شرکت دانش بنیان

تجهیزات ابزار آزما

نوآوری و فناوری برای توسعه

دستورکار جامع الکترونیک صنعتی

دستور کار ویژه دانشجو

تجهیزات آزمایشگ
Laboratory Equipment

نوآوری و فناوری برای توسعه

خراسان رضوی، مشهد، بزرگراه آسیایی، جاده شهرک صنعتی طوس، شهرک فناوری های نوین غذایی، ساختمان پژوهش، طبقه اول، شرکت تجهیزات ابزار آزما

www.abzarazma.ir

info@abzarazma.com

www.aparat.ir/abzarazma

+98 51 35420099 (3line)

ازمایشگاه های الکترونیک قدرت و ماشین الکتریکی
Power Electronics and Electrical Machines Labs

ازمایشگاه های سیستم های قدرت و انرژی های نو
Power Systems and Renewable Energies Lab

ازمایشگاه ماشین های الکتریکی
- آموزنده ترانسفورماتور (MC-101)
- آموزنده ماشین های القایی(آسنکرون) (MC-100)
- آموزنده ماشین های سنکرون (MC-103)
- آموزنده ماشین های الکتریکی DC (MC-102)
- آموزنده ماشین های الکتریکی پیشرفته (MC-105)
- آموزنده درایو ماشین های القایی(آسنکرون) (MC-104)
- آموزنده ماشین های مخصوص (MC-107)
- آموزنده ماشین های الکتریکی AC (MC-106)
- آموزنده مدار گسترده DC (MC-111)
- آموزنده ماشین الکتریکی با قابلیت پایش و کنترل نرم افزاری (MC-110)
- ماژول مانیتورینگ و کنترل ماشین های الکتریکی (MC-61)
- آموزنده مدار گسترده AC (MC-112)

ازمایشگاه الکترونیک صنعتی
- آموزنده الکترونیک صنعتی پیشرفته (IE-102)
- آموزنده الکترونیک صنعتی تکمیلی (IE-101)
- آموزنده الکترونیک صنعتی یکسو سازها و برشگرها (IE-104)
- آموزنده الکترونیک صنعتی کنترل پیشرفته موتور (IE-103)
- آموزنده الکترونیک صنعتی اینورتر و کنترل V/F (IE-106)
- آموزنده الکترونیک صنعتی مبدل های DC به DC (IE-105)
- آموزنده الکترونیک صنعتی با قابلیت پایش و کنترل نرم افزاری (IE-110)
- آموزنده الکترونیک صنعتی سیکلو کانورتر (IE-107)
- ماژول مانیتورینگ و کنترل مبدل های توان (IE-67)

ازمایشگاه الکترونیک قدرت
- آموزنده الکترونیک قدرت (IE-108)

ازمایشگاه بررسی سیستم های قدرت
- شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت پایه (PSA-101)
- شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت ۱ (PSA-100)
- شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت پیشرفته (PSA-103)
- شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت تکمیلی (PSA-102)
- شبیه ساز تحلیل سیستم های انرژی (PSA-105)
- شبیه ساز جامع بررسی سیستم های قدرت (PSA-104)
- آموزنده رله و حفاظت و سیستم قدرت (RP-104)
- آموزنده رله و حفاظت و شبیه ساز پست برق (RP-103)
- ماژول مانیتورینگ و کنترل سیستم های قدرت (RE-61)
- آموزنده رله و حفاظت و پست برق و سیستم های قدرت (RP-105)

ازمایشگاه حفاظت و رله
- آموزنده رله و حفاظت پایه (RP-100)
- آموزنده رله و حفاظت تکمیلی (RP-101)
- آموزنده رله و حفاظت پیشرفته (RP-102)
- آموزنده رله و حفاظت و شبیه ساز پست برق (RP-103)
- آموزنده رله و حفاظت و سیستم قدرت (RP-104)
- آموزنده رله و حفاظت و پست برق و سیستم قدرت (RP-105)
- آموزنده رله و حفاظت پست برق رله اضافه جریان (RP-106)
- آموزنده رله و حفاظت پست برق رله دیفرانسیل (RP-107)
- آموزنده رله و حفاظت پست برق رله دیستانس (RP-108)
- ماژول مانیتورینگ و کنترل سیستم های قدرت (RE-61)

ازمایشگاه انرژی های نو
- شبیه ساز تولید برق بادی پیشرفته (RE-102)
- شبیه ساز تولید برق بادی (RE-101)
- آموزنده تولید برق خورشیدی(فتوولتاییک) (RE-100)
- آموزنده تولید برق هایبرید (بادی-خورشیدی-پیل سوختی) (RE-105)
- آموزنده تولید برق پیل سوختی (RE-104)
- شبیه ساز تولید برق بادی و خورشیدی (RE-103)
- ماژول مانیتورینگ و کنترل سیستم های قدرت (RE-61)

ازمایشگاه ریز موج و انتن
- آموزنده ریز موج و انتن (TC-104)

ازمایشگاه پردازش سیگنال های دیجیتال
- آموزنده پردازش سیگنال های دیجیتال DSP (DL-107)

ازمایشگاه سیستم های دیجیتال
- آموزنده میکرو و کنترلر ARM (DL-104)
- آموزنده میکرو و کنترلر PIC (DL-105)
- آموزنده سیستم های دیجیتال۲ (DL-106)
- آموزنده مدار منطقی (DL-101)
- آموزنده سیستم های دیجیتال۱ (DL-102)
- آموزنده میکرو و کنترلر AVR (DL-103)

ازمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه گیری
- میز آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه گیری (CI-103)
- میز آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه گیری (CI-101)

ازمایشگاه الکترونیک
- میز آزمایشگاه الکترونیک (CI-102)
- آموزنده جامع مدارهای الکترونیکی (AE-106)
- آموزنده مدارهای الکترونیکی۱ (AE-102)

ازمایشگاه الکترونیک انالوگ
- آموزنده مدارهای الکترونیکی (AE-105)
- آموزنده مدارهای الکترونیکی۳ (AE-104)
- آموزنده مدارهای الکترونیکی۲ (AE-103)

کارگاه الکترونیک
- کارگاه تجهیزات SMD (BE-106)
- کارگاه مدار چاپی (BE-104)

ازمایشگاه مدارهای پالس و دیجیتال
- آموزنده مدارهای تکنیک پالس (AE-101)
- آموزنده مدارهای مجتمع (AE-100)

ازمایشگاه های الکترونیک و مخابرات
Electronics and Telecommunications Labs

راهنما

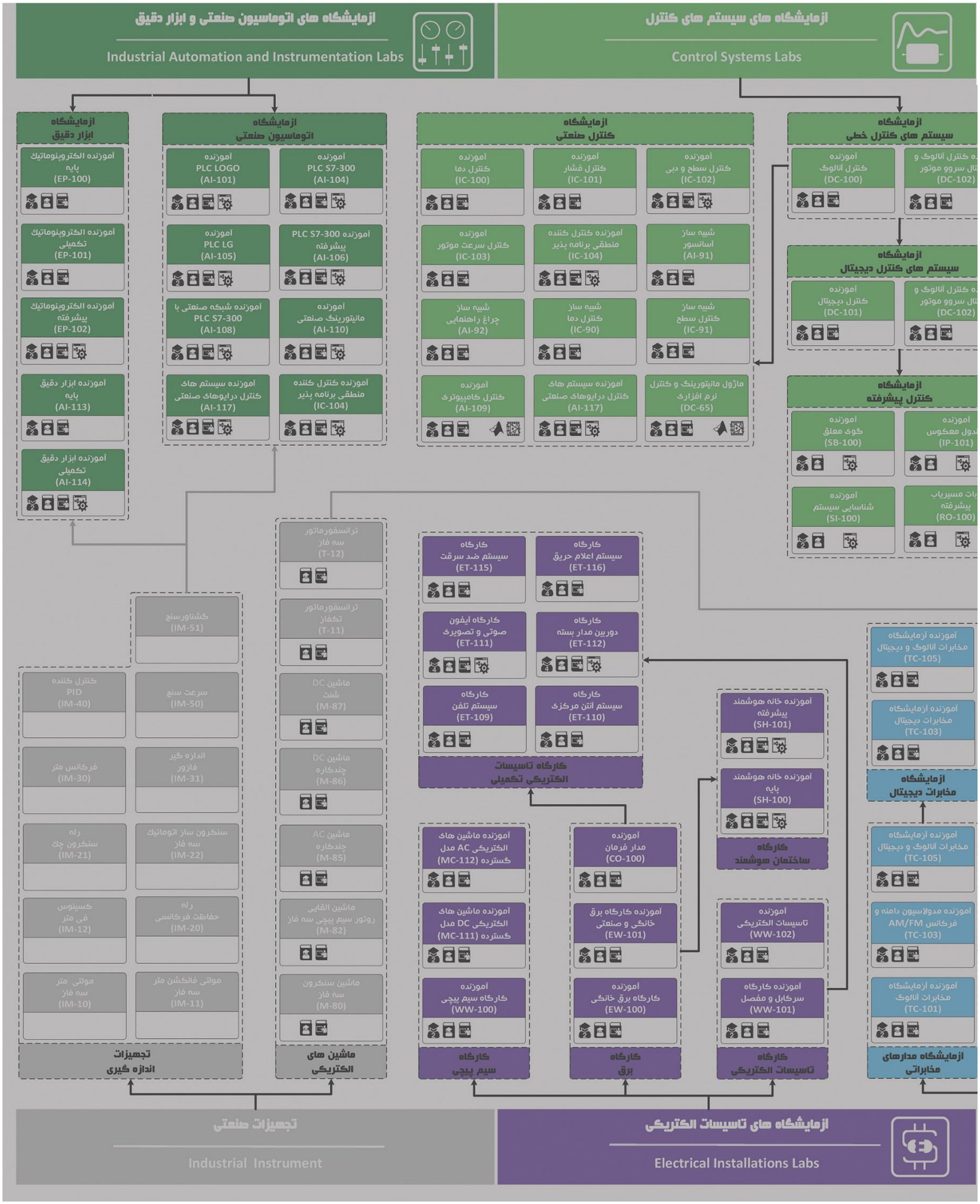
- تعداد کاربر
- دستورکار مدرس
- اتصال به نرم افزار Matlab/Simulink
- دستورکار دانشجو
- اتصال به نرم افزار
- اتصال به نرم افزار Labview

شرکت دانش بنیان

تجهیزات ابزار آزما

...اهی مهندسی برق

Electrical Engineering L...



دستور کار آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

اهداف:

هدف از این دستور کار معرفی تجهیزات آزمایشگاههای الکترونیک صنعتی و همچنین ارائه دستورکار لازم برای انجام آزمایشات می‌باشد.

پیشگفتار:

پیشنهاد می شود شروع آزمایشگاه با یک یا چند بازدید از مرکز کاربردی مرتبط با مطالب درس شروع شود. کارخانه‌جات صنعتی دارای مدارات الکترونیک قدرت و غیره می‌توانند گزینه مناسبی برای بازدید دانشجویان به شمار روند.

در این دستور کار مطالب اساسی درس الکترونیک صنعتی در قالب ۱۶ آزمایش ارائه گردیده است. مشخصات آموزنده‌ها در پیوست شماره یک تشریح داده شده است.

مطالب بیان شده در دستور کار هر آزمایش شامل مقدمه، شرح آزمایش و تحلیل و جداول مربوطه و در پایان سؤالات مربوط به آزمایش می‌باشد. این دستور کار طوری طرح شده است تا دانشجو حین انجام مراحل مختلف آزمایش بخش‌های مختلف آن را تکمیل نماید و با تحلیل نتایج حاصل به درک عمیق‌تری از مفاهیم الکترونیک صنعتی دست یابد. طبیعتاً به دلیل زمان محدود آزمایشگاه، انجام برخی محاسبات در آزمایشگاه توسط دانشجو امکان پذیر نبوده و این مهم به بخش سؤالات انتهای هر بخش منتقل شده است.

هر دانشجو قبل از حضور در کلاس می‌بایست یک پیش گزارش راجع به مباحث جلسه جاری و گزارش تکمیل شده جلسه قبل را تحویل نماید. انجام بحث و تبادل نظر دانشجویان و مدرس کلاس راجع به نتایج حاصل از آزمایش‌هاتأثیر قابل ملاحظه ای در درک کنترل فرآیندها دارد. مسلماً گزارش حاصل همراه با نقص و کاستی‌هایی است که با پیشنهادات شما مدرسین و دانشجویان عزیز در نسخه های بعدی برطرف خواهد شد.

نکات مهم:

هشـــــدار۱ (اقـــدامـــات احتیاطی)

در هنگام انجام سیم بندی و یا قبل از هرگونه تغییری در مدار، دقت کنید که برق دستگاه قطع باشد.

ه شدار۲ (خطر آ سیب به دستگاه و شوک الکتریکی)

برای تعمیر تجهیزات از افراد واجد شـــرایط و با هماهنگی شـــرکت سازنده استفاده نمایید.

