکل ۱۲ - ۲ است، و تنها تفاوت آنها در تعداد عناصر به کار رفته و هزینه ساخت است.



شکل ۱۴ - ۲ مدار dump - C

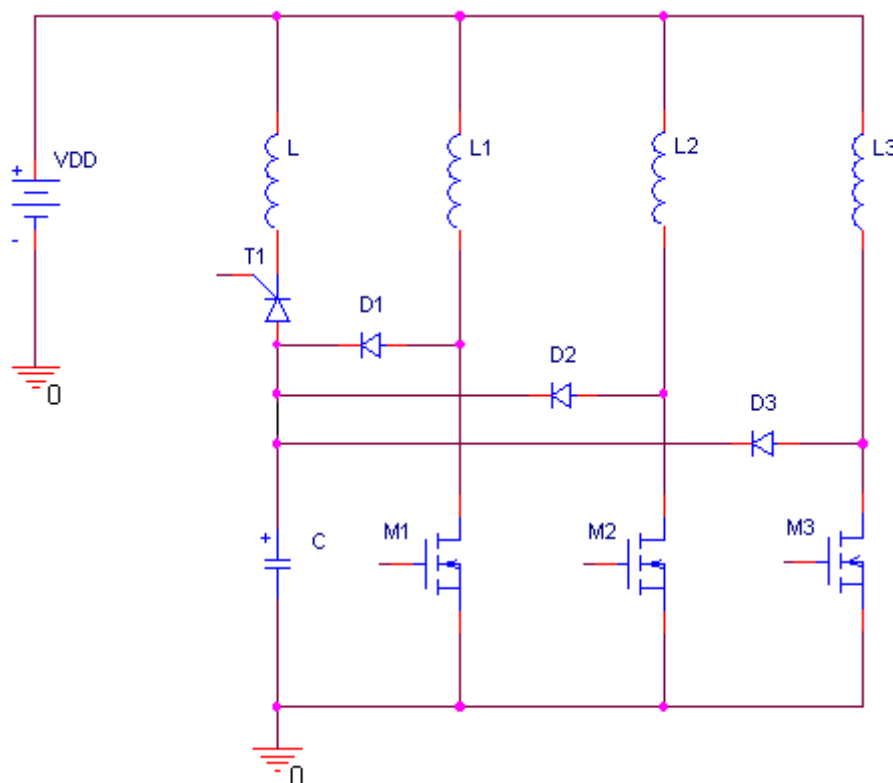
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مدار نشان داده شده در شکل 14 - ۲ در هر فاز یک کلید دارد و به آن مدار  $C - dump$  می گویند [۳]. در هنگام روشن شدن هر فاز ، کلید مربوط به آن اتصال کوتاه می شود ، ولتاژ تغذیه در دو سر سیم پیچ فاز قرار می گیرد و جریان در آن شروع به افزایش می کند. ولی در هنگام خاموش شدن فاز باید جریان موجود در آن به نحوی کنترل شود تا موجب سوختن کلید نشود . فاز 1 را در نظر بگیرید ، در این مدار با خاموش شدن کلید M1 جریان فاز از راه D1 ادامه می یابد و به دو شاخه می رود . یک شاخه از آن خازن را شارژ می کند و شاخه دیگر نیز از R می گذرد . ولتاژ خازن با گذشت زمان افزایش می یابد تا آنجا که تمام انرژی فاز از آن خارج شود . تا این لحظه بخشی از انرژی فاز در R تلف شده است و بخش دیگر در خازن ذخیره گردیده است. از این به بعد شارژ خازن نیز از راه مقاومت تخلیه می شود و به این ترتیب تمام انرژی قطب ناپدید می گردد . دقت کنید که در تمام مراحل کار، ولتاژ خازن از ولتاژ منبع تغذیه DC پایینتر نمی آید با حرکت موتور قطبها یکی پس از دیگری خازن C را شارژ می کنند و ولتاژ آن بالا و بالاتر می رود . ولی هرچه ولتاژ خازن بالاتر رود جریان دشارژ آن که از مقاومت R می گذرد نیز بیشتر می شود . پس با گذشت زمان ولتاژ خازن به حدی می رسد و در آن ثابت می ماند. مقادیر خازن C و مقاومت R حد این ولتاژ را تعیین می کند . بنابراین برای حفاظت کلیدها در برابر آسیب های ولتاژ بالا باید در انتخاب R , C دقت کرد . توجه شود که حد ولتاژ علاوه براین عناصر به سرعت چرخش موتور نیز وابسته است . بالا رفتن سرعت چرخش موتور به این معنی است که خازن تندتر شارژ میشود و ولتاژ تا حدی که مطرح شد بالا میرود . محدودیت ولتاژ قابل تحمل عناصر موجب می شود که نتوانیم ولتاژ بزرگی به دو سرخازن اعمال کنیم ، بنابراین این انرژی نهفته در فاز به کندی از آن خارج می شود و خاموش شدن فازها از سرعت بالایی برخوردار نیست . ضعف دیگر این مدار اینست که انرژی فازها را کاملا تلف می کند و هیچ کاربرد مفیدی برای آن ندارد. به علاوه توان قابل تحمل مقاومت R باید بالا باشد .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با جایگزین کردن مقاومت R با یک سلف و افزودن یک کلید به مدار C - dump می توان آنرا بهبود

بخشید. مدار مربوطه در شکل ۱۵ - ۲ نشان داده شده است .



شکل ۱۵ - ۲ مدار C - dump رزونانسی

این مدار به نام C - dump نوع رزونانسی شناخته می شود [۲] , [۴]. طرز کار آن شباهت زیادی به

مدار شکل ۱۴ - ۲ دارد ولی تفاوتی نیز وجود دارد که موجب برتری این مدار شده است . در این جا

مانند قبل با وصل شدن هر کلید جریان در فاز مربوطه به راه می افتد و آهنگ افزایش آن متناسب با ولتاژ

تغذیه است . در هنگام خاموش شدن فاز کلید مربوط به آن قطع می شود و جریان از راه دیود متناظرش

به خازن C منتقل می شود و آنرا شارژ می کند تا اینکه تمام انرژی ذخیره شده در فاز از آن خارج شود و

به خازن منتقل گردد . پس از آن با آتش کردن تریستور T1 شارژ موجود در خازن به شکل یک موج

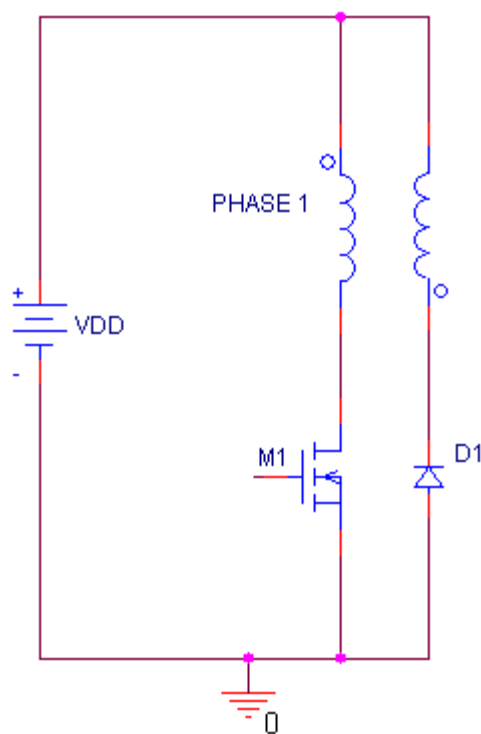
رزونانس بین خازن و سلف L در می آید و از درون آنها به سوی منبع تغذیه جاری می شود . به این ترتیب

انرژی ذخیره شده در فاز به مصرف مفیدی می رسد. در این مدار هر چه ظرفیت خازن C کمتر باشد با



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دریافت جریان فاز ولتاژ آن زودتر بالا می‌رود و در نتیجه فاز را زودتر خاموش می‌کند ولی باید دقت شود که اندازه این خازن نباید از یک حدی کمتر شود زیرا ولتاژ بزرگی روی آن پدید آید که می‌تواند به کلیدهای فازها آسیب برساند. تفاوت دیگری که میان این مدار و مدار شکل ۱۴ - ۲ وجود دارد اینست که پس از حرکت موج رزونانس بین خازن و سلف، ولتاژ خازن به مقدار کمتر از ولتاژ تغذیه افت می‌کند و شارژ خود را بیشتر از دست می‌دهد در حالیکه در مدار ۱۴ - ۲ ولتاژ خازن نمی‌توانست از سر مثبت تغذیه کمتر شود. افت ولتاژ خازن باعث کند شدن روند خاموشی قطبها می‌شود. تغییر دیگری نیز می‌توان در این مدار داد و آن جایگزینی تیرستور با یک کلید ترانزیستوری است بطوری که بتوان آنرا با پالسهای دارای پهنای معین هستند کنترل کرد. با این کار بجای اینکه یک موج رزونانسی غیر قابل کنترل در مدار LC جاری شود دنباله‌ای از پالسهای جریان به دست می‌آید که توسط مدار کنترل اداره می‌شود. به این ترتیب می‌توان کاری کرد که ولتاژ خازن بیش از حد افت نکند تا بتواند قطبها را سریع خاموش کند. به این مدار C - dump می‌گویند زیرا شاخه LC و کلید به کاررفته در آن یک چاپر تشکیل می‌دهد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### شکل ۱۶ - ۲ یک فاز مدار Bifilar

شکل ۱۶ - ۲ مدار دیگری را نشان میدهد که به نام مدار Bifilar معروف است [۶]. در اینجا نیز برای سادگی تنها یک فاز از موتور با عناصر جانبی آن نشان داده شده است. در این روش بر روی هر قطب بجای یک سیم پیچ دو تا پیچیده شده است. یکی از آنها که به طور سری با کلید قرار دارد در هنگام روشن شدن استفاده می شود و انرژی الکتریکی را به میدان مغناطیسی تبدیل می کند تا قطب که در حقیقت یک سلف بزرگ است شارژ شود. سیم پیچ دیگر در هنگام خاموش شدن فاز انرژی را از آن می گیرد و به منبع تغذیه باز می گرداند. این دو سیم پیچ با قطبی که نقش هسته آهنی آنها را دارد یک ترانس تشکیل می دهند. در هنگام روشن شدن فاز که جریان در اولیه ترانس رو به افزایش است ولتاژ القا شده در ثانویه به گونه ای است که سر نقطه دار آن نسبت به سر دیگر مثبت می شود، پس دیود D1 بایاس معکوس می شود و مدار ثانویه هیچ جریانی نخواهد داشت و درست مانند یک مدار باز عمل می کند. ولی هنگامی که کلید M1 خاموش می شود جریان در اولیه بطور ناگهانی قطع می شود. ولی انرژی موجود در فازی که شارژ شده است باید از آن بیرون برود. این انرژی به شکل ولتاژ ثانویه ظاهر می شود که جهت مثبت آن به سر مثبت تغذیه وصل است. به این ترتیب دیود D1 بایاس مستقیم شده و جریانی که در اولیه ناگهان ناپدید شد در ثانویه ظاهر می شود و به دلیل جهتی که دارد انرژی فاز را به منبع تغذیه منتقل می سازد و آنرا شارژ می کند. در اینجا نیز ولتاژ معکوسی که بر روی فاز قرار می گیرد مانند مدار شکل ۱۲ - ۲ برابر با ولتاژ تغذیه است بنابراین آهنگ خاموش شدن فاز نیز توسط ولتاژ تغذیه معین می گردد. مزایای این مدار آنست که کلیدهای به کاررفته در آن ولتاژ بزرگی را تحمل نمی کنند و انرژی ذخیره شده در فازها به مصرف مفید می رسد و منبع را شارژ می کند. ضعف این مدار پیچیدگی ساختار آن است، به این معنا که باید روی هر قطب موتور تقریباً دو برابر یک موتور معمولی سیم پیچی انجام شود و ساخت آن سخت و گران می شود. به علاوه مدار راه انداز مطلوب آنست که بدون دستکاری در ساختمان موتور بتواند آنرا به خوبی کنترل کند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مداراتی که در بالا به آنها اشاره شد طرحهای اساسی مدار راه انداز موتور رلوکتانس هستند. ولی به غیر از آنها مدارهای دیگری نیز وجود دارند که بسته به شرایط کاری و ابتکار سازنده آنها، طراحی می شوند. ولی اصول کار این مدارها غالبا مانند مدارات بالا است و تنها تغییرات اندکی در آنها اعمال می شود. دسته دیگری از مدارها نیز برای کاربردهای دقیق به کار میروند که مجهز به میکروکنترلر هستند و با استفاده از نرم افزار موجود در آنها می توان مشخصه گشتاور - سرعت مطلوب را بدست آورد. ولی محدودیت سرعت پردازش موجب می شود که این مدارها منحصر در سرعت های پایین قابل استفاده باشند.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فصل سوم

### مدار راه انداز رزونانسی جدید برای موتور رلوکتانس سوئیچی

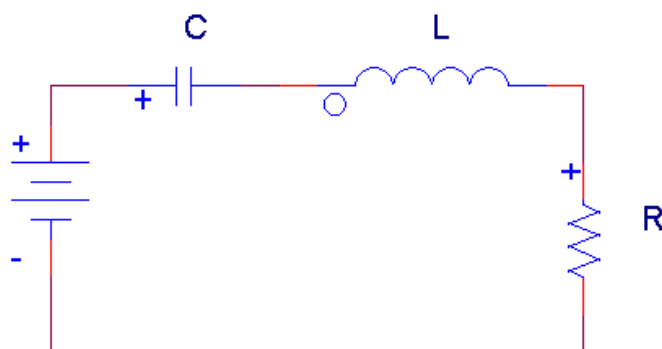
مقدمه فصل:

در این فصل مدار راه انداز جدید رزونانسی را از لحاظ عملکرد مداری بطور کامل مورد مطالعه و بحث قرار خواهیم داد. سپس به ویژگیهای آن اعم از تسریع نمودن زمان روشن و خاموش شدن قطبها و سوئیچ در جریان صفر با دلایل کافی اشاره خواهیم کرد.