ه شدار۳ (خطر آ سیب به دستگاه و شوک الکتریکی)

هیچ‌گونه اصـــلاح و یا تغییری در وضـــعیت فعلی تجهیزات مجاز نیست.

هشدار۴ (خطر آسیب به تجهیزات)

به محدوده مجاز ورودی و خروجی‌های تجهیزات توجه شـــود و از اعمال ورودی خارج از محدوده مجاز به تجهیز خودداری شود.

هشدار۵ (شوک الکتریکی)

به منظور حفظ جان کاربران، آموزنده‌ها به سیم ارت مجهز می باشد لذا از صحت اتصال سیم ارت ساختمان محل آزمایشگاه، مطمئن باشید

هشدار۶ (اقدامات احتیاطی)

اتصالات را به طور کامل بررسی کنید تا سیم‌ها اتصال کوتاه و یا رها شده نباشند.

هر اتصالی که ممکن است دو سطح ولتاژ مختلف را به هم اتصال کوتاه کند؛ بررسی گردد.

پیش از وصل کردن برق دستگاه، سیم‌بندی با حضور مدرس بررسی گردد.

هشدار۷ (اقدامات احتیاطی)

در هنگام کار با اسیلوسکوپ متوجه باشید که زمین همه پروب‌ها به هم متصل هستند.

هنگامی که چند اندازه گیری مختلف انجام می دهید از ایزوله بودن پروب ها اطمینان حاصل نمائید.

دقت کنید که مد اندازه گیری مولتی متر را به در ستی انتخاب کرده باشید. هرگز از مد جریان برای سایر اندازه گیری ها استفاده نکنید

هشدار۸ (اقدامات احتیاطی)

در زمان¬های کار کردن با مدار تنها از منابع تغذیه ایزوله اســـتفاده کنید.

ادامه نکات مهم:

هشدار۹ (خطرات مربوط به مدارات الکترونیک قدرت)

- ولتاژ بالای شوک‌های الکتریکی که ممکن است سلامتی انسان را به خطر بیندازد.
- انفجار عناصر (مثل خازن الکترولیتی) و جرقه زدن مدار
- خطر آتش سوزی ناشی از موارد فوق

هشدار۱۰ (اقدامات احتیاطی)

در هنگام وصـــل کردن کلید مدار، ولتاژ یا توان کمی به مدار جهت تســـت آن اعمال کنید. بعد از مرحله اول به تدریج ولتاژ یا توان را افزایش دهید. در صورت داغی بیش از حد یا هر نوع شوک روند را متوقف کنید.

هشدار۱۰ (اقدامات احتیاطی)

در هنگام خاموش کردن مدار؛ ابتدا ولتاژ یا توان تغذیه به طور آهســـته کاهش یابد و ســـپس همه منابع تغذیه خاموش شـــود و اتصالات آنها قطع گردد.

دقت شـــوید بار به خروجی مدار متصـــل باقی بماند تا به طور کامل انرژی¬های ذخیره در سلف و خازن‌ها تخلیه شود.

هشدار۱۰ (اقدامات احتیاطی)

در هنگام ایجاد تغییرات در مدار، ابتدا مدار مطابق موارد قســـمت قبل خاموش شود. سپس تغییرات در اجزای مورد نظر ایجاد شود و دوباره مدار را بر ا ساس موارد احتیاطی ذکر شده به تغذیه مت صل نمائید.

کلیه حقوق این اثر متعلق به شرکت دانش بنیان تجهیزات ابزار آزما خاورمیانه می‌با شد. هرگونه کپی برداری از این اثر، غیرقانونی بوده و پیگرد قانونی دارد.

فهرست مطالب

نکات مهم: ۵

ادامه نکات مهم: ۶

فهرست مطالب ۷

۱ اندازه گیری پارامترهای دیود قدرت، تریستور و ترایاک ۱۰

۲ مبدل های AC به DC تک فاز دیودی ۱۹

۳ دیمر و کنترل ولتاژ AC تک فاز با ترایاک ۲۸

۴ مبدل های AC به DC تک فاز تریستوری ۳۳

۵ مبدل های AC بهDC سه فاز دیودی ۴۱

۶ مبدل های AC به DC سه فاز تمام کنترلشونده ۴۶

۷ مبدل های AC/AC تکفاز ۵۲

۸ بررسی رفتار IGBT، MOSFET و اپتوکوپلر ۵۸

9 اینورتر تک فاز و آشنایی با روش مدولاسیون SPWM تکفاز ۶۳

۱۰ اینورتر تک فاز و فیلترهای ورودی و خروجی اینورتر ۶۸

۱۱ کنترل دور موتورهای القایی به روش V/F ۷۲

۱۲ مبدل های dc-dc غیر ایزوله با دو عنصر ذخیره انرژی ۷۴

پیوست شماره یک ۷۵

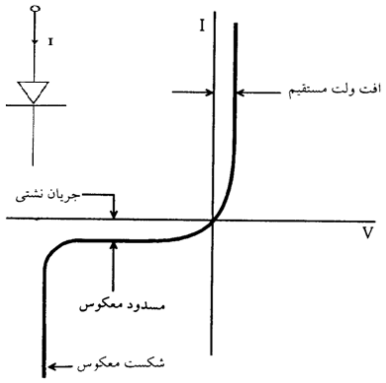
جـــــدول راهنما

شماره و عنوان آزمایش	IE-100	IE-101	IE-102	IE-103	IE-104	IE-105	IE-106	IE-107	IE-108	IE-109	IE-110
۱- اندازه‌گیری پارامترهای دیود قدرت، تریستور و ترایاک	❊	❊	❊		❊			❊		❊	❊
۲- مبدل‌های AC به DC تکفاز دیودی	❊	❊	❊		❊					❊	❊
۳- دیمر و کنترل ولتاژ AC تکفاز با ترایاک	❊	❊	❊					❊			
۴- مبدل‌های AC به DC تک فاز تریستوری	❊	❊	❊		❊			❊		❊	❊
۵- مبدل‌های AC به DC سه فاز دیودی	❊	❊	❊		❊					❊	❊
۶- مبدل‌های AC به DC سه فاز تمام کنترل‌شونده	❊	❊	❊		❊			❊		❊	❊
۷- مبدل‌های AC/AC تکفاز	❊	❊	❊		❊			❊		❊	❊
۸- مبدل‌های AC به AC سه فاز	قابل توسعه	قابل توسعه	قابل توسعه		قابل توسعه			قابل توسعه		قابل توسعه	قابل توسعه
۹- بررسی رفتار IGBT، MOSFET و اپتوکوپلر		❊	❊	❊		❊	❊			❊	❊
۱۰- اینورتر تکفاز و آشنایی با روش مدولاسیون SPWM تکفاز		❊	❊				❊				❊
۱۱- اینورتر تکفاز و فیلترهای ورودی و خروجی اینورتر		❊	❊				❊				❊
۱۲- کنترل دور موتورهای القایی به روش V/F		❊	❊	❊			❊			❊	❊
۱۳- کنترل حلقه بسته سرعت موتور القایی				❊							
۱۴- مبدل های dc-dc غیر ایزوله با دو عنصر ذخیره انرژی			❊			❊				❊	❊
۱۵- مبدل سیکلوکانورتر								❊			قابل توسعه
۱۶- معرفی واحد مانیتورینگ و کنترل مبدلهای توان											❊

۱ اندازه‌گیری پارامترهای دیود قدرت، تریستور و ترایاک

۱-۱ مقدمه

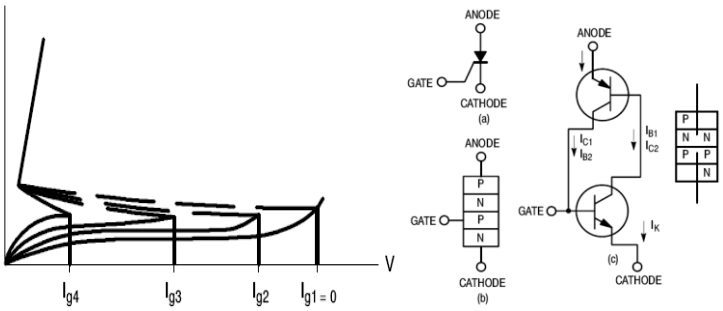
دیودهای قدرت به وفور در مدارت الکترونیک صنعتی مورد ا ستفاده قرار می‌گیرند. در یکسوکننده‌ها، بر شگرهای DC و AC، اینورترها و غیره از دیودهای قدرت ا ستفاده می‌گردد. پارامترهای حداکثر ولتاژ معکوس و جریان متو سط در انتخاب دیود حائز اهمیت می با شند و مقادیر آنها در طراحی‌ها باید لحاظ گردد. در شکل ۱-۱ نماد مداری و منحنی مشخصه آن رسم شده است.



شکل ۱-۱ منحنی ولتاژ- جریان دیود قدرت

از معروف ترین قطعات مورد استفاده در الکترونیک قدرت تریستور یا SCR[1] می‌باشد که قابل مقایسه با دیود می‌باشد. این المان سه پایه بوده و علاوه بر آند و کاتد پایه دیگری به نام گیت دارد که برای روشن شدن می بایست به این پایه جریان تزریق شود. تریستورها دارای دو مشخصهٔ جریان نشتی (حالت قطع) و هدایت دیودی (حالت وصل) می باشند. نکته قابل ذکر درباره تریستورها این است که در طراحی مدارات با استفاده از این قطعه باید به حداقل جریان تحریک گیت (I_{GT}) و حداقل جریان راه‌اندازی یا جریان آند-کاتد I_L ([2]) برای روشن شدن تریستور توجه شود. همچنین باید توجه گردد چنان‌چه جریان تریستور از مقدار مینیمم (I_H [3]) کمتر شود تریستور در آستانه خاموشی قرار می‌گیرد . در شکل ۱-۲ نماد مداری و منحنی مشخصه آن نشان داده شده است.

ترایاک قطعه‌ای ۳ پایه است که رفتار آن بسیار شبیه به تریستور بوده با این تفاوت که قابلیت تریگر و هدایت در هر دو جهت از ترمینال‌های قدرت را دارد. به همین دلیل ۲ ترمینال قدرت آن را با اسامی مشابه MT1 و MT2 نام‌گذاری می‌کنند. از جهت ساختار داخلی نیز شباهت زیادی با تریستور دارد. در شکل ۱-۳ نماد مداری و منحنی مشخصه ترایاک نشان داده شده است.



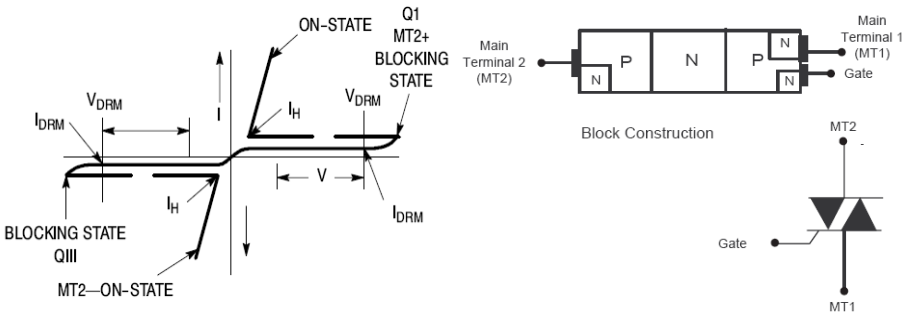
شکل ۱-۲ نماد مداری و منحنی ولتاژ- جریان تریستور

[1] Silicon Controlled Rectifier

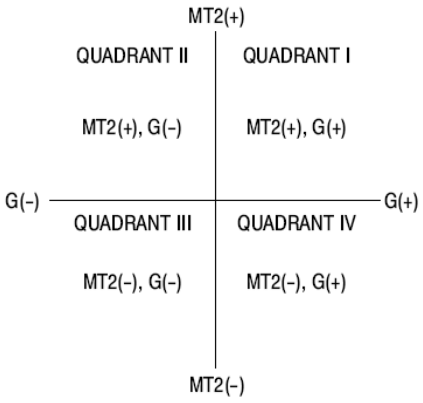
[2] Latch Current

[3] Hold Current

اگر چه ویژگی‌های اولیهٔ ترایاک (امکان کنترل هدایت در دو جهت) آنرا قطعهٔ مناسبی برای الکترونیک قدرت معرفی می‌نماید، اما برخی ویژگی‌های دیگر آن تنها محدودهٔ کوچکی از کاربردها را امکان پذیر می‌کند. ترایاک در محدودهٔ بسیار کوچکتری از جریان‌ها و ولتاژهای قابل تحمل و با تنوع کمتر تولید شده و نویزپذیری بالاتر و قابلیت اعتماد پایین‌تری نسبت به تریستور دارد. در بسیاری از کاربردها در صنعت از دو تریستور موازی با جهت مخالف بجای ترایاک استفاده می‌شود. سیگنال فرمان گیت نسبت به ترمینال MT2 موجب تریگر شدن ترایاک می شود. با در نظر گرفتن امکان اعمال ولتاژ به ترمینال‌های قدرت و پلاریتهٔ گیت نسبت به MT2 چهار حالت رخ می‌دهد که از آن به عنوان امکان تریگر در چهار ربع نام برده می‌شود. معمولاً امکان تریگر ترایاک در ربع‌های اول، سوم و چهارم وجود دارد. در شکل ۴-۱ نواحی کاری آن نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ نماد مداری و منحنی مشخصه مشخصه ترایاک



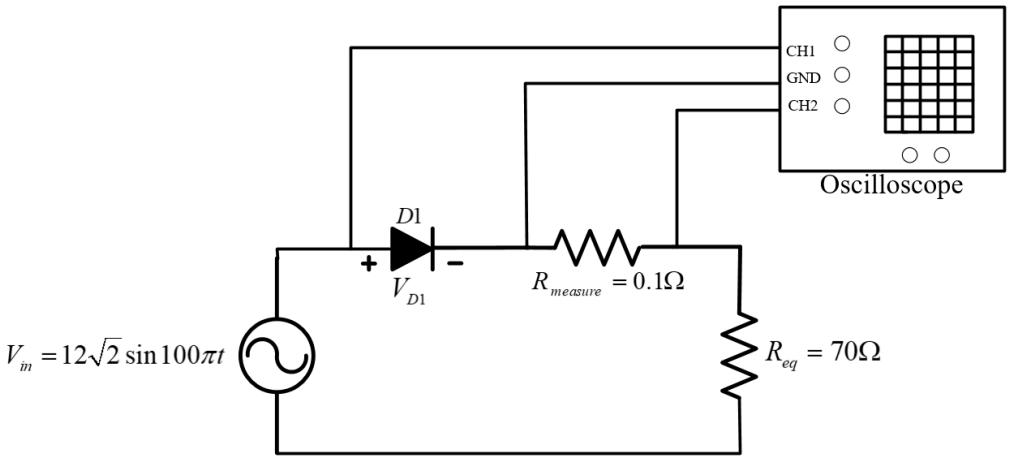
شکل ۴-۱ نمایش نواحی کاری ترایاک

۱-۲ آزمایش و تحلیل

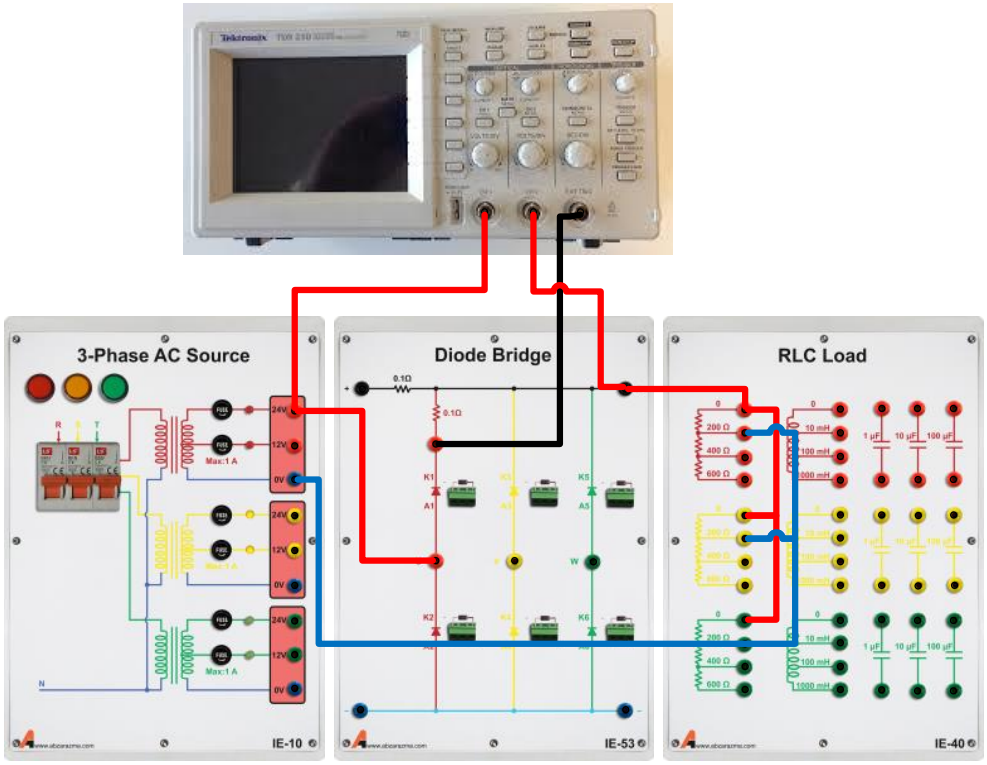
در این آزمایش، پارامترهای مختلف و مهم دیود قدرت، تریستور و ترایاک بررسی می‌گردد. برای انجام این آزمایش به یک پتانسیومتر آزمایشگاهی نیاز دارید. این آزمایش به سه بخش تقسیم‌بندی شده است. در بخش اول به بررسی پارامترهای دیود پرداخته خواهد شد و در بخش دوم و سوم به ترتیب پارامترهای مختلف تریستور و ترایاک بررسی خواهد شد.

۱-۲-۱ تعیین منحنی مشخصه ولتاژ - جریان دیود قدرت

برای تعیین منحنی مشخصه دیود مدار شکل ۱-۵ را پیاده سازی نمایید. جهت راهنمایی از ساختار پیشنهادی در شکل ۱-۶ استفاده کنید.



شکل ۵-۱ مدار جهت تعیین منحنی مشخصه دیود قدرت



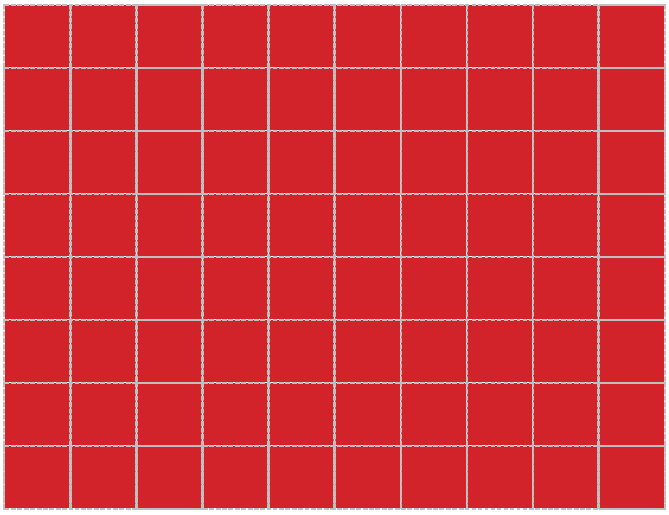
شکل ۶-۱ ساختار پیشنهادی برای انجام آزمایش

برای اتصال اسیلوسکوپ به مدار بایستی مراحل زیر را انجام دهید.

۱- زمین اسیلوسکوپ را به سر مشترک دیود قدرت و مقاومت R_{meas} متصل نمائید. کانال یک را به آند دیود و کانال دو را به سر مقاومت اندازه گیر جریان(R_{meas}) متصل نمائید.

۲- نوع نمایش کانال دو را در حالت معکوس قرار دهید.

۳- با استفاده از حالت x-y اسیلوسکوپ منحنی مشخصه ولتاژ و جریان دیود را مشاهده و در شکل زیر رسم نمایید.



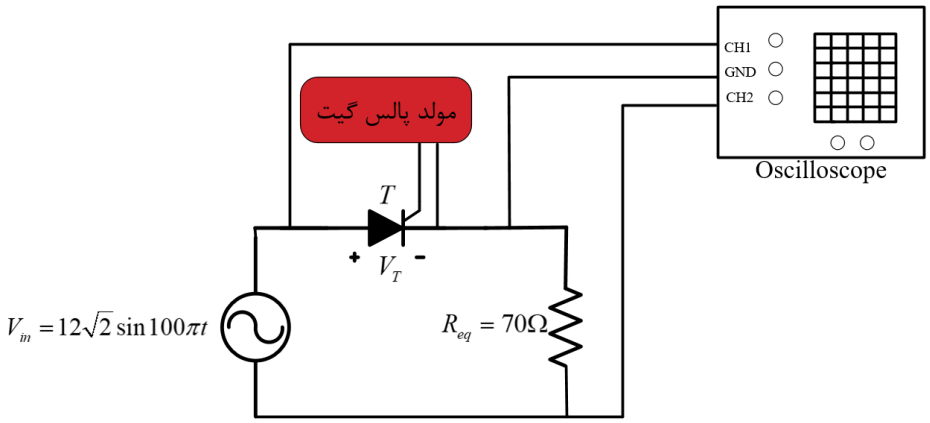
شکل ۷-۱ منحنی مشخصه ولتاژ-جریان دیود

۲-۲-۱ تعیین منحنی مشخصه ولتاژ- جریان برای تریستور

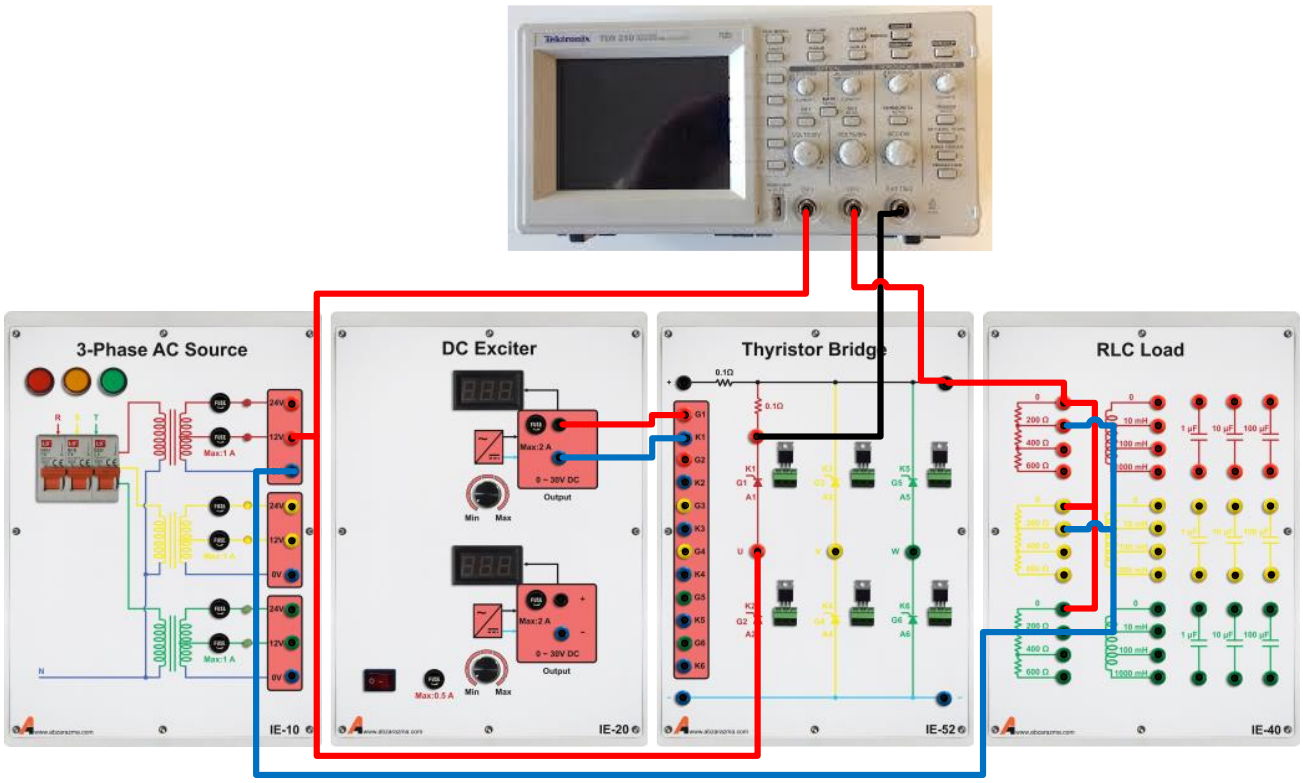
برای تعیین منحنی مشخصه تریستور بایستی مدار نشان داده شده در شکل ۸-۱ را پیاده سازی نمایید. ساختار پیشنهادی برای انجام آزمایش در شکل ۹-۱ نشان داده شده است. مقدار ولتاژ DC Exciter به تدریج افزایش دهید تا تریستور در حالت روشن قرار گیرد.

برای اتصال اسیلوسکوپ ابتدا زمین را به سر مشترک تریستور و مقاومت متصل نمائید. کانال یک را به آند تریستور و کانال دو را به پلاریته مثبت بار متصل کنید. نوع نمایش کانال ۲ را در حالت معکوس قرار دهید.