۳-۱) راه انداز جدید رزونانسی موتور رلوکتانسی:

همانطور که در فصل گذشته مشاهده شد یکی از انواع راه اندازهای موتور رلوکتانسی، راه انداز رزونانسی بود که در واقع راه انداز جدید از لحاظ نوع ساختار در این دسته بندی قرار می گیرد. در ابتدا لازم است اندکی در مورد مدارهای RLC رزونانسی به شناخت بیشتری دست یابیم. معادله توصیف کننده مدارهایی که از هر دو المان سلف و خازن بهره می برند از نوع معادلات درجه دوم می باشد که با دانستن این معادلات شناخت بیشتری نسبت به نوع رفتار هر یک از المانها و تاثیر آنها در پاسخ نهایی مدار حاصل می گردد لذا در ابتدا اندکی به مدارات RLC سری و معادله توصیف کننده آن می پردازیم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱-۳ مدار RLC سری

در مدارات درجه دوم در یک فرکانس خاص که به نام فرکانس تشدید شناخته میشود سلف و خازن اثر هم را خنثی خواهند نمود بدین معنی که در آن فرکانس، اندازه امپدانسهای سلف و خازن یکی شده و از لحاظ فازی دقیقاً ۱۸۰ درجه اختلاف فاز خواهند داشت که در نتیجه برآیند آنها برابر صفر خواهد شد. از اینرو در فرکانس تشدید مدار RLC سری به یک مدار مقاومتی خالص تبدیل خواهد شد و رفتار آن دقیقاً مشابه مدارات مقاومتی است.

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i_t dt + V_{c(0)} + Ri_t = V_{dc}$$

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{C} i_t + R \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0$$

معادله توصیف کننده سیستم درجه دو

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad \text{و} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \leftarrow$$

از این معادله در می یابیم

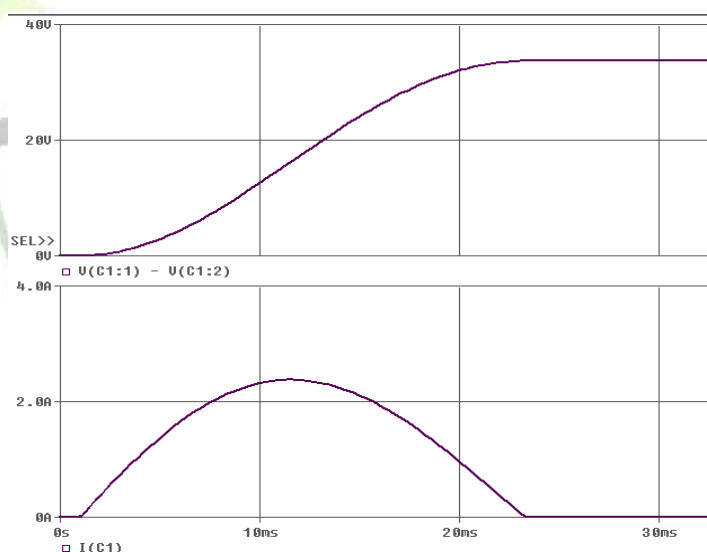
که در آن  $\alpha$  به عنوان ضریب میرایی سیستم و  $\omega$  فرکانس تشدید مدار می باشند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در فرکانسهای غیر از فرکانس تشدید ، بسته به فرکانس کاری سلف و خازن از خود امپدانس نشان میدهند و می توان در آن فرکانس خاص جریان حالت AC مدار را محاسبه نمود.

که اگر  $\omega_0 = \omega$  خازن و سلف اثر یکدیگر را خنثی خواهند نمود .  
 $Z_C = \frac{1}{cj\omega}$  ,  $Z_L = jl\omega$

اما همانطور که میدانیم خازن در برابر ولتاژ DC مدار باز می باشد یعنی به سرعت شارژ شده و سپس اجازه عبور جریان DC در مدار را نمی دهد. برای داشتن یک جریان دائمی در مدار یا باید منبع AC به مدار اعمال نمود و یا بصورتی منبع DC را سوئیچ نمود که تقریباً مشابه یک تغذیه AC عمل نماید که ما روش دوم را برگزیده ایم. در صورتیکه قطع و وصلی در منبع تغذیه صورت نپذیرد خازن شارژ شده و سپس مدار را قطع (float) می نماید .



شکل ۲-۳ نحوه تغییرات ولتاژ و جریان خازن با اعمال ولتاژ DC

همانطور که در شکل فوق مشاهده می شود پس از حدود 22ms خازن کامل شارژ شده و جریان

مدار را قطع می نماید. ( $R = .65\Omega$ ,  $L = 50mH$ ,  $C = 1000\mu F$ ,  $VDC=20v$ ).

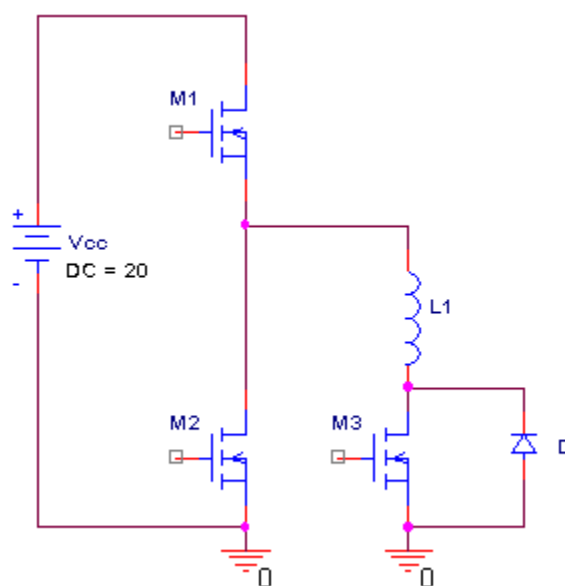
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این مدار بدلیل وجود سلف و عمل رزونانس ، خازن با سرعت بیشتری شارژ شده و متعاقبا سرعت دشارژ آن نیز بیشتر خواهد بود . از این خاصیت برای افزایش سرعت مدار استفاده می نماییم . همانطور که در فصل قبل اشاره شد درایورهای رزونانسی موجود ، اکثرا از خاصیت سرعت در مدارهای تشدید استفاده نموده اند .

۲-۳) بررسی ساختار مداری درایور جدید:

همانطور که در شکل (۳-۳) مشاهده میشود درایور تشکیل شده است از سه ترانزیستور قدرت بنامهای M1 و M2 و M3 که در ادامه نیز به همین نام از آنها یاد خواهد شد . دو ترانزیستور اولی در واقع به نوعی تشکیل دهنده یک طبقه پوش- پول در ورودی هستند با این تفاوت که ترانزیستور M1 در اینجا از نوع n-channel می باشد. با توجه به سیگنالهای خاصی که به گیتهای این ترانزیستورها میرسد در ابتدا M1 و M3 با هم وصل شده و مسیر جریان سلف L1 که در اینجا مدل کننده یک فاز موتور می باشد از طریق این دو برقرار می گردد . پس از مدت زمان مشخصی که توسط پالسهای که به گیتهای M1 و M3 اعمال میشود تعیین میگردد M1 و M3 خاموش شده و M2 وصل میشود . با قطع شدن M3 بدلیل تغییر پلاریته سلف که واکنش آن در برابر قطع شدن جریان است دیود D وصل شده و مسیر تخلیه انرژی ذخیره شده در فاز از طریق دیود و M2 فراهم می گردد . با استفاده از این شیوه و پیاده سازی آن برای سه فاز ، می توان موتور را راه اندازی نمود اما در این درایور به دلیل اینکه عمل سوئیچینگ ترانزیستورها در جریان بالای فاز صورت میگیرد، تلفات سوئیچ افزایش می یابد . برای اینکه ما بتوانیم بر این مشکل غلبه کنیم از یک خازن سری با فاز موتور (سلف L1) استفاده نمودیم که در شکل ۳-۴ مشخص گردیده است .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۳-۳ شکل ابتدایی مدار راه انداز

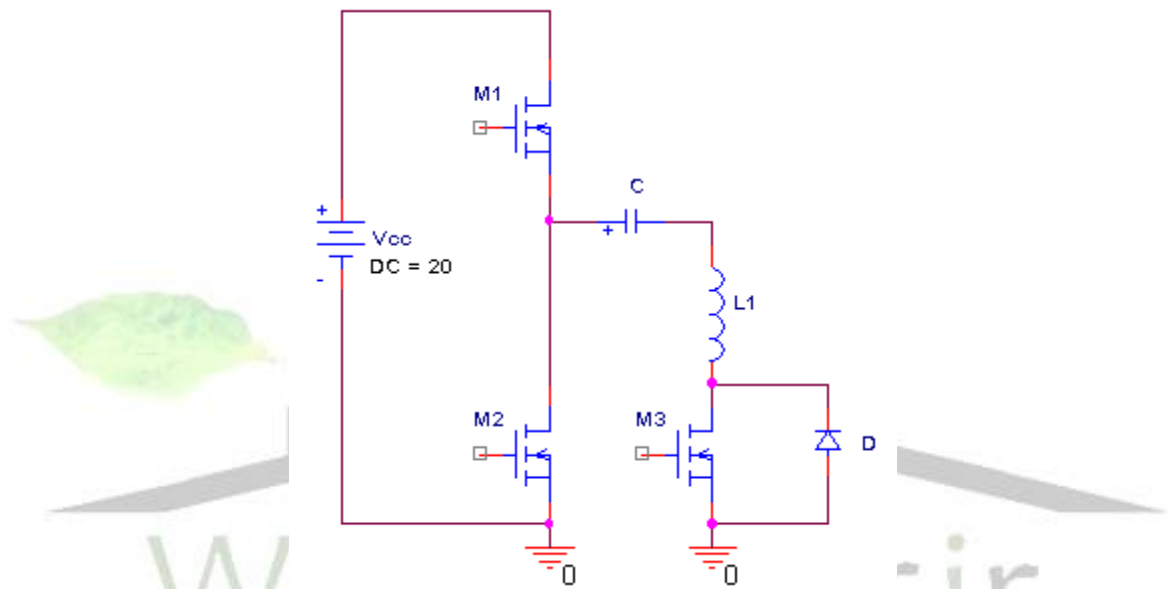
همانطور که در شکل ۲-۳ مشاهده نمودیم بدلیل استفاده از یک منبع DC در لحظه اول پس از وصل شدن M1 و M3 و قرار گرفتن تغذیه در دو طرف خازن ، خازن به سرعت شارژ شده و پس از مدت زمان مشخصی که به ظرفیت و نوع خازن بستگی دارد مدار را قطع می نماید و یا به عبارت مداری چون فرکانس تغییرات ولتاژ منبع تغذیه صفر می باشد امپدانسی که خازن در مدار از خود نشان میدهد برابر بینهایت بوده و مدار را باز میکند . حال اگر بیاییم و تغذیه DC را توسط المانهای سوئیچ ( ترانزیستورهای ماسفت ) با آهنگ مشخصی به دو سر خازن اعمال نماییم به دلیل متغیر بودن ولتاژ تغذیه عمل floating توسط خازن صورت نمی گیرد .

در ابتدا و پس از وصل شدن ترانزیستورهای M1 و M3 و با قرار گرفتن ولتاژ تغذیه به دو سر خازن ، خازن با توجه به میزان اندوکتانس فاز موتور، ظرفیت خودش و همچنین ولتاژ تغذیه با آهنگ مشخصی شروع به شارژ شدن می نماید . اگر خازن تا ولتاژ تغذیه شارژ شود ، جریان مدار را قطع خواهد نمود در نتیجه قبل از رسیدن ولتاژ خازن به ولتاژ تغذیه ، باید عمل دشارژ خازن توسط M2 و دیود D صورت پذیرد . از طرف دیگر به محض دشارژ خازن باید مجدداً عمل شارژ با وصل شدن M1 و M3 و قطع M2 تکرار شود . اگر



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

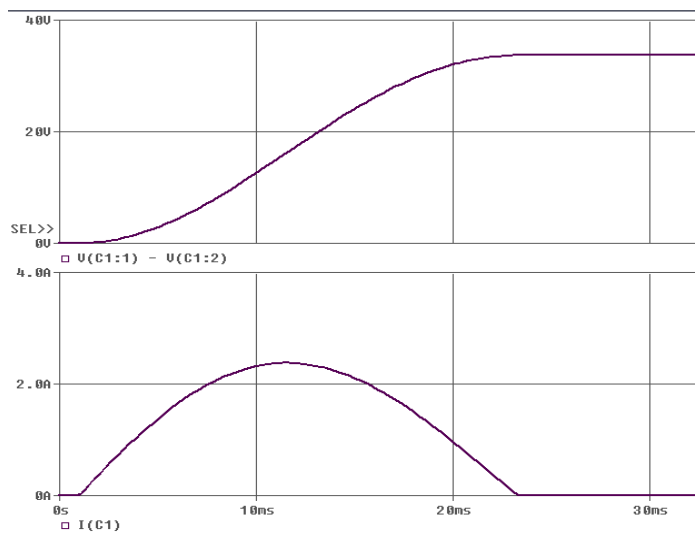
بهمین منوال عمل شارژ و دشارژ خازن تکرار گردد دیگر عمل floating صورت نخواهد پذیرفت و از طرفی ما با قرار دادن خازن می توانیم در جریان صفر عمل سوئیچینگ را انجام دهیم. با کمی توجه می توان دریافت که عمل سوئیچ کردن ترانزیستورها در لحظه شارژ که جریان در مدار به سمت صفر در حرکت است و در لحظه دشارژ که مجددا انرژی فاز در حال تخلیه ( و در نتیجه میل جریان به سمت صفر) میباشد صورت می پذیرد و این باعث کاهش تلفات سوئیچ و در نتیجه تلفات کل درایور می گردد.



شکل ۳-۴ مدار راه انداز جدید

بدلیل اهمیت موضوع شکل ۳-۲ مجددا در زیر آورده شده است که باید بیشتر به آن توجه نمود.

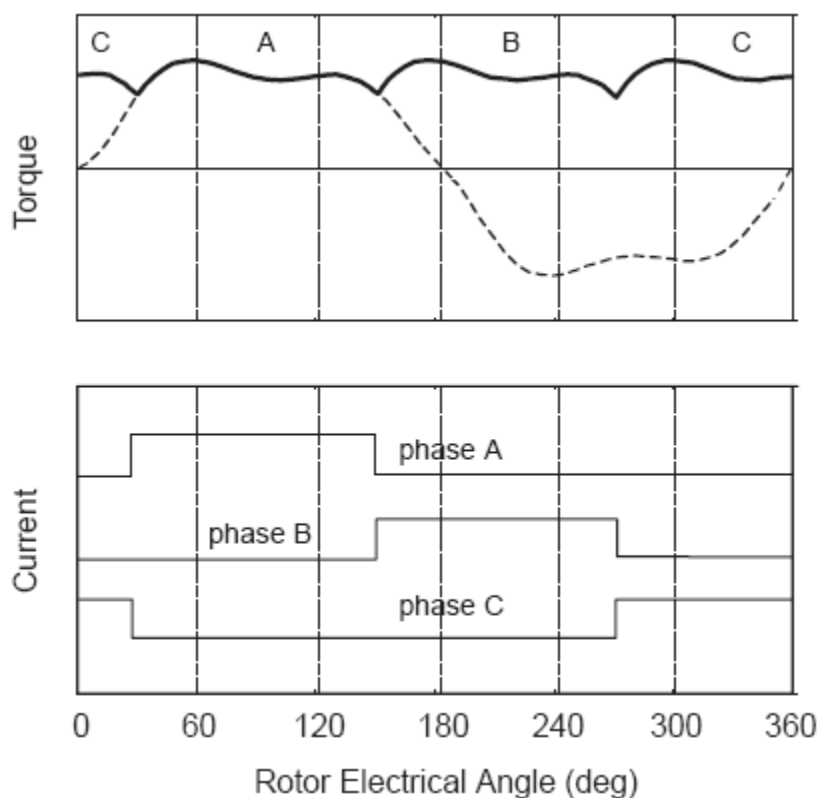
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



همانطور که گفته شد شکل فوق نشان دهنده نحوه شارژ خازن توسط ولتاژ DC و افزایش و کاهش سریع جریان آن می باشد.

موتور رلوکتانسی که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت موتور ۱۲ به ۸ بود. همانطور که در فصل اول در مورد خصوصیات موتور گفته شد و با مطالعه نمودار افزایش اندوکتانس فاز موتور با افزایش  $\theta$  ( زاویه چرخش ) می دانیم برای داشتن گشتاور مثبت یا به عبارتی گشتاور رو به افزایش باید در لحظه همپوشانی قطبهای استاتور و روتور جریان در فاز وصل شده و برای ممانعت از ایجاد گشتاور منفی باید با اتمام همپوشانی جریان فازسریعا قطع شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۳-۵ تغییرات گشتاور موتور و پالسهای خروجی سنسورهای تشخیص موقعیت روتور

همانطور که در شکل فوق مشاهده میشود در صورتیکه جریان فاز A، از زمان معین دیرتر قطع گردد گشتاور منفی که توسط نقطه چین مشخص گردیده را تولید خواهد نمود. موقعیت روتور توسط سنسورهایی که در انتهای شفت موتور قرار دارند بصورت پالس در اختیار قرار میگیرد و چون موتور استفاده شده در اینجا سه فاز است تعداد این سنسورها سه عدد می باشد. با در اختیار داشتن این پالسها می توان لحظه آغاز و اتمام همپوشانی را دانست.

بدلیل اینکه مدار راه انداز، یک مدار رزونانسی می باشد باید به فرکانس تشدید مدار نیز توجه لازم را مبذول داشت. همانطور که می دانیم اندوکتانس موتور تابع موقعیت روتور که متغیر با زمان است می باشد یا به عبارتی وابسته به  $L(\theta)$  و همچنین خازن C می تواند مقادیر مختلفی را اختیار کند در نتیجه بدست آوردن یک فرکانس تشدید عملاً غیر ممکن می باشد ولی تا حدودی با در نظر گرفتن اندوکتانس فاز

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

موتور در حدود 55mH به ازای هر خازن میتوان یک فرکانس نوسان تقریبی را محاسبه نمود . در پروژه بجای خازن C مقادیر 100uf ، ۲۲۰uf ، 470uf ، 1000uf ، 1200uf و 2200uf قرار داده شد . بدیهی است که به ازای خازن 100u بیشترین سرعت و به ازای خازن 2200u کمترین سرعت را خواهیم داشت که دلیل آن هم زمان لازم برای شارژ و دشارژ خازن متناسب با فرکانس رزونانس مدار می باشد. در یک سیکل همپوشانی ، هر چه تعداد شارژ و دشارژ خازن بیشتر شود به همان میزان نیز سرعت موتور افزایش می یابد .

۳-۳ مقایسه کننده های ولتاژ

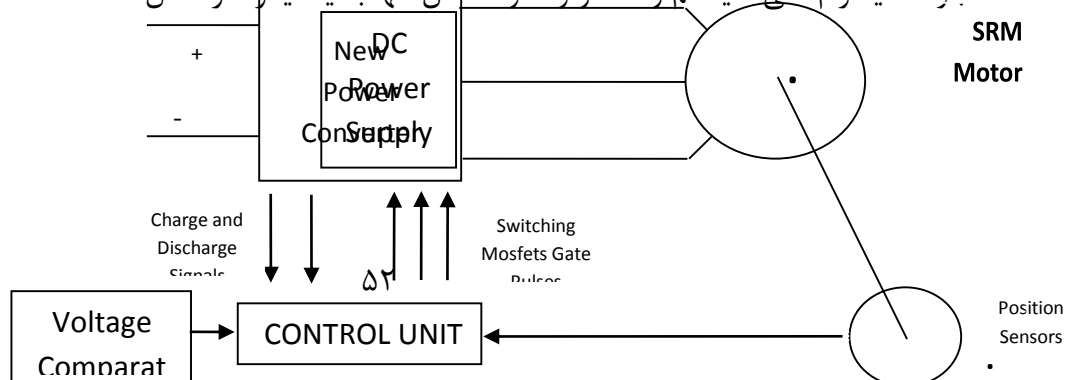
هم اکنون بستر لازم برای بررسی دقیقتر مدار فراهم گردیده است . مدار راه انداز از دو بخش مجزا تشکیل گردیده است :

۱-مقایسه کننده های ولتاژ (Voltage comparators)

۲- مولد پالس گیتها و مرکز کنترل ( Control unit & Pulse generator )

مقایسه کننده های ولتاژ

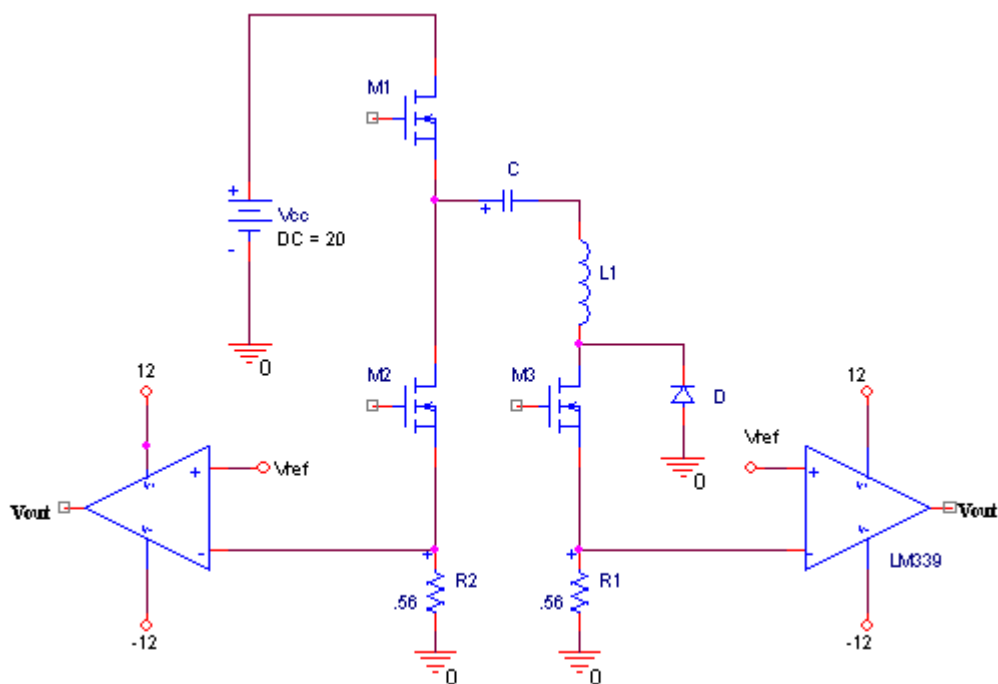
بلوک دیاگرام کلی سیستم راه انداز و نحوه اتصال آنها به یکدیگر، در شکل ۳-۶ آمده است .