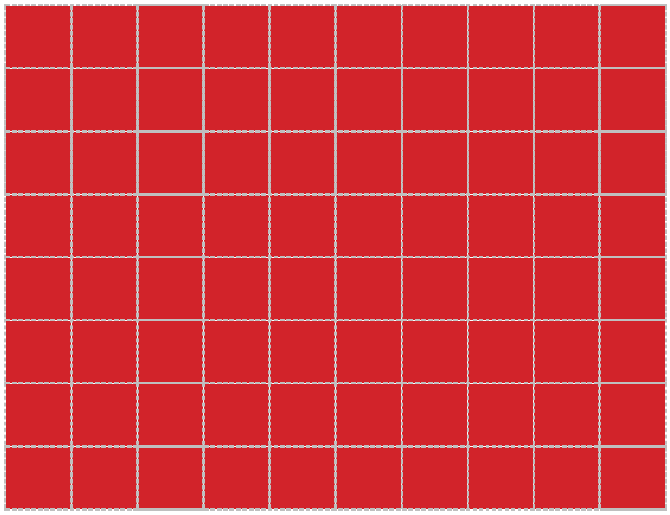
در مدتی که تریستور روشن می‌باشد، با استفاده از حالت x-y اسکوپ مشخصه تریستور را مشاهده و در شکل ۱۰-۱ رسم کنید. با توجه به شکل بدست آمده از آزمایش I_H و I_L را بدست آورید و با مقدار داده شده در دیتاشیت مقایسه کنید. لازم به ذکر است به دلیل نویز پذیری بالای مقاومت‌های کوچک در این آزمایش از قرار دادن مقاومت R_{meas} صرف نظر می‌کنیم.



شکل ۸-۱ مدار پیشنهادی برای بررسی منحنی مشخصه تریستور



شکل ۹-۱ ساختار پیشنهادی برای انجام آزمایش

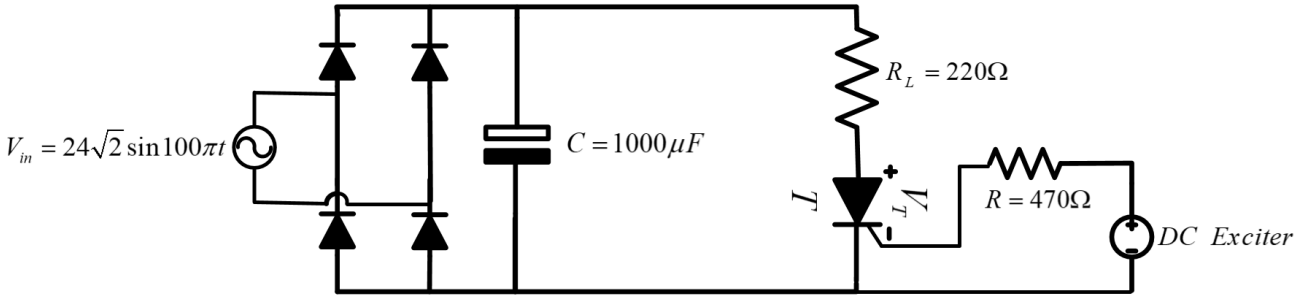


شکل ۱۰-۱ منحنی مشخصه ولتاژ-جریان تریستور

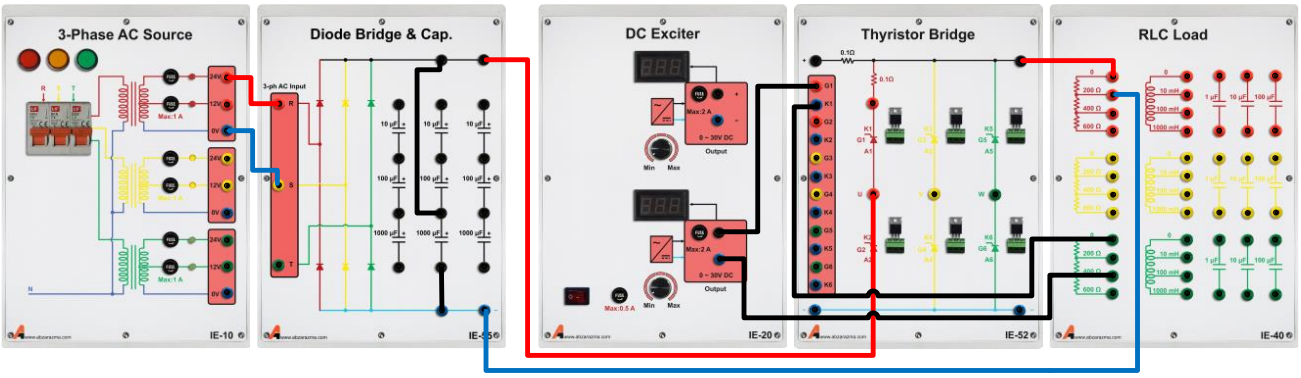
۳-۲-۱تعیین I_{GT} (حداقل جریان تحریک گیت):

برای تعیین حداقل مقدار جریان تحریک تریستور مدار نشان داده شده در شکل ۱۱-۱پیشنهاد می‌گردد. مقدار ولتاژ DC Exciter را از صفر به تدریج زیاد کنید. این کار را تا جایی ادامه دهید تا تریستور روشن شود و جریان بار برقرار شود.

برای محا سبه حداقل جریان تحریک می‌توانید با در اختیار دا شتن ولتاژ گیت کاتد؛ مقدار جریان گیت را در زمان رو شن شدن بد ست آورید و یا با سری کردن آمپرمتر با گیت مقدار جریان را اندازه‌گیری نمود.



شکل ۱۱-۱ مدار آزمایش بررسی حداقل مقدار جریان تحریک



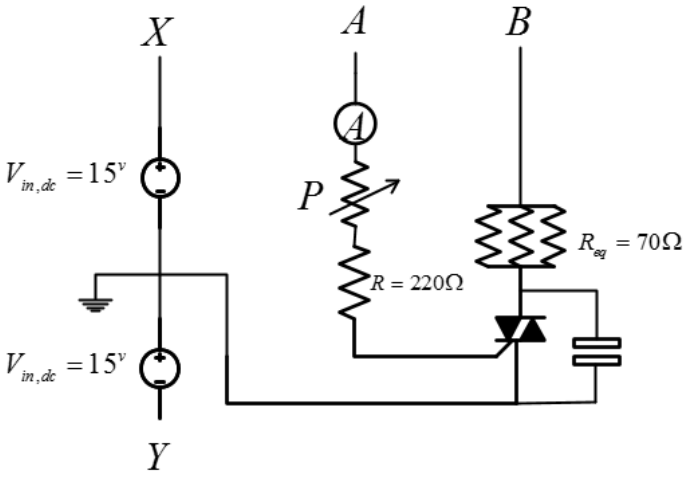
شکل ۱۲-۱ ساختار پیشنهادی جهت پیاده‌سازی مدار آزمایش بررسی جریان تحریک

پس از راه‌اندازی مدار مطابق شکل ۱۲-۱و تعیین حداقل جریان تحریک، مقدار حداقل مقاومت R_L را با توجه به برگه مشخصات تریستور مورد آزمایش، محاسبه کنید.

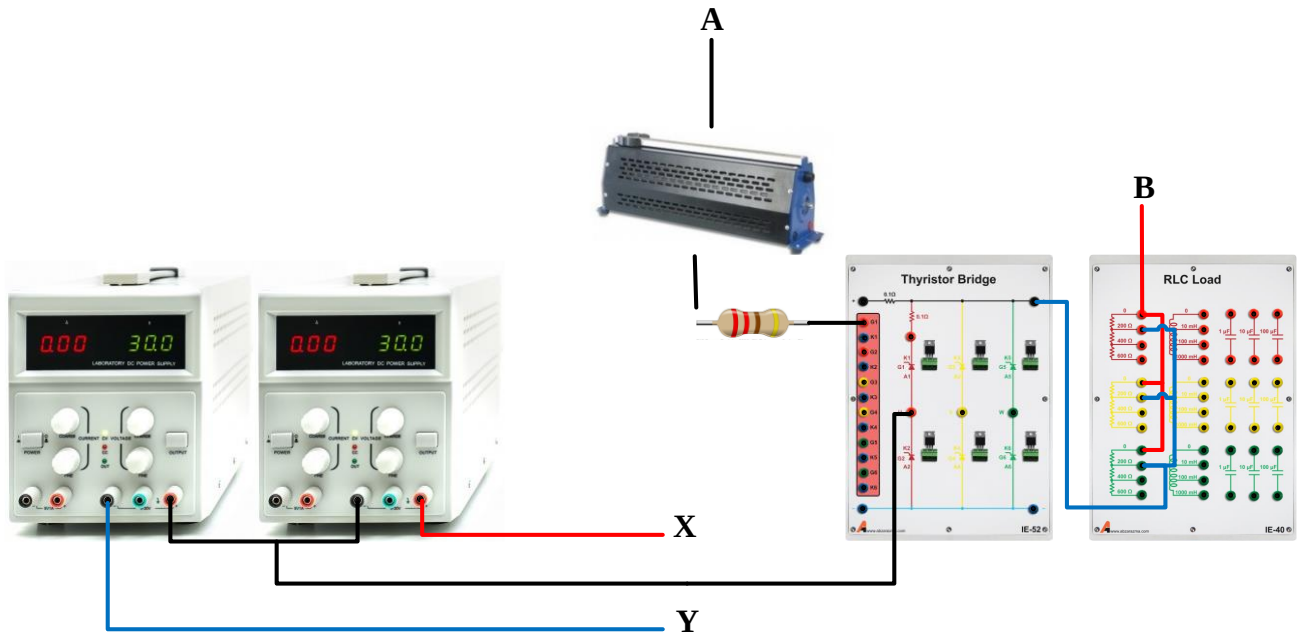
با توجه به آزمایش رابطه حداقل مقدار ولتاژ اعمال شده به گیت را به منظور روشن شدن تریستور برحسب مقاومت سری با گیت بدست آورید.

۴-۲-۱مشاهده چهار ناحیه عملکرد ترایاک

برای بررسی نواحی عملکردی ترایاک، مدار شکل ۱۳-۱ ارائه شده است. ترایاک مورد استفاده مدل BT138 می‌باشد. این قطعه را جایگزین BT 151 کنید و سپس اقدام به سیم‌بندی مدار نمایید. در شکل ۱۴-۱ نحوه اتصال ماژول‌های مورد نیاز نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱ مدار جهت تعیین نواحی عملکرد ترایاک



شکل ۱۴-۱ ساختار پیشنهادی جهت تعیین نواحی ۴ گانه

با فرض $V_{in,dc}$=15 ، هر کدام از نقاط A و B را می‌توان به نقاط X و Y که تغذیه مدار هستند، وصل کرد. یعنی در واقع این مدار باید به چهار صورت مختلف بسته شود. برای هر یک از این چهار وضعیت، مطابق دستور زیر عمل کنید.

الف) ابتدا P را روی حداکثر تنظیم کنید. سپس تغذیه را و صل کنید و P را به تدریج کاهش دهید تا ترایاک رو شن شود. در این حالت جریان گیت را (که همان I_{GT} است) و ولتاژ گیت– آند ۱ و ولتاژ آند۱– آند۲ را در جدول ۱-۱ یادداشت کنید.

جدول ۱-۱ نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترها ترایاک در نواحی ۴ گانه

ب) در مورد حساسیت ($\frac{dV}{dt}$) به این ترتیب عمل کنید که ابتدا خازن موازی شده با ترایاک را برداشته و P را از مقداری که در بخش قبل دا شته ا ست، (مربوط به I_{GT}) به‌تدریج افزایش دهید. همزمان با این افزایش، به‌طور مداوم تغذیه ترایاک را به‌و سیله کلید S قطع و وصل کنید. این کار را تا جایی ادامه دهید که دیگر ترایاک روشن نشود. هرچه انحراف P از مقدار اولیه بیشتر باشد، به معنی حساسیت بیشتر به $\frac{dV}{dt}$ است. این مراحل را با گذاشتن خازن تکرار کنید. در هر بخش حساسیت را با عبارات "زیاد"، "متوسط" و "کم" مشخص کنید.

جدول ۲-۱ بررسی حساسیت به تغییرات ولتاژ ترایاک در نواحی چندگانه

	بدون خازن	
	با خازن	
	بدون خازن	
	با خازن	
	بدون خازن	
	با خازن	
	بدون خازن	
	با خازن	

پس از انجام آزمایش به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱- با توجه به نتایج، بهترین ناحیه عملکرد ترایاک کدام است؟

۲- اگر از ترایاک در جایی استفاده شود که در آن جریان‌های مثبت و منفی عبوری از ترایاک به یک اندازه اهمیت داشته باشد، (مثل برشگرهای AC) ، کدام نواحی برای کار ترایاک مناسب‌تر می‌باشند؟ به عبارت دیگر، رفتار ترایاک در کدام دو ناحیه مشابه است؟

۳-با توجه به برگه مشخصات ترایاک مورد آزمایش، حداکثر مقدار منابع ولتاژ ورودی (V_1 و V_2) را بیابید.