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۳-۶ بلوک دیاگرام کلی سیستم

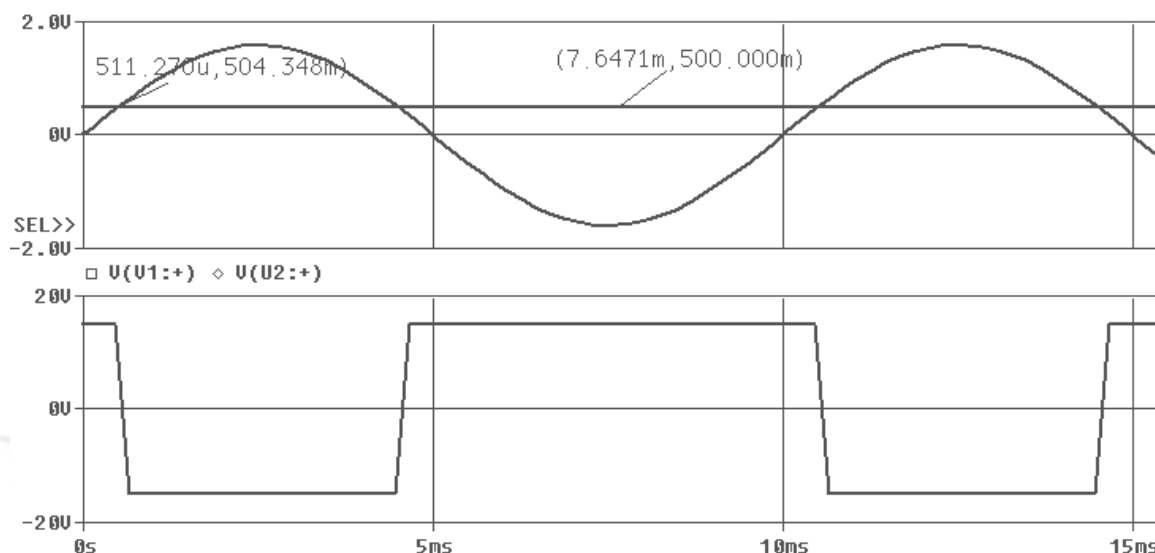
همانطور که گفته شد برای جلوگیری از قطع شدن مدار توسط خازن نباید اجازه شارژ و دشارژ کامل را به آن داد. به جهت اینکه ما قادر نیستیم برای تشخیص لحظه شارژ و دشارژ، بطور مستقیم از جریان عبوری از خازن نمونه برداری نماییم با کمک دو مقاومت بسیار کوچک ( $56\Omega$ ) که طبق شکل ۳-۷ با M2 و M3 سری گشته اند، جریان عبوری را به ولتاژ تبدیل کرده و توسط تراشه LM339 که یک مقایسه کننده می باشد، عمل مقایسه بصورت زیر انجام می گیرد.



شکل ۳-۷ نحوه اتصال ایمپها به مدار درایور

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

پس از وصل شدن همزمان M1 و M3 و جاری شدن جریان داخل فاز و همچنین آغاز سیکل شارژ شدن خازن ، جریان عبوری از مقاومت R1 ، ولتاژی را تولید می نماید . این ولتاژ با ولتاژ مرجع که قبلا مشخص گردیده و در حدود 5V می باشد مقایسه میشود .



شکل ۳-۸ تغییرات خروجی اپمپ و ولتاژ سینوسی اعمال شده به ورودی آن

سینوسی بودن این ولتاژ قابل توجه است . در لحظه وصل M1 و M3 و قرار گرفتن ولتاژ Vdc دوسر خازن ، و به دلیل وجود یک سلف متغیر با زمان  $L(t)$  (اندوکتانس فاز ۱) ، ما با یک مدار درجه دوم مواجه میشویم . عمل رزونانس باعث افزایش سرعت عمل شارژ خازن میگردد یا به عبارتی در مدت زمان کوتاهتری جریان به مقدار ماکزیمم خود که در اینجا حدودا ۱,۶ آمپر است میرسد و این خود باعث افزایش سرعت شارژ و دشارژ خازن میگردد. در لحظه دشارژ نیز بصورت مشابه تمام انرژی ذخیره شده درون سلف در سیکل شارژ ، بصورت یک موج رزونانسی و در کوتاهترین زمان ممکن از طریق M2 و دیود D تخلیه گشته و خازن آماده شارژ مجدد می شود .

همانطور که در شکل ۳-۷ مشاهده میشود ولتاژ سینوسی ناشی از تغییرات جریان به ورودی منفی اپمپ و ولتاژ مرجع ما که حدود 5V ولت در نظر گرفته شده به ورودی مثبت اعمال گردیده است . تا زمانیکه جریانی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

داخل فاز نشود بدلیل بزرگتر بودن ولتاژ پایه مثبت ، خروجی اپمپ اشباع مثبت خواهد بود . هنگامیکه جریان در فاز جاری شده و ولتاژ پایه منفی از ولتاژ مرجع بیشتر شود ، خروجی اپمپ به اشباع منفی می رود . از طرفی همانطور که در شکل ۳-۷ نشان داده شده است مقاومت R2 که دقیقا مشابه مقاومت R1 می باشد را سری با سورس M2 برای نمونه برداری از جریان دشارژ قرار داده ایم. در لحظه ایکه عمل شارژ پایان می پذیرد با دستوری که به گیت های M1 و M3 داده میشود آنها را قطع و M2 را وصل می نماید . به دلیل مخالفت سلف در برابر کاهش جریان و تغییر پلاریته آن دیود D نیز همزمان با وصل شدن M2 وصل میگردد . خازن تا مقدار مشخص Vdc شارژ گردیده و اکنون مسیر دشارژ خازن از طریق دیود D و M2 فراهم شده است و به این دلیل جریانی از جهت مخالف جریان شارژ وارد M2 شده و در مقاومت R2 جاری میشود . شکل موج های تولید شده در هنگام دشارژ با شارژ تقریبا مشابه بوده البته مشخص است که زمان دشارژ خازن اندکی سریعتر از زمان شارژ آن است. خروجی اپمپ اول، لحظه کامل شدن شارژ که در واقع لحظه نزدیک شدن جریان به سمت صفر است را با یک پالس مثبت از صفر به یک به ما اعلام می نماید . بهمین ترتیب نیز در لحظه دشارژ ، تخلیه کامل انرژی فاز توسط یک پالس مثبت از صفر به یک مشخص میگردد. پالس های تولید شده در این قسمت جهت تنظیم زمان شارژ و دشارژ خازن به قسمت کنترل و مولد پالس منتقل می گردد .

### ۳-۴) مرکز کنترل و مولد پالس

بدلیل ضرورت وجود همزمانی بین پالس های اعمال شده به گیت های M1 و M3 در لحظه وصل علیرغم یکسان نبودن مرجع پالسها و ممانعت از وصل شدن همزمان M1 و M2 و در نتیجه ایجاد اتصال کوتاه در مدار و امکان استفاده از امکانات بیشتر در این قسمت از میکرو کنترلر 89C51 به عنوان مرکز کنترل و مولد پالس های گیتها استفاده شده است. وظیفه مرکز کنترل بشرح زیر است :

۱- دریافت پالس های خروجی اپمپها و پردازش آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- ۲- وصل و قطع کردن جریان داخل فاز در زمان مقتضی
- ۳- ممانعت از ایجاد اتصال کوتاه در مدار در هر شرایط
- ۴- صدور فرمان لازم در زمان مقرر متناسب با ظرفیت خازن C
- ۵- جلوگیری از ایجاد گشتاور منفی و کاهش سرعت موتور با وصل و قطع کردن به موقع جریان

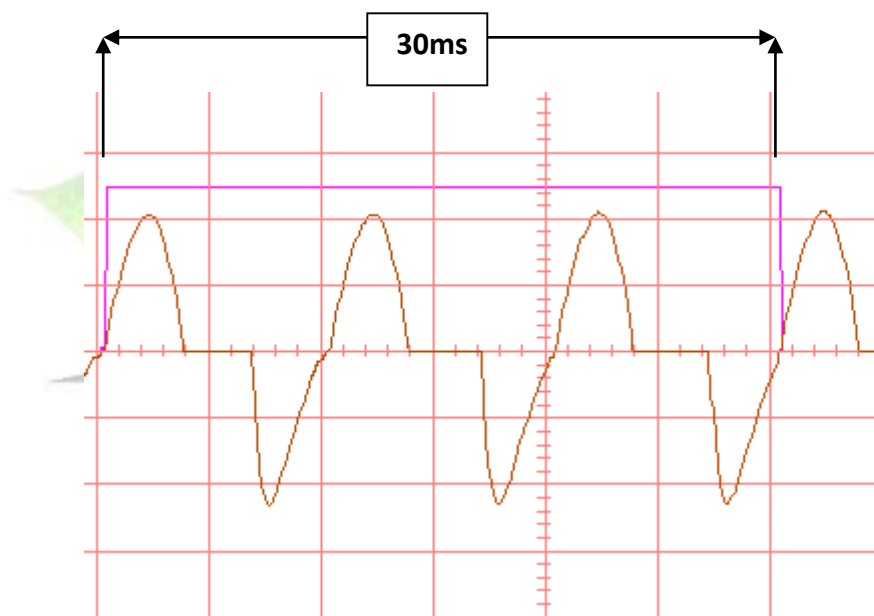
همانطور که اشاره شد در سیکل شارژ و یا دشارژ خازن ، پالسهای توسط اپمپها مهیا میگردند که این پالسها برای آنالیز به وقفه های میکرو داده میشوند . در برنامه میکرو که در پیوست ب آورده شده چند نوع وقفه برای سیستم تعریف گردیده است . ۱ - وقفه شارژ ۲ - وقفه دشارژ ۳ - وقفه آغاز همپوشانی قطبها ۴ - وقفه اتمام همپوشانی قطبها

با توجه به نوع وقفه صادره ، میکرو دستورات لازم برای عملیات شارژ و یا دشارژ را صادر می نماید . به دلیل اینکه در ابتدای کار خروجی اپمپها صفر میباشد مرکز کنترل به محض رسیدن سیگنال سنسور فاز یک (opto 1) که نشان دهنده آغاز همپوشانی قطب استاتور و روتور می باشد ، بصورت خودکار دستور وصل شدن و آغاز سیکل شارژ را صادر می نماید . با وصل شدن M1 و M3 ، جریان داخل فاز جاری شده و ولتاژ سینوسی نشان داده شده در شکل 8-3 در ورودی اپمپ ۱ مهیا گشته و پالس خروجی اپمپ به وقفه میکرو داده میشود بدین معنی که سیکل شارژ خازن کامل شده و سیکل دشارژ باید آغاز گردد . با آمدن وقفه دشارژ، میکرو ابتدا M1 و M3 را قطع کرده و سپس دستور وصل M2 را صادر می نماید . بهمین ترتیب در لحظه اتمام عملیات دشارژ ، وقفه مربوطه صادر گشته و پروسه فوق تا زمانیکه همپوشانی بین قطبهای استاتور و روتور وجود داشته باشد تکرار می گردد . اعلام لحظه اتمام همپوشانی به میکرو توسط سنسور مربوط به فاز دو صورت می گیرد و در این لحظه تا رسیدن به همپوشانی مجدد ، میکرو هیچ وقفه ای را سرویس دهی نمی نماید و یا به عبارتی سیکل شارژ و دشارژ عملاً متوقف می شود . البته به



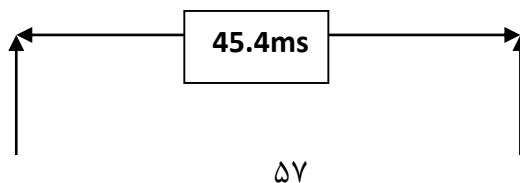
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

دلیل سرعت موتور زمان این توقف بسیار اندک خواهد بود ولی تاثیر آنرا در سرعتهای بالا نمی توان ندیده گرفت . با توجه به فرکانس رزونانس مدار که وابسته به ظرفیت خازن بکار برده شده دارد در یک سیکل کامل همپوشانی ، تعداد دفعات شارژ و دشارژ متغیر می باشد . هر چه بخواهیم گشتاور خروجی موتور و در نتیجه سرعت آن افزایش یابد باید تعداد دفعات شارژ و دشارژ خازن در زمان همپوشانی بیشتر باشد . با توجه به مطالب گفته شده می توان گفت سرعت چرخش موتور به ازای خازن 100uf به مراتب بیشتر از خازن 2200uf می باشد .

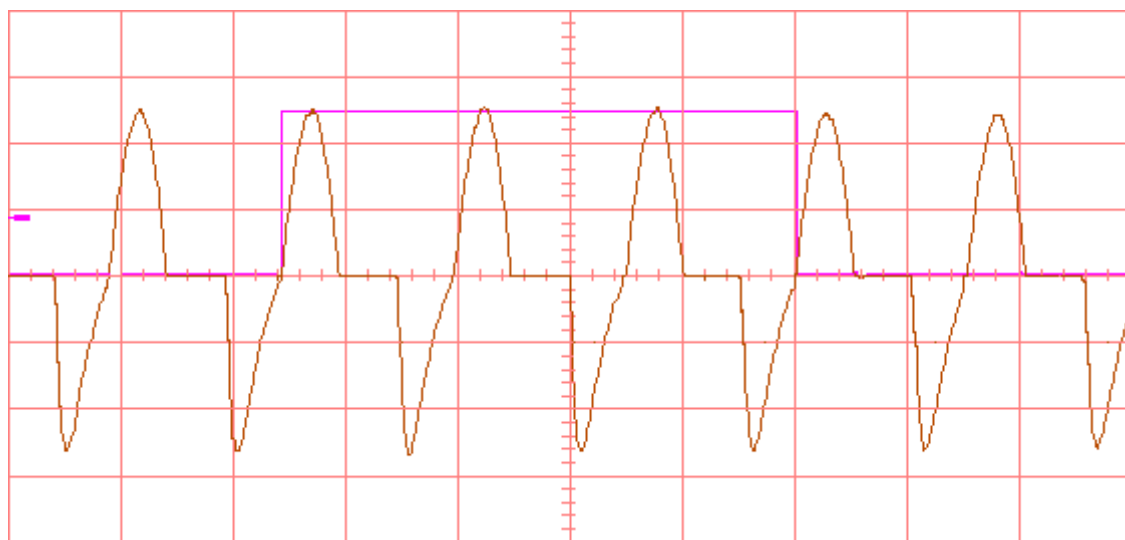


Time (5ms/div) , Volt (500mV/div)

شکل 9-۳ نمایش شکل موجهای شارژ و دشارژ خازن 100uf

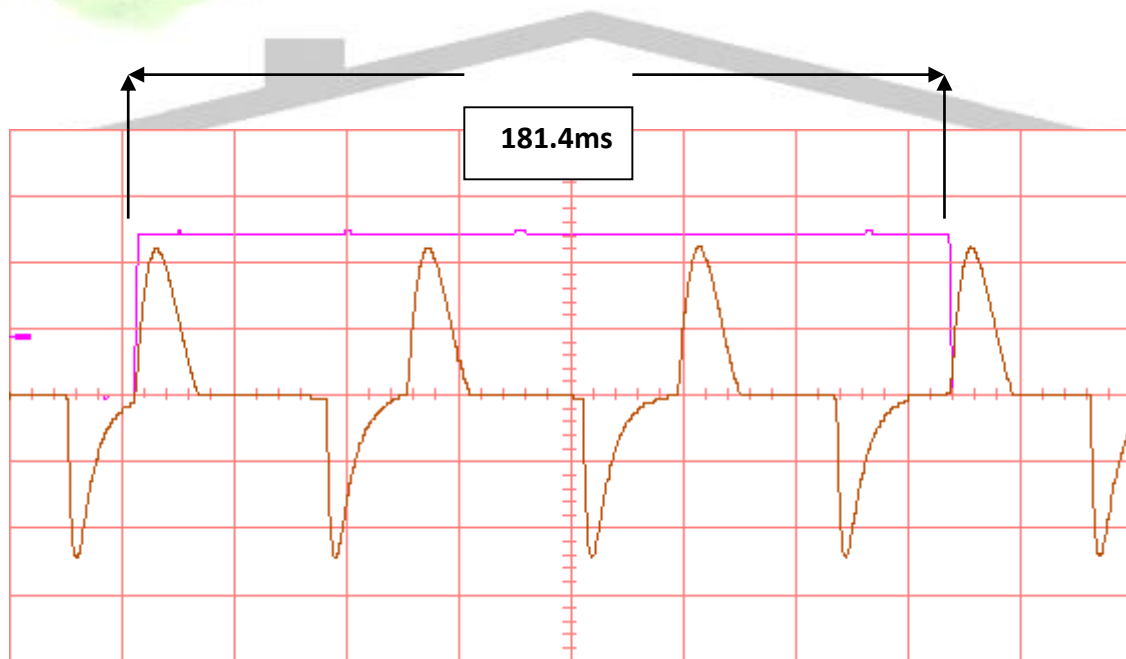


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



Time (5ms/div) , Volt (500mV/div)

شکل ۱۰-۳ نمایش شکل موجهای شارژ و دشارژ خازن 220uf

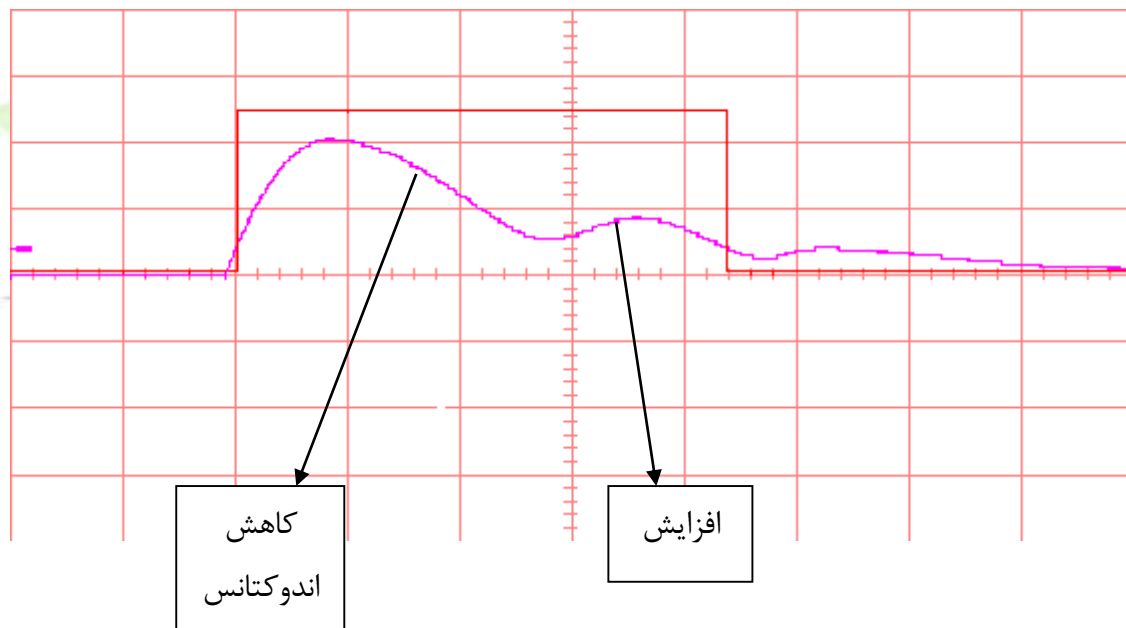


Time (5ms/div) , Volt (500mV/div)

شکل ۱۱-۳ نمایش شکل موجهای شارژ و دشارژ خازن 1200uf

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

همانطور که در شکل‌های فوق مشاهده می شود سه عمل شارژ و دشارژ برای خازن 100uf در مدت زمان 30ms، برای خازن 220uf در مدت زمان 45.4ms و برای خازن 1200uf در مدت زمان 181.4ms انجام می گیرد که دال بر کاهش تعداد سیکل شارژ و دشارژ با افزایش ظرفیت خازن برای یک مدت زمان مشخص میباشد و در نتیجه با کاهش تعداد سیکل‌های شارژ و دشارژ، سرعت موتور نیز کاهش می یابد. در صورتیکه عمل شارژ و دشارژ به موقع انجام نگیرد یا به عبارتی پس از یک همپوشانی کامل و در زمانیکه اندوکتانس موتور در ابتدا رو به کاهش و سپس با شروع همپوشانی مجدد رو به افزایش است صورت گیرد فرم سینوسی خود را تا اندازه ای از دست خواهد داد که در شکل زیر مشاهده میشود.

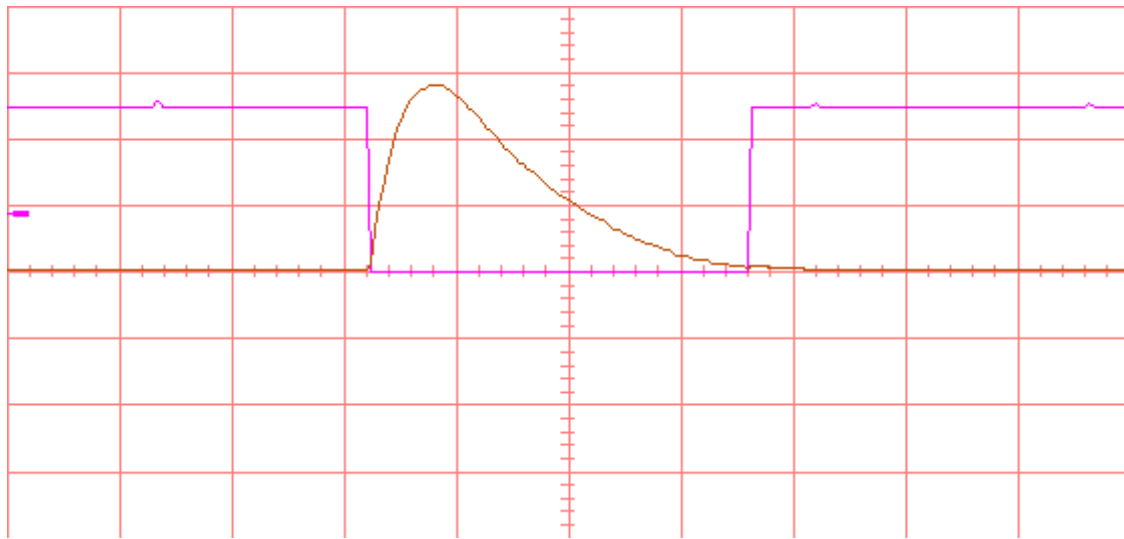


Time (5ms/div) , Volt (500mV/div)

شکل ۱۲-۳ نمایش تاثیر تغییرات اندوکتانس فاز موتور در شکل جریان خازن

در صورت قطع و وصل به موقع جریان در فاز شکل موج جریان خازن بصورت زیر خواهد بود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

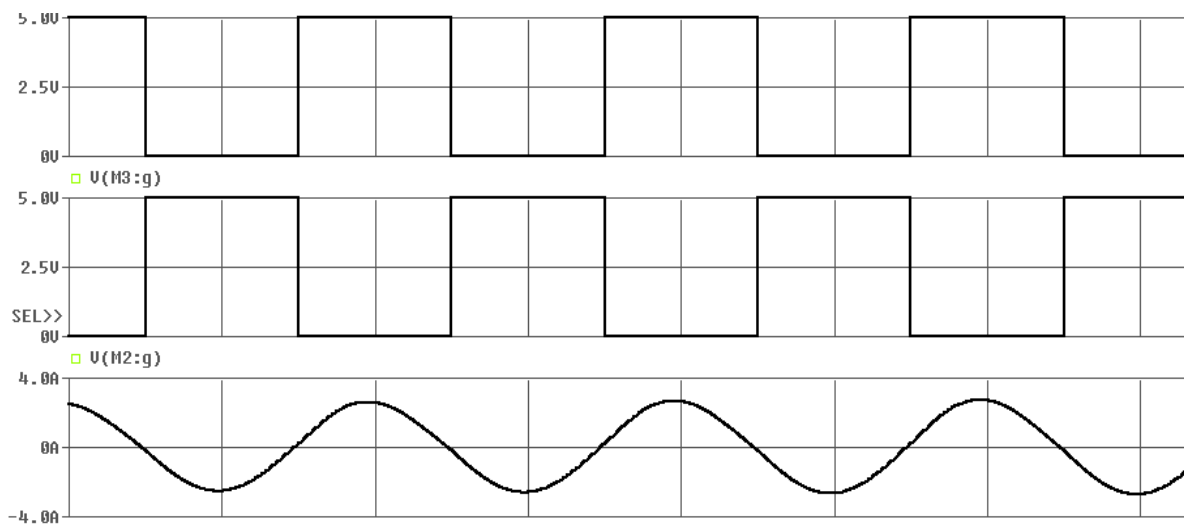


Time (500ms/div) , Volt (500mV/div)

شکل ۱۳-۳ نمایش تغییرات جریان خازن در هنگام شارژ

در اینجا ذکر یک نکته دیگر می تواند حائز اهمیت باشد. اگر به شکل ۱۴-۳ مراجعه کنیم در می یابیم که شکل موج ولتاژ و به تبع آن شکل موج جریان فاز بصورت کاملا سینوسی رسم شده است در حالیکه در عمل این یک حالت خاص و تقریبا ایده ال می باشد به این دلیل که در حالت سینوسی کامل، زمان در نظر گرفته شده بین سیکل شارژ و دشارژ خازن تقریبا صفر است در حالیکه رسیدن به چنین حالتی در عمل بسیار دشوار بوده و معمولا با توجه به سرعت چرخش موتور و تاخیر ادوات سوئیچ، فاصله زمانی مشخصی بین لحظه اتمام شارژ و شروع دشارژ و بالعکس وجود دارد که در اشکال زیر نیز ملاحظه می شود.