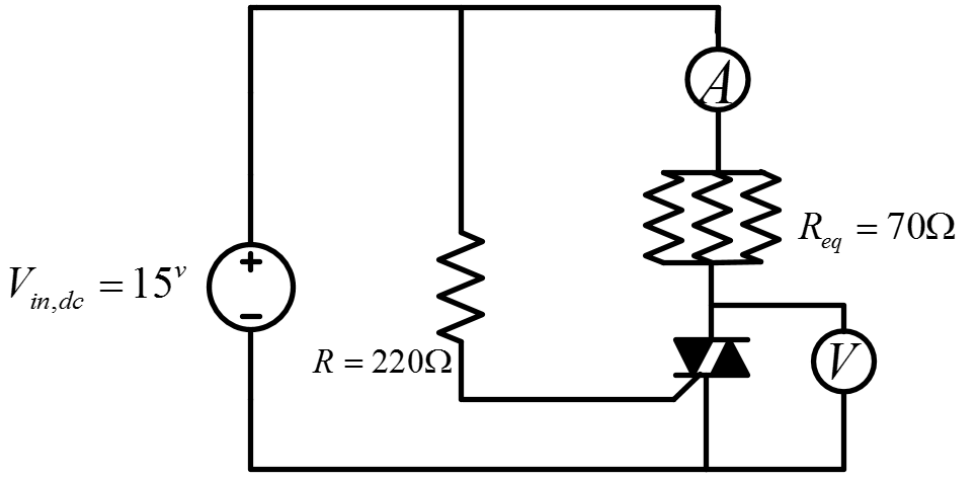
۴-مقدار حداقل مقاومت R_{eq} را بیابید.

۵- با توجه به برگه مشخصات ترایاک، مقدار حداقل مقاومت R که می‌توان سری با گیت قرار داد، را بیابید.

۵-۲-۱ اندازه‌گیری افت ولتاژ دو سر ترایاک

ترایاک اگرچه نوعی کلید نیمه‌هادی است اما همانطور که می‌دانید کلید ایده آل محسوب نمی‌شود و در زمان روشن بودن افت ولتاژی دو سر ترایاک وجود خواهد داشت که منجر به ایجاد تلفات در ترایاک خواهد شد.

برای بررسی افت ولتاژ ترایاک در زمان روشن بودن و مقایسه آن با مقدار داده شده در برگه راهنمای قطعه، مدار شکل ۱۵-۱ ارائه شده است. پس از انجام آزمایش نسبت به تکمیل جدول ۳-۱ اقدام نماییم.



شکل ۱۵-۱ مدار جهت تعیین ولتاژ ترایاک

جدول ۳-۱ افت ولتاژ ترایاک

۳-۱ سوالات آزمایش

کدام یک از پارامترهای تریستور، نقش مهم‌تری در تلفات حرارتی آن دارد ؟

ترایاک را از لحاظ فرکانس کاری و جریان نامی با تریستور مقایسه کنید ؟

۲ مبدل‌های AC به DC تکفاز دیودی

۲-۱ مقدمه

در بـ سیاری از فرآیندهای صنعتی مانند شارژ باطری، تنظیم دور موتورهای DC، آبکاری فلزات و ... احتیاج به توان الکتریکی DC وجود دارد. معمولاً توان الکتریکی در دسترس از نوع تک فاز و سه فاز AC می‌باشد. جهت تبدیل توان AC به DC از یکسوسازها استفاه می‌شود.

مدارهای یکسوکننده به دو دسته کلی نیم‌موج و تمام موج تقسیم می‌شود. در یکسوکننده‌های نیم موج جریان در هریک از خطوط تغذیه AC فقط در یک جهت است در حالی که در یکسوکننده‌های تمام موج جریان در تمامی خطوط تغذیه AC متناوب است.

در دسته‌بندی دیگری از یکسوکننده‌ها آنها را می‌توان به یکسوکننده‌های غیر قابل کنترل، نیمه کنترل شونده و تمام کنترل شونده تقسیم کرد. در این آزمایش یکسوکننده‌های غیر قابل کنترل را بررسی می‌کنیم. در مدارهای یکسوکننده کنترل نشده فقط از دیود استفاده شده و دامنه ولتاژ خروجی ثابت و به اندازه دامنه ولتاژ ورودی می‌باشد.

ولتاژ خروجی یکسوکننده ها دارای دو مولفه dc و ac است. رابطه متوسط ولتاژ خروجی یکسوکننده تک فاز نیم موج و تمام موج به ترتیب در روابط (۲-۱) و (۲-۲) بیان شده است که همان مولفه dc ولتاژ خروجی محسوب می‌شوند:

$$V_{dc} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{line(rms)} \qquad (۲-۱)$$

$$V_{dc} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{line(rms)} \qquad (۲-۲)$$

مقدار موثر مولفه ac ولتاژ خروجی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^{\ 2} - V_{dc}^{\ 2}} \qquad (۲-۳)$$

در مورد یکسوکننده ها دو متغیر ضریب شکل و ضریب ریپل نیز دارای اهمیت است که به نوعی کیفیت ولتاژ یکسوشده را بیان می‌کند.

ضریب شکل بیانگر شکل ولتاژ یکسوشده خروجی است و از حاصل تقسیم مقدار موثر ولتاژ بر متوسط ولتاژ بدست خواهد آمد.

ضریب شکل را با FF که از کلمه Form Factor گرفته شده است، نمایش می‌دهند. رابطه ضریب شکل به صورت زیر است.

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \qquad (۲-۴)$$

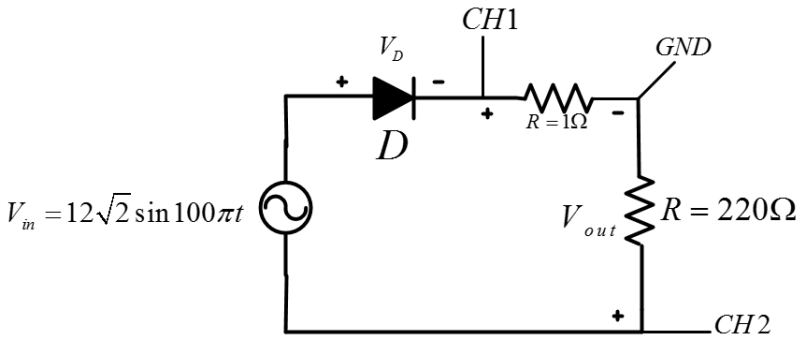
دیگر مشخصه یکسوکننده‌ها، ضریب ریپل است که با RF نشان داده می‌شود. ضریب ریپل به نوعی مقدار ریپل ولتاژ یکسوشده را نشان می‌دهد.

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} \qquad (۲-۴)$$

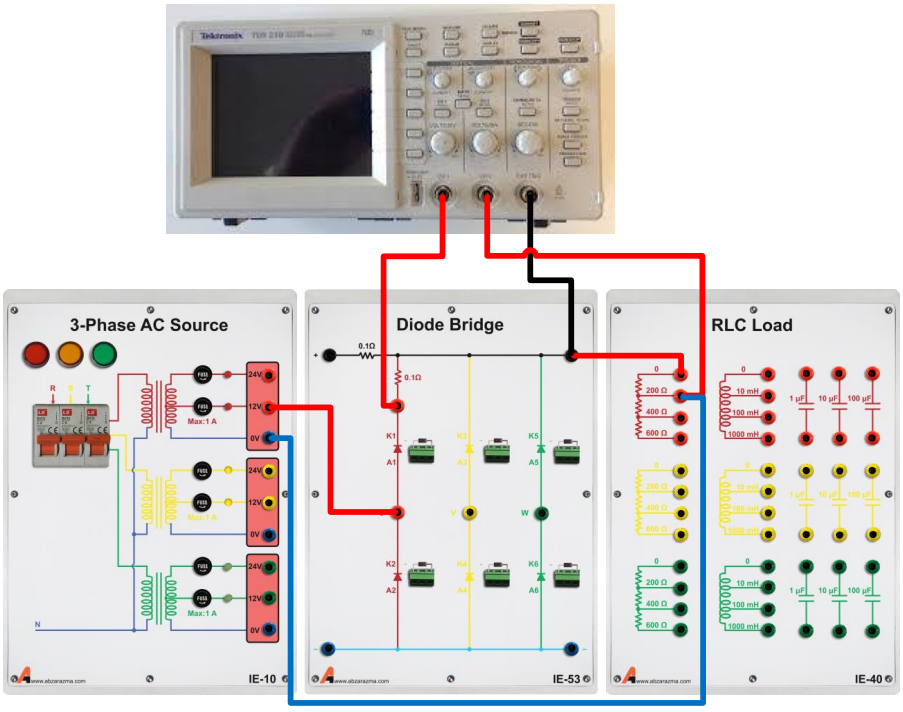
۲-۲ آزمایش و تحلیل

۲-۲-۱ یکسوکننده تک فاز نیم موج با بار اهمی

مدار شـــکل ۱-۲را به کمک ماژول IE-53 پیاده‌ســـازی کنید. مقاومت بار را ۲۲۰ اهم و مقدار موثرمنبع ولتاژ ورودی را ۱۲ولت انتخاب کنید. نحوه اتصال مدار آزمایش به کمک ماژول‌های مورد نظر در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ یکسوکننده تک فاز نیم موج



شکل ۲-۲ ساختار پیشنهادی جهت انجام ازمایش یکسوکننده نیم موج

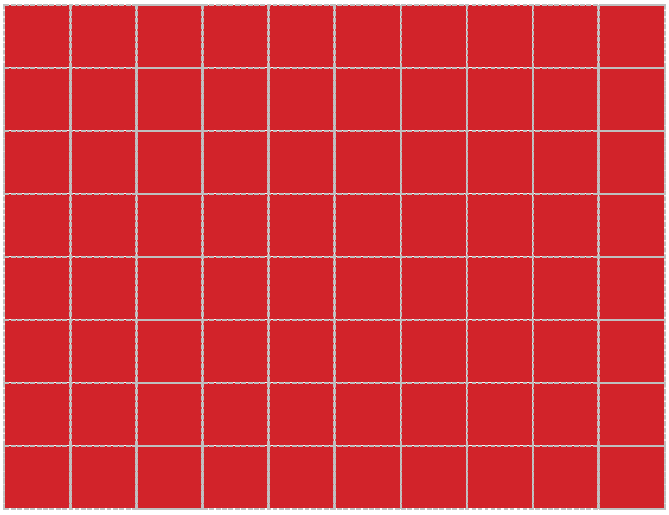
پس از راه‌اندازی نسبت به پاسخگویی به موارد خواسته شده در این ازمایش اقدام نمایید.

۱- شکل موج ولتاژ ورودی و خروجی را مشاهده کنید سپس در شکل ۳-۲ رسم کرده و آنها را با هم مقایسه نمایید .

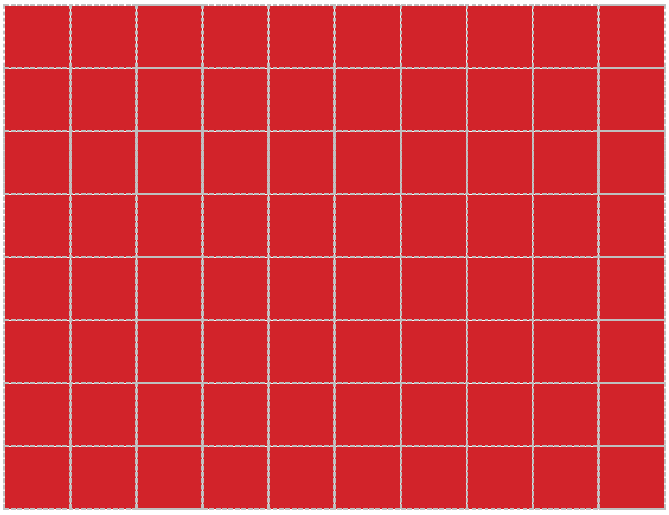
۲- شکل موج ولتاژ و جریان مدار را به طور همزمان مشاهده کنید. سپس در شکل ۴-۲ رسم کرده و به تحلیل آن بپردازید

۳- شکل موج ولتاژ و جریان دیود را مشاهده و در شکل ۵-۲ رسم کنید. با توجه به شکل ولتاژ دو سر دیود PIV را تعیین نمایید.

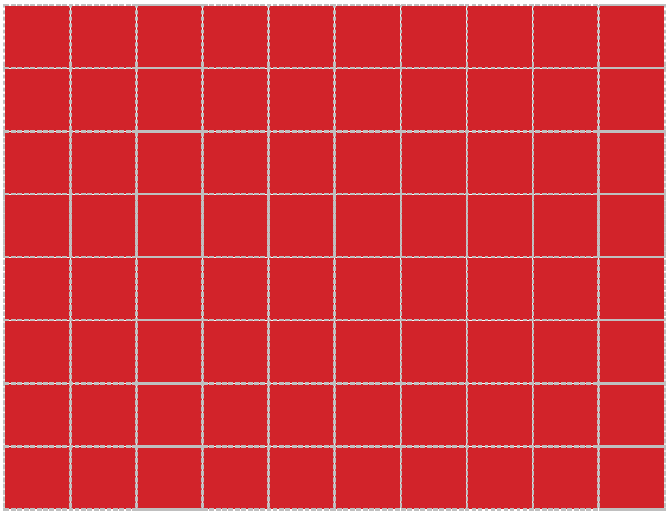
۴- موارد خواسته شده در جدول ۱-۲را تکمیل نمائید.



شکل ۳-۲ شکل موج ولتاژ ورودی و خروجی



شکل ۴-۲ شکل موج ولتاژ و جریان مدار



شکل ۵-۲ شکل موج ولتاژ و جریان دیود

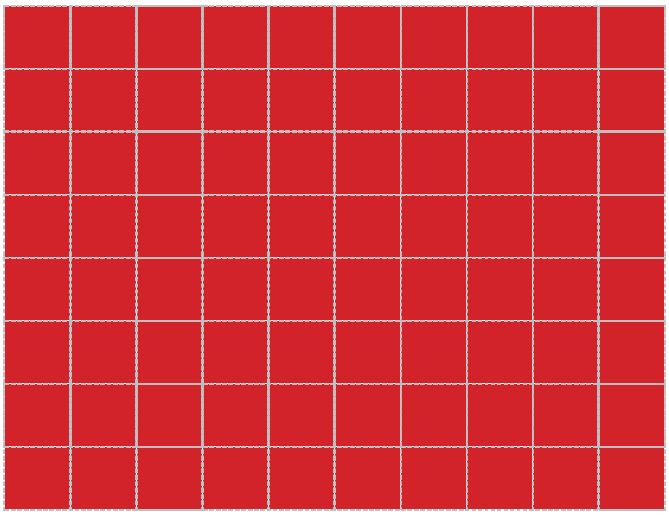
جدول ۱-۲ نتایج پیاده‌سازی آزمایش یکسوکننده نیم موج دیودی با بار مقاومتی

۲-۲-۲ یکسوکننده تکفاز نیم موج بار اهمی-سلفی

مدار شکل ۱-۲ را با بار اهمی- سلفی پیاده‌سازی نمایید. مقاومت بار ۲۲۰ اهم، سلف ۱۰۰ میلی هانری و منبع ورودی را ۱۲ ولت انتخاب کنید.

پس از راه‌اندازی مدار نسبت به پاسخ‌گویی به موارد خواسته شده اقدام نمایید.

۱-شکل موج ولتاژ خروجی را در شکل ۶-۲ رسم کنید.



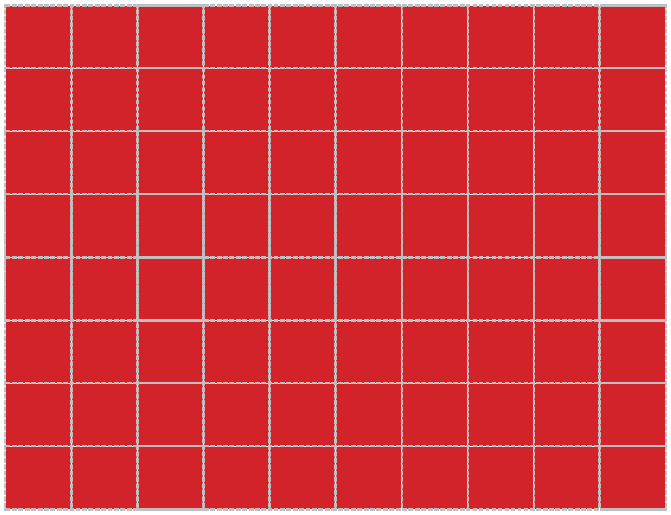
شکل ۶-۲ شکل موج ولتاژ خروجی

۲-زاویه‌ی تاخیر خاموشی (β) را بدست آورید و با تئوری مقایسه کنید.

۳- جدول زیر را تکمیل نمائید.

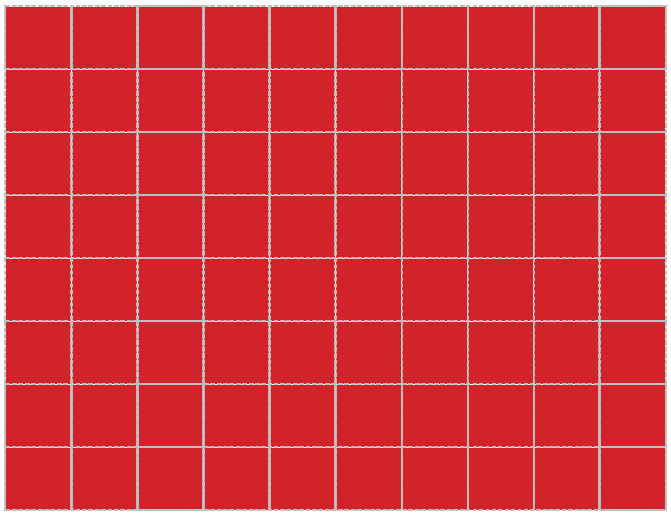
جدول ۲-۲ نتایج پیاده‌سازی آزمایش کنترل حلقه باز فرآیند تونل هوای گرم

۴- شکل موج ولتاژ و جریان دیود را مشاهده و رسم کنید.



شکل ۷-۲ شکل موج ولتاژ و جریان دیود

۵- مقدار سلف را تغییر دهید و اثر آنرا بر شکل موج های ولتاژ و جریان بار مشاهده کنید.

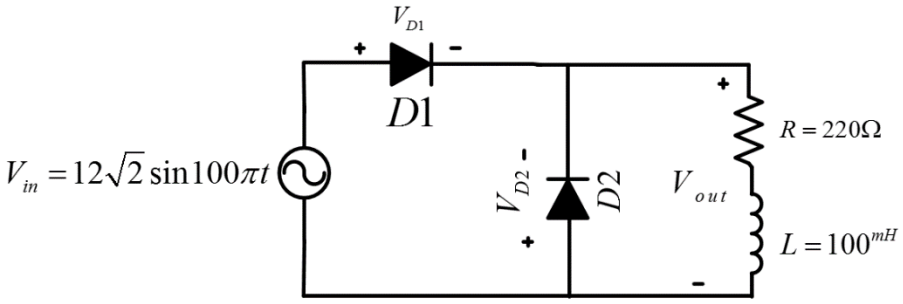


شکل ۸-۲ شکل موج ولتاژ و جریان بار در اثر تغییر مقدار سلف

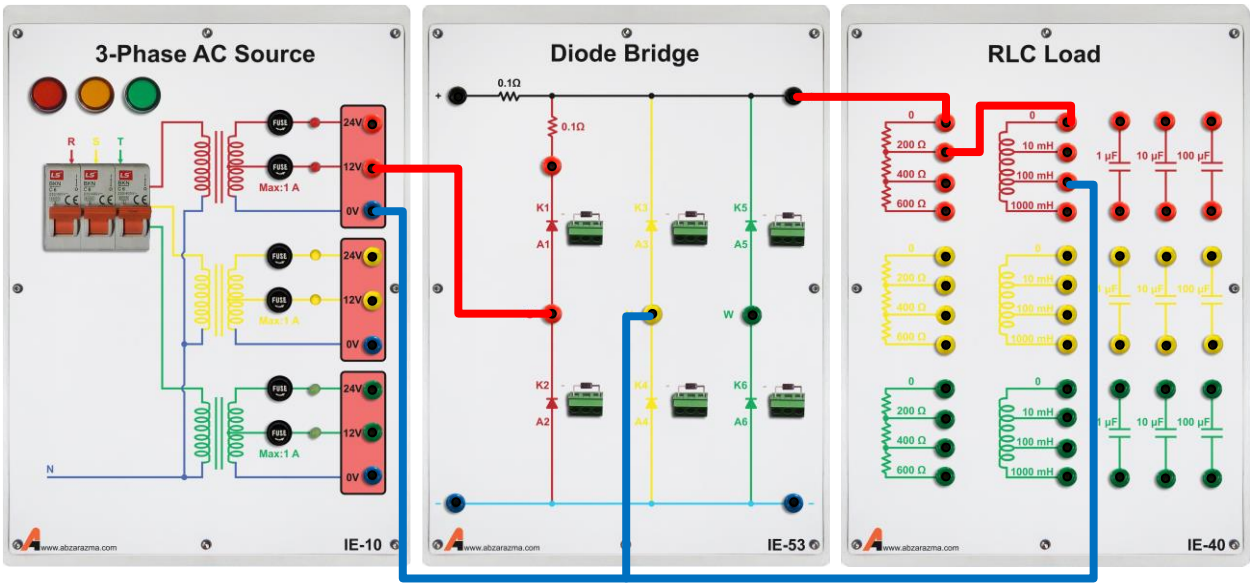
۲-۲-۳ یکسوکننده تک فاز بار نیم موج اهمی- سلفی با دیود هرزگرد

وجود خاصیت سلفی در بار خروجی منجر به کاهش مقدار متوسط ولتاژ یکسوشده خواهد شد. در یکسوکننده‌ها مولفه dc پارامتر بسیار مهمی محسوب می‌شود. بکارگیری دیود هرزگرد مطابق شکل ۹-۲، منجر می‌شود دیود D1 تنها در نیم‌سیکل مثبت ولتاژ ورودی روشن باشد و پس از آن خاموش شود. با توجه به اینکه جریان سلف نمی‌تواند تغییر ناگهانی داشته باشد، لذا حفظ پیوستگی جریان سلف به کمک دیود D2 برقرار خواهد شد و ولتاژ بار برابر صفر خواهد شد.

برای راهنمایی جهت پیاده سازی مدار ازمایش شکل ۱۰-۲ ارائه شده است. مقادیر المان‌های مدار را مطابق شکل ۹-۲ در نظر بگیرید و پس از راه‌اندازی مدار به موارد خواسته شده پاسخ دهید.



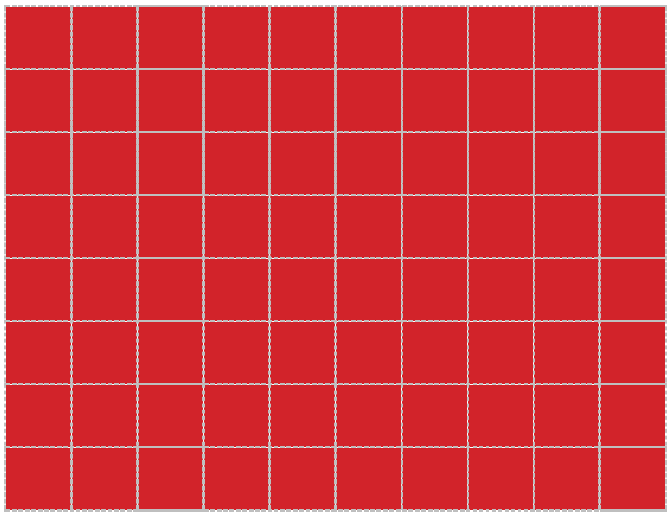
شکل ۹-۲ یکسوکننده نیم موج تکفاز با دیود هرزگرد



شکل ۱۰-۲ ساختار پیشنهادی جهت پیاده‌سازی مدار آزمایش یکسوکننده تکفاز با دیود هرزگرد

۱- با اتصال دیود هرز گرد ولتاژ ورودی و خروجی را مشاهده کنید. در این حالت زاویه β چه تغییری کرده است؟

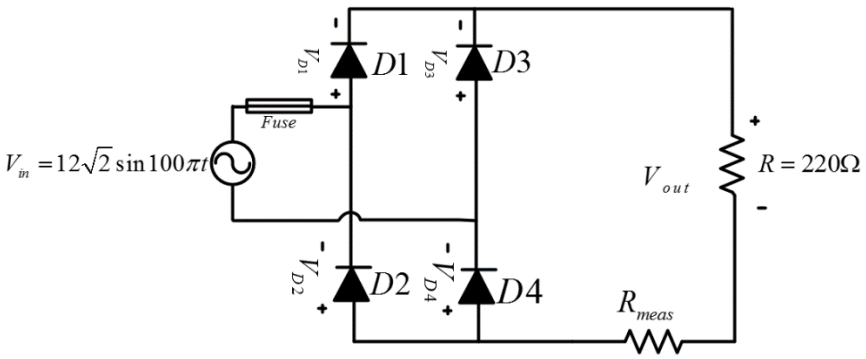
۲- شکل موج جریان بار، دیود و دیود هرزگرد را مشاهده و در شکل ۱۱-۲ رسم کنید.اثر تغییر مقدار سلف را بررسی کنید؟



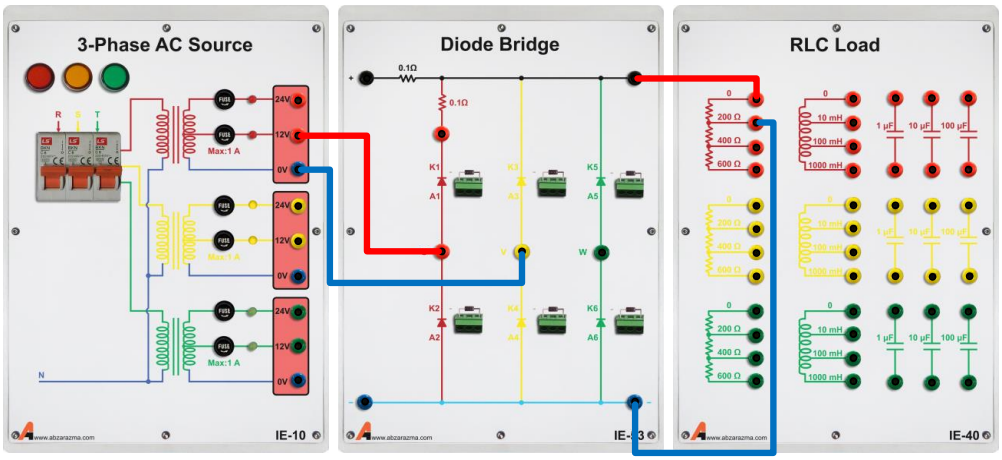
شکل ۱۱-۲ شکل موج جریان‌بار، دیود و دیود هرزگرد