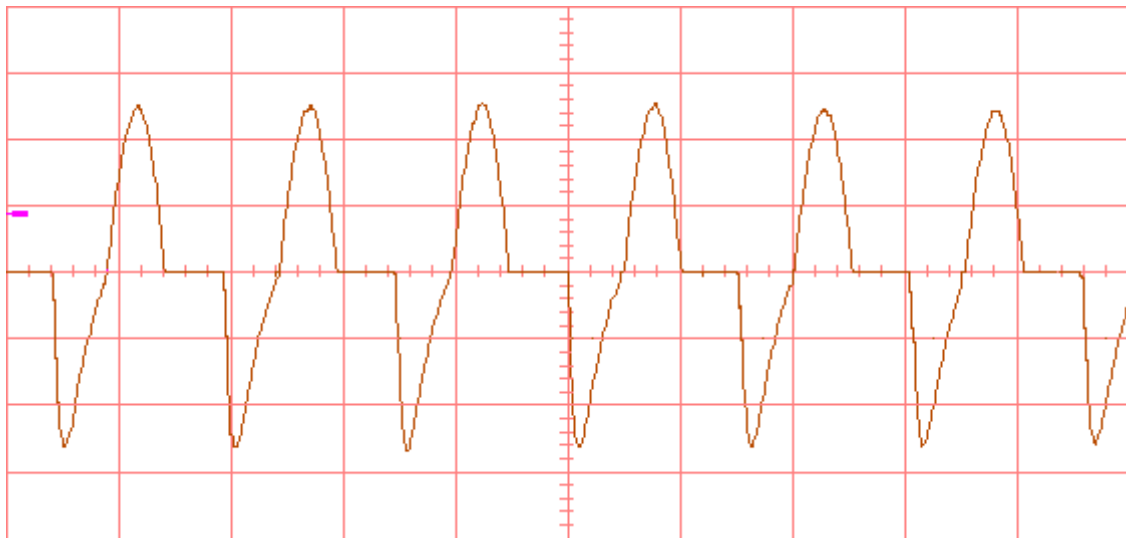
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۱۴-۳ پالسهای اعمالی به گیتهای M1 و M3 و نمایش جریان خازن

همانطور که در شکل ۱۴-۳ مشاهده میشود شکل موجهای رسم شده بترتیب عبارتند از: شکل موج پالس اعمالی به گیت M3 - شکل موج پالس اعمالی به گیت M2 و شکل موج جریان شارژ و دشارژ خازن. با اندکی توجه می توان دریافت که روشن شدن ترانزیستور M3 که به همراه ترانزیستور M1 صورت میگیرد، تعیین کننده لحظه شروع شارژ خازن می باشند. و دقیقاً در لحظه ای که M3 قطع میشود و یا شارژ خازن پایان می پذیرد، M2 وصل شده و سیکل دشارژ خازن آغاز میگردد. لازم بذکر است که در نرم افزار بدلیل در نظر نگرفتن اثر سلف متغیر با زمان  $L(t)$  که به زاویه روتور بستگی دارد شیب شارژ و دشارژ خازن بصورت قرینه می باشند در حالیکه در عمل بدلیل تغییرات اندوکتانس فاز و متعاقب آن تغییر فرکانس رزونانس، شیبها یکسان نخواهد بود. برای درک بهتر این موضوع توجه شما را به شکل زیر جلب می نمایم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



Time (5ms/div), Volt (500mV/div)

شکل ۱۵-۳ منحنی شارژ و دشارژ عملی خازن

در شکل فوق بوضوح دیده میشود که شبیهی شارژ و دشارژ خازن یکسان نیستند. البته در سیستمهای درجه دوم و در مدارهای تشدید سری،  $\alpha$  به عنوان ضریب میرایی تعریف میشود که طبق فرمول زیر به اندازه مقاومت و اندازه اندوکتانس سلف بستگی دارد.

اگر فرض کنیم  $R = 10\Omega$ ,  $L = 54mH$ ,  $C = 100\mu f$

$$\alpha = \frac{R}{2L} = \frac{10\Omega}{54mH} = 9.26$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{54m \times 100\mu}} = 430 \frac{rad}{s} \Rightarrow \alpha < \omega_0 \Rightarrow$$

$$\omega_d = \sqrt{(\omega_0^2 - \alpha^2)} \approx 430 \frac{rad}{s} \Rightarrow V(t) = e^{-\alpha t} (A \cos \omega_d t + B \sin \omega_d t)$$

مطابق با فرمولهای فوق می توان گفت سیستمی که در اختیار داریم از نوع سیستمهای درجه دوم و از نوع زیر میرا می باشد. از اینرو  $V(t)$  بدست آمده در معادلات بالا توصیف کننده همان شکل موج سینوسی خروجی با هارمونیکهای مختلف بوده و این عامل باعث ایجاد یک موج سینوسی ناخالص (با شیب متغیر)

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

می شود. در سیکل شارژ بجز مقاومت  $56\Omega$ ، مقاومت بین درین- سورس (Rds) ترانزیستورهای مسافت M1 و M3 نیز وجود دارند که باید در نظر گرفته شوند. در سیکل دشارژ بجای M1، مقاومت دینامیکی دیود D باید در نظر گرفته شود که این خود باعث وجود تفاوت اندکی در Req یا مقاومت معادل سیستم و در نتیجه تفاوت در شیب شارژ در مقایسه با شیب دشارژ میشود.

همانطور که قبلا اشاره شد برای جلوگیری از قطع شدن مدار توسط خازن C باید بر اساس پالسهای که به گیتهای M1 و M3 و همچنین M2 داده می شود خازن با آهنگ صحیحی شارژ و دشارژ شود که در لحظه شارژ باید M1 و M3 و در لحظه دشارژ M2 و دیود وصل شوند. اثر تغییرات اندوکتانس فاز نیز بوضوح مشخص است. هر چقدر اندوکتانس فاز کمتر و مقاومت بیشتر باشد  $\alpha$  ضریب میرایی عدد بزرگتری خواهد بود و در نتیجه شیب شکل نیز بیشتر خواهد شد. در ناحیه دشارژ چون R ثابت بوده و اندوکتانس موتور رو به کاهش است شیب بیشتری را شاهد هستیم. پالسی که به گیتهای M1 و M3 می رود برای فاز 1 دقیقا یکسان است اما در اینجا به دلیل انتخاب ترانزیستور M1 از نوع n\_channel و همچنین الزام انتخاب یک زمین مجزا برای اعمال Vgs مناسب باید از یک Opto\_coupler استفاده نمود تا برای ترانزیستور M1 زمین مجزا تخصیص داده شود چون نمی توان سیگنال VgsM1 را بین گیت M1 و زمین اصلی مدار اعمال نمود در نتیجه باید یک تغذیه DC مجزایی را برای سوئیچ نمودن M1 اختصاص داد همچنین ولتاژ VCC که بر روی درین M1 قرار دارد از تغذیه اصلی مدار گرفته می شود اگر چه پالسهای که به گیت M1 و M3 اعمال میشوند از دو تغذیه کاملا مجزا گرفته شده اند (Vcc1 و Vcc2) ولی همانطور که اشاره شد باید به صورت کاملا همزمان اعمال گردند. باید توجه نمود که M1, M2 در هیچ زمانی نباید با هم وصل شوند زیرا باعث ایجاد اتصال کوتاه در مدار می گردند.

در شکل 16-3 اتصالات کامل مدار برای یک فاز نشان داده شده است. با توجه به شکل در می یابیم که پالسهای لازم برای انجام عمل شارژ و دشارژ توسط پورت دو میکرو به تراشه ۷۶۶۷ و از آنجا به گیت مسافتها داده میشوند. نقش تراشه ۷۶۶۷ در اینجا در واقع راه انداز ترانزیستورهای قدرت (IRF540) است

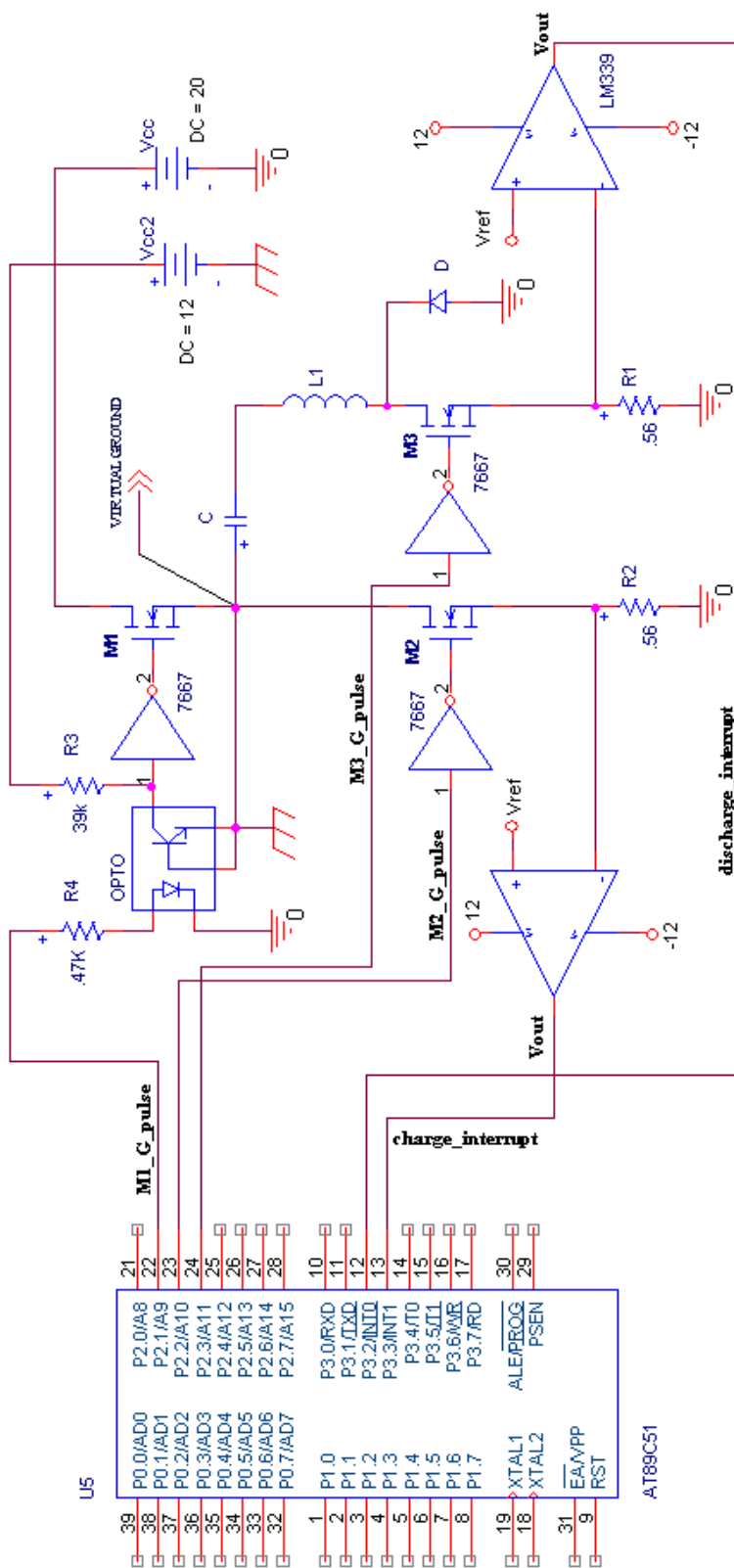
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

. برای روشن شدن ترانزیستورهای ماسفت ، خازن گیت آنها باید تا ولتاژ معینی برای تشکیل کانال و اشباع ترانزیستور شارژ شود و عمل شارژ نیز برخلاف آنچه در تئوری گفته میشود نیاز به جریان زیادی دارد . البته می توان این ماسفتها را با یک جریان کم نیز درایو کرد ولی باعث افزایش زمان شارژ خازن و در نتیجه افزایش زمان سوئیچینگ ترانزیستور میشود . این تراشه قادر است جریانی با پیک در حدود ۱ آمپر را درست در لحظه روشن شدن تامین کند که با این جریان خازن گیت به سرعت شارژ شده و عملا سرعت سوئیچ ترانزیستور را بالا می برد. دیود بکار رفته شده در این مدار ( BYV28 ) نیز از نوع دیودهای پر سرعت (Ultra fast) بوده و برای حداقل رساندن زمان دشارژ خازن از این نوع دیود استفاده شده است .