۲-۲-۴ پل یکسوکننده تک فاز با بار مقاومتی، مقاومتی-سلفی و موتور DC

یک سو ساز نیم‌موج به دلیل مقدار متو سط ولتاژ پایین از اهمیت چندانی برخوردار نی ست. در مقابل به کمک یک سوکننده‌های تمام موج امکان د ستیابی به ولتاژ متو سط بی شتری وجود دارد. برای برر سی یک سوکننده دیودی تمام موج مدار شکل ۱۲-۲ ارائه گردیده ا ست. مقدار مقاومت بار را ۲۲۰ اهم انتخاب کنید و مقدار موثر ولتاژ ورودی برابر ۱۲ ولت باشد. ساختار پیشنهادی برای پیاده‌سازی مدار آزمایش در شکل ۱۳-۲نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۲ یکسوکننده تک فاز تمام موج



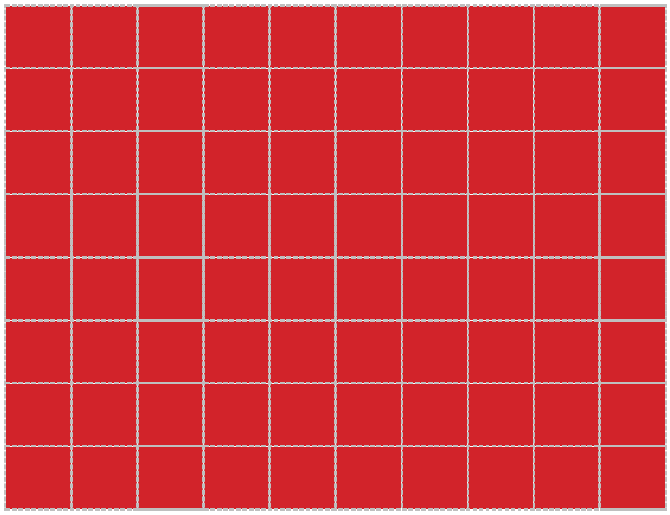
شکل ۱۳-۲ یکسوکننده تک فاز تمام موج

پس از راه‌اندازی مدار نسبت به پاسخ‌گویی به موارد زیر اقدام نمایید.

۱- جدول زیر را تکمیل نمایید

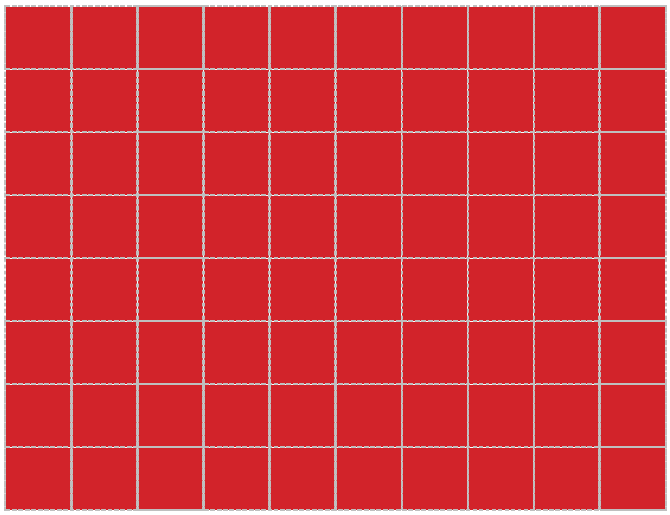
جدول ۳-۲ نتایج آزمایش یکسوکننده تمام موج تکفاز

۲- شکل موج ولتاژ و جریان خروجی را به طور همزمان مشاهده و در شکل ۱۴-۲ رسم نمایید.



شکل ۱۴-۲ شکل موج ولتاژ و جریان خروجی

۳- شکل موج ولتاژ دیود D1 را مشاهده و در شکل ۱۵-۲ را رسم نمایید .

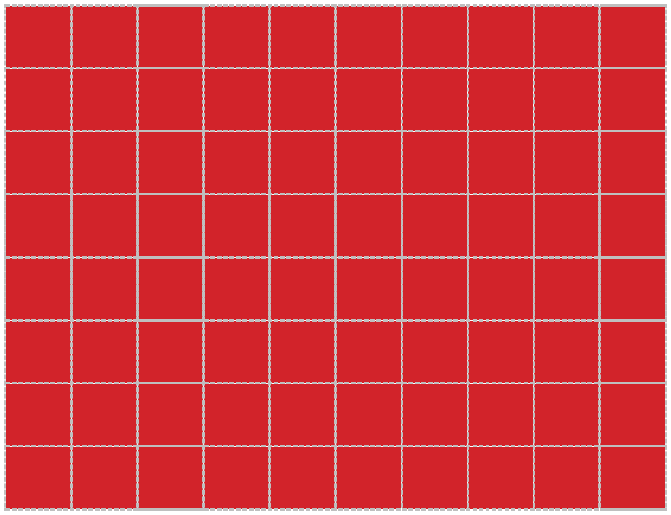


شکل ۱۵-۲ شکل موج ولتاژ دیود D1

۴- سلف ۱۰۰ میلی هانری با بار سری کنید و مشابه حالت قبل جدول زیر را تکمیل کنید

جدول ۴-۲ نتایج آزمایش یکسوکننده تمام موج تکفاز با بار سلفی-مقاومتی

۵- شکل موج ولتاژ و جریان خروجی را به طور همزمان مشاهده و در شکل ۱۴-۲ رسم نمایید.

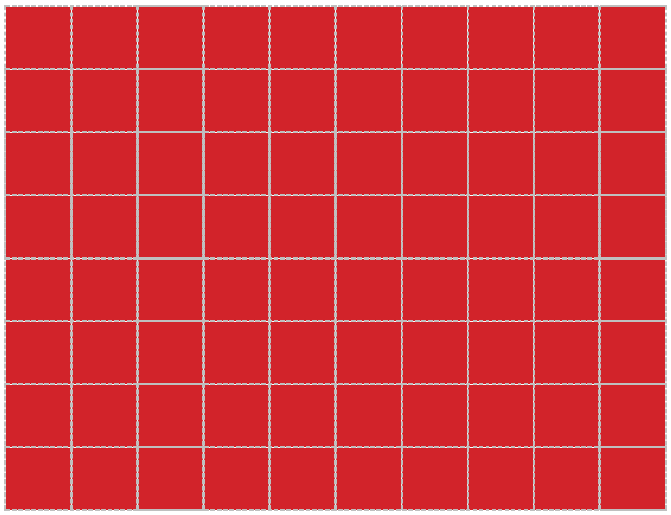


شکل ۱۶-۲ شکل موج ولتاژ و جریان خروجی در بار سلفی-مقاومتی

۶- مقدار موثر ولتاژ ورودی را به ۲۴ ولت تغییر دهید و بار خروجی را بار موتوری (RLE) قرار دهید. برای این منظور از ماژول موتور Universal استفاده کنید. سپس جدول زیر را تکمیل نمایید

جدول ۵-۲ نتایج آزمایش یکسوکننده تمام موج تکفاز با بار موتوری

شکل موج ولتاژ خروجی را در شکل ۱۷-۲ رسم کنید.



شکل ۱۷-۲ شکل موج ولتاژ خروجی در بار موتوری

۳ دیمر و کنترل ولتاژ AC تکفاز با ترایاک

۳-۱ مقدمه

دیمر در ساده‌ترین تعریف، یک مدار کنترل‌کننده ولتاژ است و اصطلاحاً زاویه آتش را تغییر می‌دهد. بطور مثال به جای اینکه لامپ بطور پیوسته روشن باشد دیمر کاری می‌کند که در تناوب‌هایی از زمان، برق لامپ قطع و وصل شود و نور آن تغییر کند. در این وسیله ترایاک کلید کنترل توان می‌باشد. در واقع ترایاک مانع عبور قسمتی از موج متناوب ولتاژ ورودی می‌شود. معمولاً دیمر به صورت سری با مصرف‌کننده قرار می گیرد و ولتاژ ورودی را کنترل می‌کند.

چنانچه یک ترایاک در بین بار و منبع تغذیه قرار گیرد، با تغییر مقدار rms ولتاژ اعمال شده به بار، می‌توان مقدار توان مصرفی بار را کنترل کرد. به چنین مدارهایی مبدل‌های ac-ac و یا کنترل کننده‌های ولتاژ ac گفته می‌شود. در سطوح توان پایین از ترياک و در سطوح بالاتر از تریستور استفاده می‌شود.

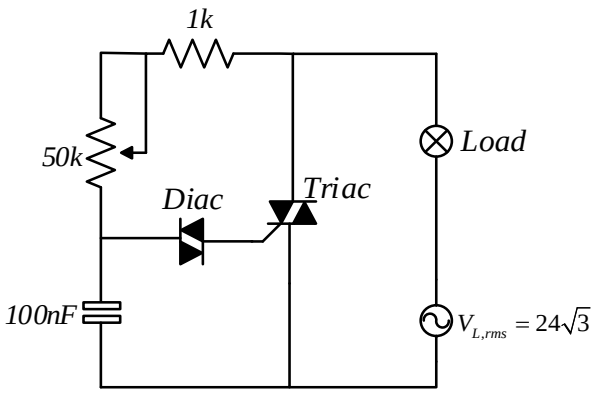
برای برشگر ac تکفاز رابطه مقدار موثر ولتاژ را با زاویه آتش را به دست آورید و مقدار موثر ولتاژ بار به ازای زاویه آتش دلخواه را رسم نمائید.

۳-۲ شرح آزمایش

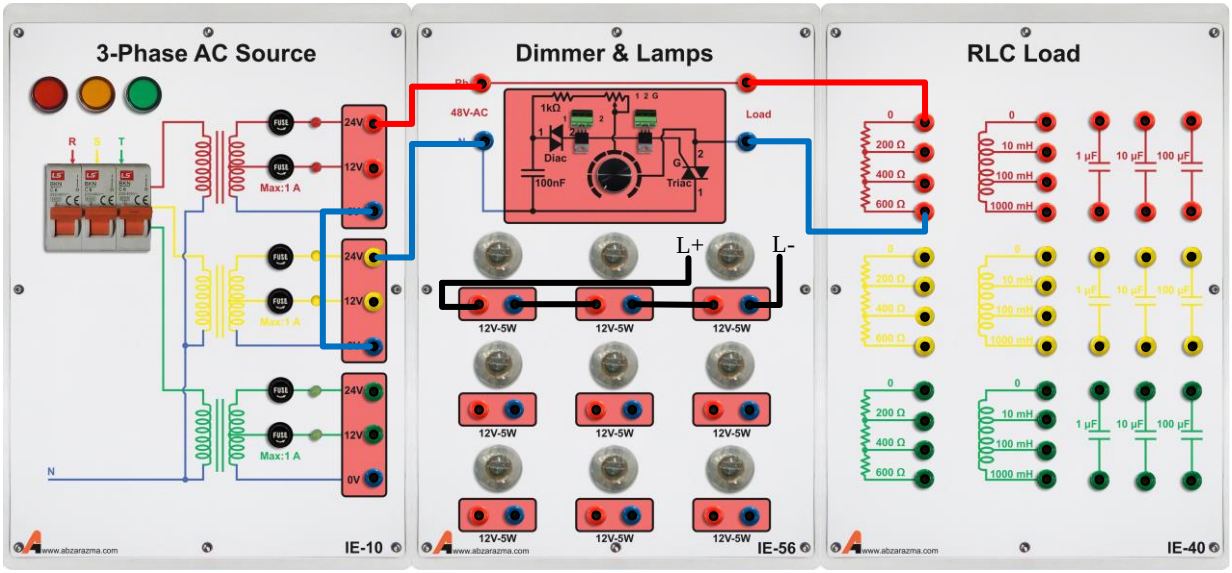
۳-۲-۱ بررسی مدار دیمر

در شکل ۳-۱مدار دیمر نشان داده شده است. هدف از این بخش این است که در مرحله اول مدار کنترل ولتاژ ac با دیمر را برای بار مقاومتی بررسی کنیم و در مرحله بعد بار لامپی را جایگزین بار مقاومتی کرده و تغییر نور لامپ را به کمک مدار دیمر مشاهده نمود. بار را مقاومت ۶۸۰ اهم برگزینید. در این حالت شکل موج ولتاژ بار را با تغییر مقدار پتانسیومتر مشاهده نمایید. درواقع با تغییر مقدار پتانسیومتر ولتاژ دو سر خازن ۱۰۰nF تغییر می‌کند با تغییر این ولتاژ، شکست دیاک و به تبع آن تحریک گیت ترایاک تغییر خواهد کرد.