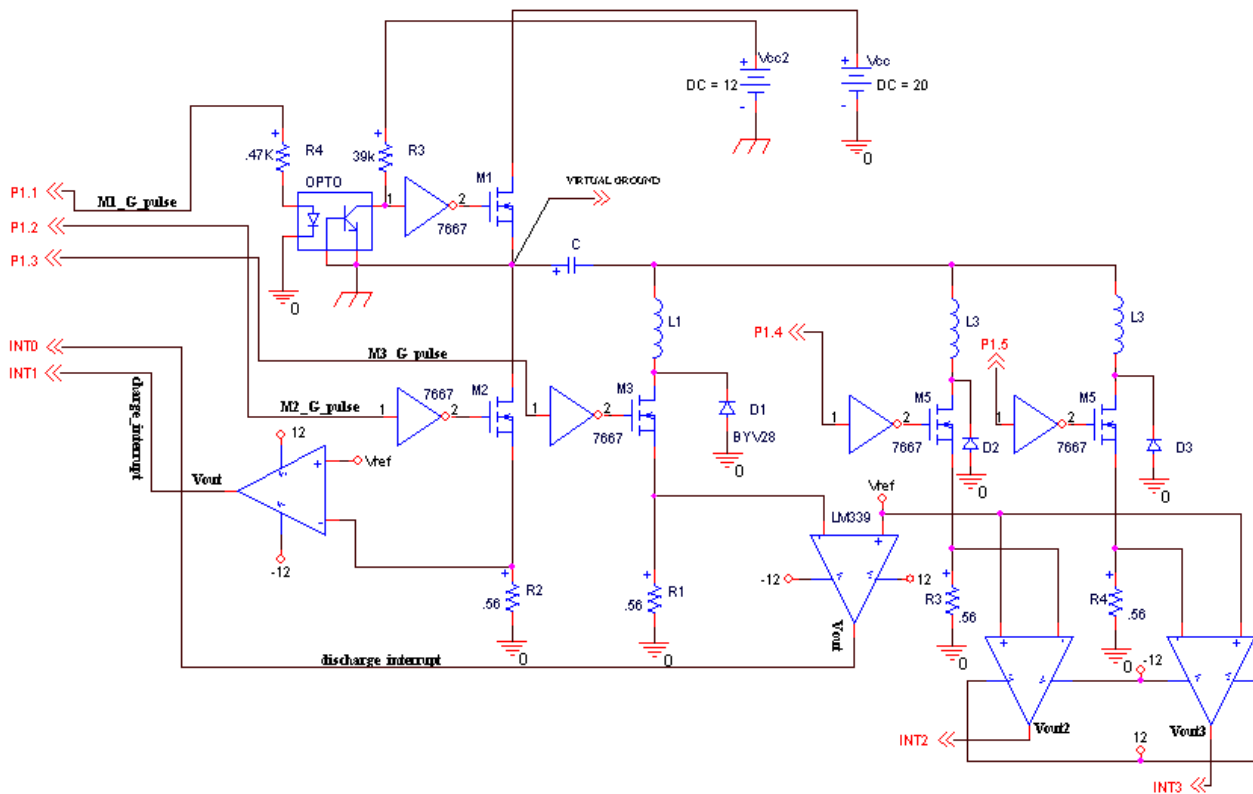
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۱۶-۳ نمایش اتصالات داخلی مدار برای یک فاز

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

در شکل ۱۷-۳ نمای کلی مدار را برای سه فاز موتور مشاهده می کنیم. دو فاز اضافه شده دقیقا مشابه فاز اول بوده و فقط برای نمونه برداری از جریانهای فاز ۲ و ۳ دو اپمپ دیگر به مدار اضافه گشته است. اینکه کدامیک از فازها در ابتدا وصل شود بستگی به موقعیت روتور در هنگام راه اندازی دارد. اگر فرض کنیم همپوشانی بین قطب استاتور و روتور فاز یک اتفاق افتاده باشد پس از اینکه میکرو پالس opto1 را دریافت نماید M1 و M3 تا زمان رسیدن وقفه دشارژ وصل می شوند. پس از دریافت وقفه دشارژ، M1 و M3 قطع و M2 و دیود D1 وصل می شوند. بعد از رسیدن وقفه دشارژ و تا زمانیکه opto2 دستور وصل شدن فاز ۲ را نداده باشد عملیات شارژ و دشارژ خازن توسط فاز ۱ ادامه می یابد. به محض رسیدن سیگنال نشان دهنده آغاز همپوشانی فاز ۲، M3 قطع و بجای آن M4 وصل میشوند و بهمین ترتیب برای فاز ۳ بجای M4، M5 و M1 وصل میشوند. برای حالت دشارژ نیز M2 به همراه دیود فاز مربوطه وصل می شوند.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۱۷-۳ نمایش نحوه اتصال سه فاز درایور

همانطور که در فصل ۲ اشاره شد و با توجه به شکل ۸-۲، برای جلوگیری از ایجاد گشتاور منفی، قبل از شروع بازه کاهش اندوکتانس فاز موتور، جریان باید قطع شود. از طرفی گفته شد که هر چقدر مدت زمان وصل بودن جریان در فاز بیشتر باشد (در بازه رشد اندوکتانس و همپوشانی کامل) با توجه به رابطه  $T = \frac{i^2}{2} \frac{dL(\theta, i)}{d\theta}$ ، گشتاور ایجاد شده در خروجی بیشتر خواهد شد. در راه اندازهای معمولی بدلیل زمانی که جریان فاز برای رسیدن به جریان مینا نیاز دارد، جریان فاز یک باید زودتر قطع شده و جریان فاز بعدی وصل گردد که در نتیجه در بازه شروع افزایش اندوکتانس فاز مذکور، جریان به میزان لازم افزایش یافته باشد. در این راه انداز بدلیل اینکه افزایش جریان فاز با پدیده تشدید صورت میگیرد، نرخ رشد آن بیشتر از سایر راه اندازها بوده و می توان زاویه خاموشی (turn-off angle) را اندکی جلوتر برد. بدین معنی که زمان وصل بودن جریان در فاز یک را قبل از وصل شدن فاز دو زیادتر نمود که با اینکار گشتاور خروجی موتور را افزایش می دهیم.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فصل چهارم

### خلاصه و نتیجه گیری

در فصل گذشته راه انداز جدیدی را طراحی نمودیم که جزء راه اندازهای رزونانسی طبقه بندی شده و دارای چند مزیت خاص بود:

۱- بدلیل استفاده از رزونانس در این مدار، مدت زمان لازم برای رسیدن جریان فاز به مقدار مطلوب و همچنین مدت زمان لازم برای قطع جریان فاز در مقایسه با مدارهای مشابه غیر رزونانسی مقدار کمتری است.

۲- در این راه انداز بدلیل اینکه کاهش جریان فاز با عمل رزونانس به تندی صورت میگیرد گشتاور ترمزی ایجاد شده که باعث کاهش سرعت موتور می شود کمتر خواهد بود.

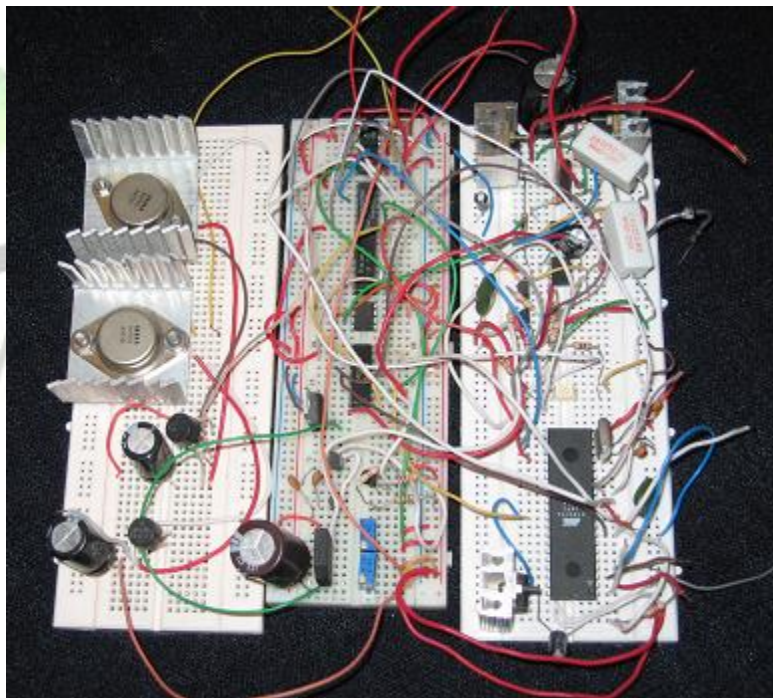
۳- بدلیل اینکه کلیه سوئیچها در این راه انداز در جریان صفر صورت میگیرد تلفات سوئیچینگ این راه انداز از انواع مشابه کمتر خواهد بود.

۴- تعداد سوئیچهای به کار برده شده برای یک موتور سه فاز ۵ عدد بوده و قابل قبول می باشد.

همچنین به ازای هر فاز اضافه فقط یک سوئیچ به مدار اضافه میگردد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- ۵- انرژی ذخیره شده درون فاز به منبع DC باز می گردد و تلف نمی گردد .
- ۶- بدلیل بهره گیری از پدیده رزونانس در این مدار می توانیم مدت زمان برقرار بودن یک فاز و در نتیجه گشتاور خروجی کل سیستم را افزایش دهیم و یا به عبارت دیگر می توان فاصله زمانی بین زاویه خاموش شدن فاز در حال کار و زاویه روشن شدن فاز بعدی را اندکی کاهش داد .
- این پروژه که عکسی از آن را می توان در شکل ۴-۱ مشاهده نمود بطور کامل توسط نرم افزار ORCAD شبیه سازی گردیده و نتایج حاصله تطابق خوبی با نتایج عملی دارند. با بکاربردن خازنهای پر سرعت ( Fast ) می توان به سرعتهای بالاتر نیز رسید .



شکل ۴-۱ نمای کلی مدار ساخته شده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### پیوست الف :

مدلسازی دینامیکی راه انداز غیر خطی موتور رلوکتانس به کمک Spice

برای شبیه سازی خصوصیات دینامیکی موتور رلوکتانسی ، باید بدقت خصوصیات اندوکتانس - جریان - موقعیت موتور را بررسی نمود . تغییرات اندوکتانس فاز موتور با تغییر موقعیت روتور بصورت سری فوریه بیان گردیده که در اینجا فقط سه جمله اول از سری فوریه در نظر گرفته شده است . برای تعیین ضرایب سری فوریه سه نقطه روی نمودار جریان - اندوکتانس در نظر گرفته می شود که عبارتند از :

۱ - اندوکتانس موتور در زمان هم راستایی قطب استاتور و روتور (aligned)

۲ - اندوکتانس موتور در زمان غیر هم راستایی (unaligned)

۳ - اندوکتانس موتور در بین دو موقعیت هم راستایی و غیر هم راستایی (Middle) . در این مدل از اثر

متقابل فازها بر روی یکدیگر صرف نظر شده است.

معادلات بدست آمده بشرح زیر میباشد :

معادله ولتاژ برای فازی که در حال هدایت می باشد :

$$(۱) \quad V_s R_i + L \frac{di}{dt} + \frac{d\psi}{dt}$$

که در این معادله  $V$  ولتاژ اعمالی به دو سر فاز ،  $R$  مقاومت فاز موتور ،  $L$  میزان اندوکتانس فاز و  $\psi$  شار

نشتی در فاز می باشد.

اندوکتانس فاز  $A$  : با استفاده از سه جمله در سری فوریه ، که ضرایب آن جمله ها به جریان وابسته

هستند بیان می شود .

$$(۲) \quad L(i, \delta) = L_o(i) + L_1(i) \cos N_r \theta + L_2(i) \cos 2N_r \theta$$

$$(۳) \quad L_o = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} (L_a + L_u) + L_m \right]$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

که در اینجا :

$$(۴) L_1 = \frac{1}{2}(L_a - L_u)$$

$$(۵) L_2 = \frac{1}{2}[\frac{1}{2}(L_a + L_u) - L_m]$$

$$(۶) L_a = L(\theta = 0^\circ) = \sum_{n=0}^{n=k} a_n i^n$$

$$(۷) L_m = L(\theta = \frac{\pi}{2Nr}) = \sum_{n=0}^{n=k} b_n i^n$$

$$(۸) L_a = L_0 + L_1 + L_2, L_m = L_0 - L_2, L_u = L_0 - L_1 + L_2, L_u = L(\theta = \frac{\pi}{Nr})$$

با جاگذاری  $\theta$  مناسب در رابطه (۲) مقادیر فوق برای  $L_a$  و  $L_m$  و  $L_u$  بدست می آید .

$$L_o = \frac{1}{2}[\frac{1}{2}(L_a + L_u) + L_m^{L_0 - L_2}] = L_o$$

$L_a$  مشخص کننده اندوکتانس در حالت هم راستا

$L_u$  مشخص کننده اندوکتانس در حالت غیر هم راستا

$L_m$  مشخص کننده حالت میانی

با توجه به فرمولها در می یابیم که اندوکتانس حالت غیر هم راستا به جریان وابستگی ندارد .

$$L_u = L(\theta = \frac{\pi}{Nr})$$

برای فازهای دیگر نیز مشابه فرمولهای فوق را می توان نوشت با این تفاوت که باید ۹۰ درجه الکتریکی آنها

شیفت داد.

پیوست ب :

نرم افزار میکرو 89C51

	00H	ORG
	MAIN	LJMP
; INTERRUPT 0 ADDRESS	0003H	ORG
	INT_0	LJMP
	0BH	ORG
; INTERRUPT TO ADDRESS	T_0	LJMP

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

```

                                0013H   ORG
; INTERRUPT 1 ADDRESS          INT_1   LJMP
                                1BH     ORG
; INTERRUPT T1 ADDRESS        T_1   LJMP
                                40H     ORG

                                MAIN:
; DISCHARGE PREPARATION      A, #00000100B   MOV

                                P2, A   MOV
                                A, #0FFH   MOV
                                P1, A   MOV
                                P3, A   MOV
                                R1, #3H   MOV
                                R0, #1H   MOV
                                R2, #00H   MOV
DIFINING TMODE FOR ; TMOD, #66H   MOV
                                ENABLING THE TIMER INT
                                IP, #0AH   MOV
                                TCON, #55H   MOV
                                TH1, #0FFH   MOV
                                TL1, #0FFH   MOV
                                TH0, #0FFH   MOV
                                TLO, #0FFH   MOV

                                LOOP:
; ENABLING ALL 4 INTERRUPTS    IE, #8FH   MOV

                                LOOP3:

```



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

```

R2, #00H   MOV
CHECK IF DISCHARGE SEQUENCE ;          R1, #5H, CHARGE   CJNE
                                           SHOULD BE DONE
                                           IE0   SETB
                                           STAY  JMP
                                           CHARGE:
; CHARGE SEQUENCE EXECUTION          R1, #00H, BACK   CJNE
                                           IE1   SETB
; SYSTEM STANDBY WAITING FOR OPTO          STAY:
                                           TO INTERRUPT
                                           P1.0  CPL
                                           R2, #2H, STAY   CJNE
                                           LOOP3  JMP
                                           BACK:
                                           STAY  JMP
                                           INT_0:
; DISCHARGE SEQUENCE          R1, #5H, RETURN  CJNE
                                           P2.1  CLR
                                           P2.3  CLR
                                           P2.2  SETB
                                           R1, #00H  MOV
                                           RETURN:
                                           RETI
                                           INT_1:
SEQUENCE ; CHARGE          R1, #00H, RETURN2  CJNE
                                           P2.2  CLR

```

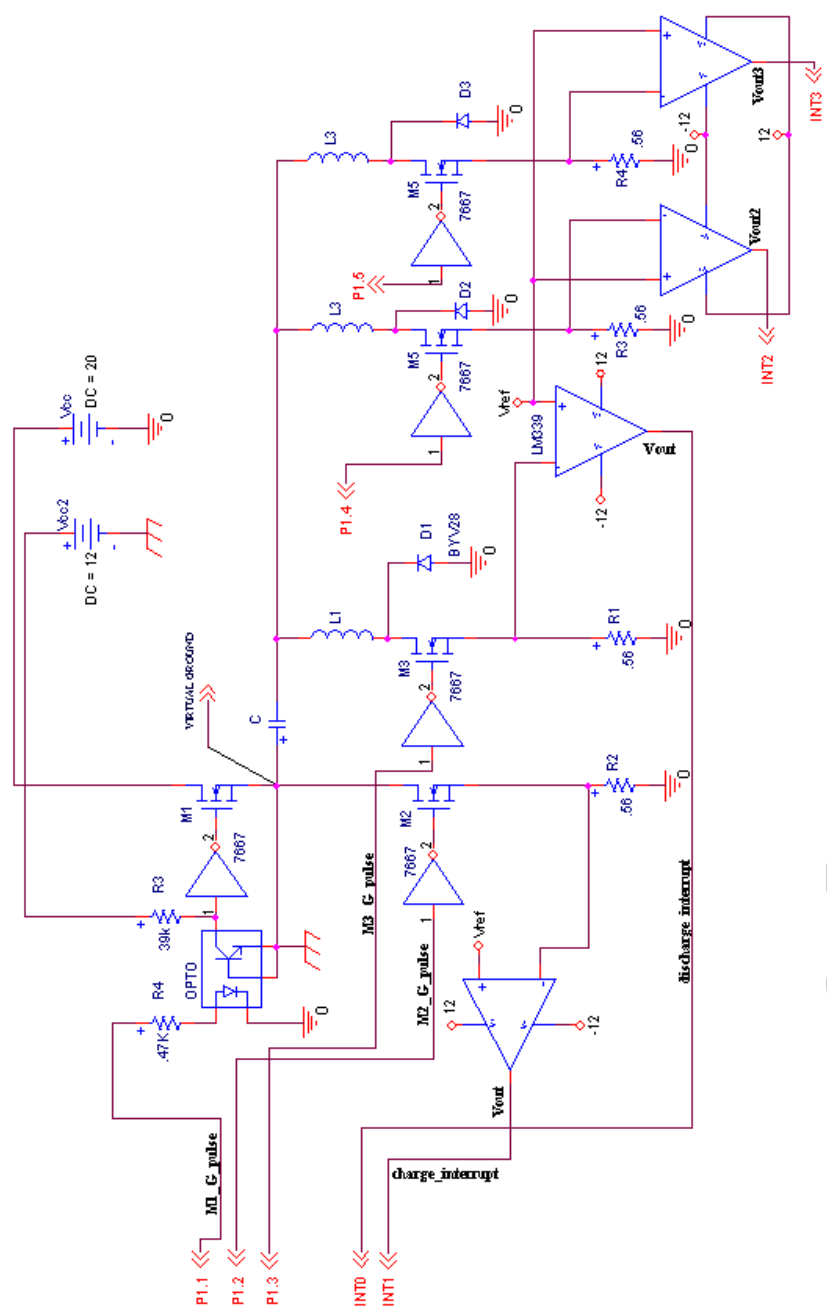
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

```

P2.1 SETB
P2.3 SETB
R1, #5H MOV
RETURN2:
RETI
;TIMER 0 INTERRUPT WHEN T_0:
ENCOUNTERED STOPS THE
CHARGE & DISCHARGE CYCLE ;
A,R1 MOV
R1,#07H MOV
RETI
;TIMER 1 INTERRUPT ENCOUNTERED T_1:
;BEGINNING OF THE PROCEDURE WITH R0,#01,CONTINUE CJNE
; THE
CHARGE CYCLE
A,#0AH MOV
P2,A MOV
R0,#00H MOV
R1,#5H MOV
RETURN_T1 JMP
;CONTINUES THE PREVIOUS CONTINUE:
PROCEDURES
;ACCORDING TO R1& R2 CONTENTS
R1,A MOV
R2,#02H MOV
RETURN_T1:

```

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فوت های لازمه



RETI  
END

پیوست ج :

شکل ۱۸-۳ نمایش کامل مدار درایور برای موتور سه فاز

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### مراجع:

- [1]- R.Krishnan "Switched Reluctance Motor Drive." Modeling, Simulation, Analysis, Design and Application, Magne Physics publishing, 2001.
- [2]- E.Afjei, "A New Resonant Converter Circuit for Reluctance Motor." International Journal of Engineering May 1999.
- [3]- T.J.E Miller , 'Switched Reluctance Motors and their Control' Mega physics publications and Oxford Science Press 1993
- [4]- S.S.Park, T.A.Lipo, "New Series Resonant Converter for Variable Motor Drives." 1992 IEEE IAS
- [5]- T.J.Miller, "Switched Reluctance Motor Drive, Ventura, CA, Intertec Communications Inc, 1988.
- [6]- Sayeed Mir "Classification of SRM Converter Topologies for automotive Applications." Delphi Saginaw Steering systems 2000
- [7]- P.J. Lawrenson. "Variable-Speed Switched Reluctance Motors." Proceeding IEE, Vol. 127 , Pt. B, No. 4, July. 1980, pp.253-265
- [8]- Michael T.DiRenzo "Switched Reluctance Motor Control-Basic Operation." Digital Signal Processing Solutions February 2000
- [9]- P.Bazaz, E.Afjei, H.A.Toliyat, "A Hybrid Converter for High Speed Operation of Switched Reluctance Motor Drives". IEMDC MAY 15-18, pp. 71-73, 2005, SanAntoni, Texas
- [10]- J.Dunn, "Determining Mosfet Driver Needs for Motor Driver Applications," Microchip Technology Inc, 2003.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- P.J. Lawrenson. "Switched Reluctance Motor Drive," Electronics & [11]-  
Power, February 1983, pp. 144-147.
- [12]- T.J. Miller. Switch Reluctance Motor Drive, Ventura, CA: Intertec  
Communications Inc, 1988.
- [13]- T.J. Miller. "Brushless Reluctance Motor Drives," IEE Power  
Engineering Journal, Vol. 1 , November 1987, pp. 325-331.
- [14]- J.T. Bass, M. Ehsani, and T.J. Miller. "Development of a  
Unipolar Converter for Variable Reluctance Motor Drives," IEEE  
Transactions, Vol. IA-23, 1987, pp. 545-553.
- [15]- T.J. Miller and T.M. Jahns. " A Current Controlled Switched  
Reluctance Drive For FHP Applications," Conference on Applied Motion  
Control, Minneapolis, June 1986, pp. 109-117.
- [16]- R. Krishnan and P.N. Materu. " Design of a Single-Switch-Per-Phase  
Converter for Switched Reluctance Motor Drives," IEEE Transaction on  
Industrial Electronics, Vol. 37, No. 6, December 1990, pp. 169-476.
- [17]- Gabriel Gallegos-Lopez, J. Walters, K.Rajahekarta," Switched  
reluctance machine control strategies for automotive applications", SAE  
technical paper series number 2001-01-0995, march 5-8, 2001