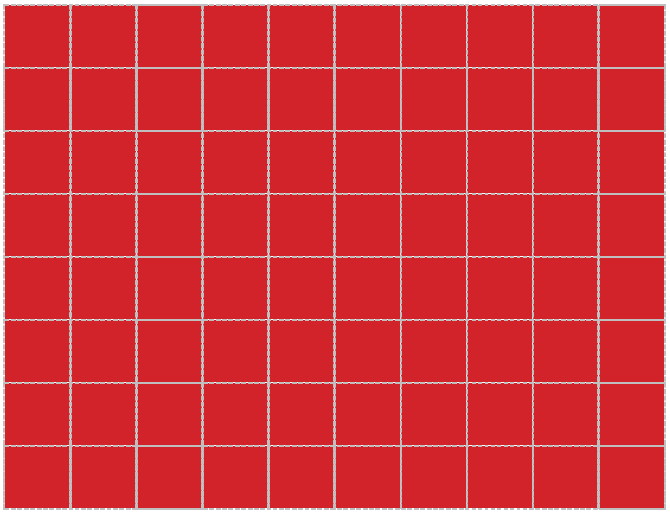
برای پیاده‌سازی مدار آزمایش دیمر، شکل ۳-۲ به عنوان راهنمایی ارائه گردیده است. پس از راه‌اندازی مدار، تغییرات ولتاژ بار و ولتاژ گیت ترایاک را به ازای تغییر مقدار پتانسیومتر مشاهده نمایید و در شرایطی که موثر ولتاژ خروجی حداکثر مقدار خود را دارد، شکل موج ولتاژ بار را در شکل ۳-۳ رسم نمایید.



شکل ۳-۱ مدار دیمر



شکل ۲-۳ نحوه اتصال ماژول‌های مربوطه برای پیاده‌سازی آزمایش دیمر



شکل ۳-۳ شکل موج ولتاژ بار در شرایط حداکثری

در این مرحله بار لامپی را با بار مقاومتی جایگزین نمایید و مجددا تغییرات شکل موج ولتاژ بار را با تغییر مقدار پتانسیومتر مشاهده نمایید. با افزایش مقدار موثر ولتاژ بار، مقدار نور لامپ افزایش می‌یابد و همین ویژگی دیمر است که سبب استفاده از آن در مدارات کنترل روشنایی و یا سرعت موتور شده است.

در این حالت شکل موج ولتاژ خازن و گیت را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

۲-۲-۳ کنترل ولتاژ AC تک فاز با ترایاک

وقتی صحبت از کنترل ولتاژ متناوب مطرح می شود دو رویکرد کنترل فرکانس(دوره تناوب) و کنترل مقدار موثر در ذهن شکل می‌گیرد. به کمک ترایاک امکان تغییر فرکانس ولتاژ متناوب در خروجی وجود ندارد اما می‌توان مقدار موثر ولتاژ خروجی را کنترل نمود.

ترایاک یک عنصر دو جهته است؛ بدین معنا که قابلیت هدایت جریان را از دو طرف دارد. و با اعمال فرمان آتش مناسب می‌توان روشن شده ترایاک را در نیم‌سیکل مثبت ورودی و نیم سیکل منفی ورودی کنترل نمود. معمولا فرمان آتش در دو نیم‌سیکل ورودی ۱۸۰

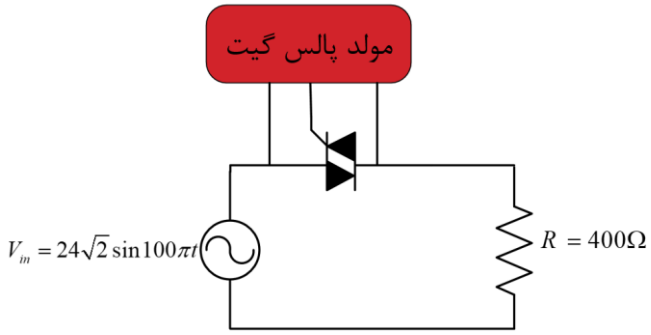
درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند. بنابراین اگر α را زاویه آتش در نیم‌سیکل مثبت ورودی در نظر بگیریم؛ ترایاک در $\alpha+180$ نیز آتش می‌شود.

یک مدار ساده برای مشاهده رفتار ترایاک در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. برای اعمال فرمان مناسب به ترایاک از ماژول 3-phase Synchronized pulses استفاده کنید. ابتدا فرمان به کمک ماژول pulse transformer ایزوله شود و سپس به گیت ترایاک اعمال می‌شود.

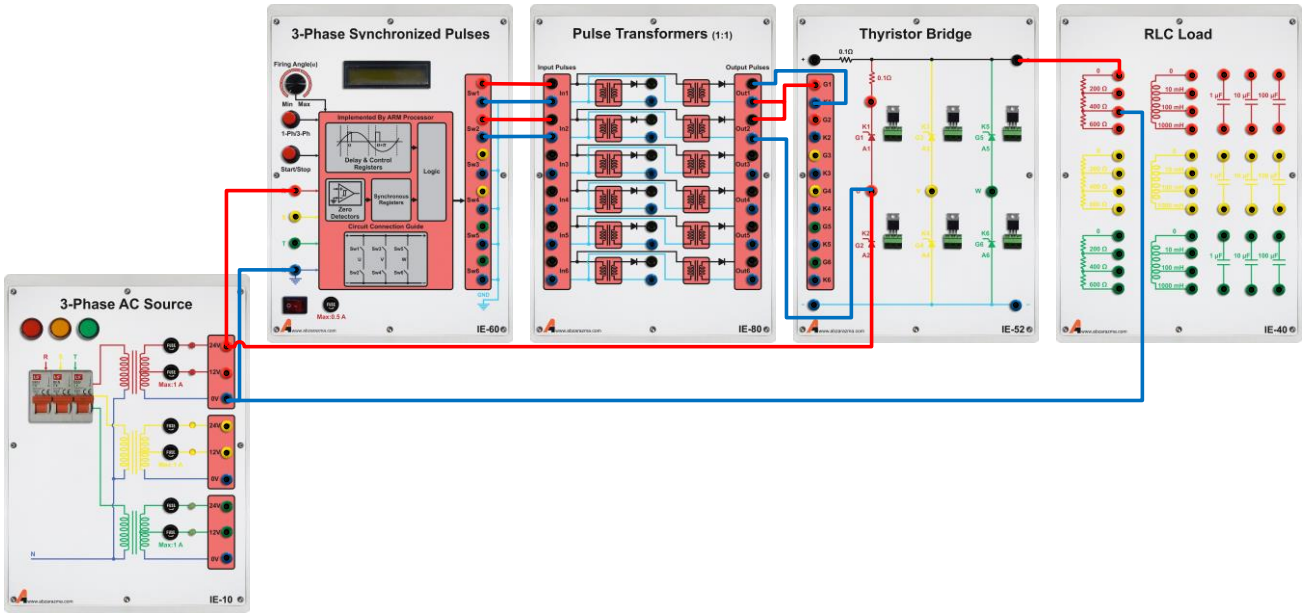
پالس های فرمان اعمالی به ترایاک می بایست با تغذیه AC ورودی سنکرون باشند. برای این منظور از ولتاژ Ac ورودی به ماژول 3-phase sunchronized pulses باید متصل کنیم. جهت راهنمایی نحوه اتصال ماژول‌های مورد نیاز در شکل ۵-۳ نشان داده شده است.

دقت شود که ماژول مولد فرمان گیت بر روی حالت تکفاز قرار گرفته باشد و ابتدا منبع AC ورودی را متصل کنید سپس دکمه Run را فشار دهید. بار خروجی را ۴۰۰ اهم انتخاب کنید

لازم به ذکر است ترایاک Bt138 را جایگزین تریستور قرار داده شده روی ماژول Thyristor Bridge کنید.



شکل ۴-۳ مدار کنترل ولتاژ ac تک فاز با ترایاک



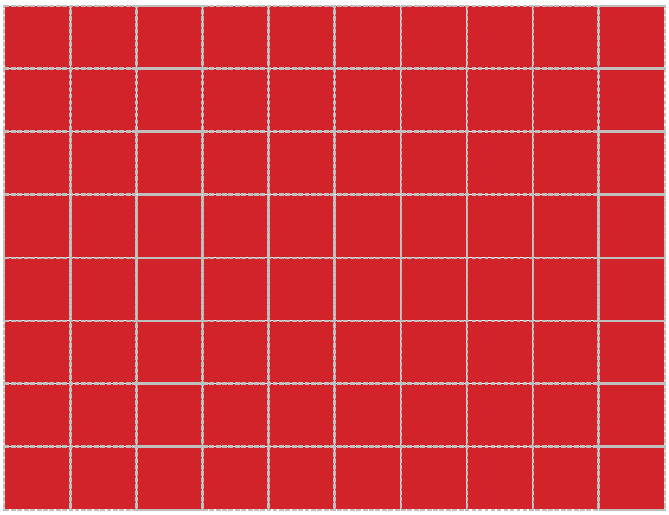
شکل ۵-۳ نحوه اتصال ماژول‌های مورد نیاز جهت پیاده‌سازی مدار کنترل ولتاژ ac با ترایاک

پس از راه‌اندازی آزمایش، مطابق جدول ۱-۳ به ازای زوایای اتش متفاوت، مقدار موثر ولتاژ خروجی را اندازه‌گیری کنید و با حالت تئوری مقایسه کنید. سپس به ازای زاویه آتش ۴۵ و ۹۰ درجه، شکل موج ولتاژ بار را در شکل ۶-۳ رسم نمایید.

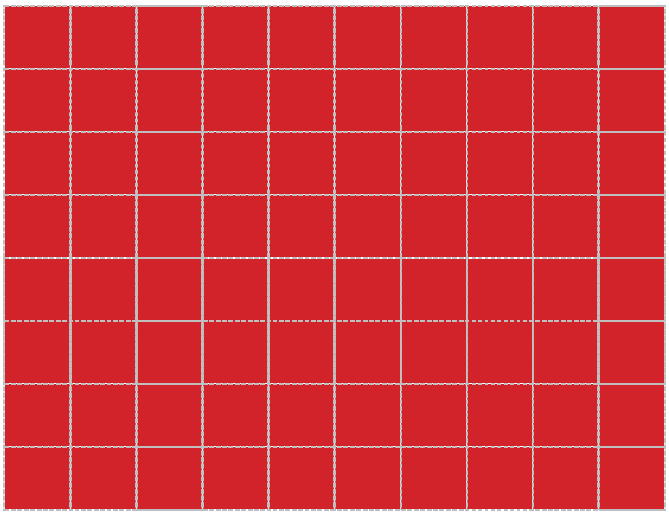
در ادامه زاویه آتش را روی ۹۰º تنظیم کنید و سپس سلف ۱۰۰ میلی هانری را وارد مدار کنید. شکل موج ولتاژ دو سر بار را در شکل ۳-۷ رسم کنید. زاویه هدایت ترایاک در این حالت چقدر است؟

جدول ۱-۳ نتایج آزمایش کنترل ولتاژ ac تکفاز به کمک ترایاک

	تئوری				
	عملی				



شکل ۶-۳ شکل موج ولتاژ بار به ازای زاویه آتش ۹۰ درجه



شکل ۷-۳ شکل موج ولتاژ بار به ازای زاویه آتش ۹۰ درجه و با وجود سلف ۱۰۰ میلی هانری

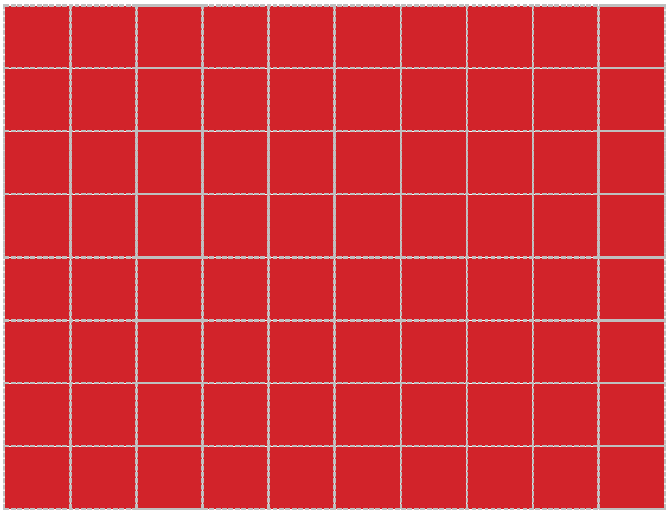
۳-۳ سوالات آزمایش

۱- در بخش ۱-۲-۳ با رفتار دیمر آشنا شدید؛ بر این اساس دو کاربرد خانگی و صنعتی برای دیمر پیشنهاد دهید.

۲- پالس های فرمان اعمالی به ترایاک می بایست با تغذیه AC ورودی سنکرون باشند . چرا ؟

۳- علت استفاده از ترانس پالس جهت اعمال پالس فرمان به ترایاک را شرح دهید

۴- نمودارهای ولتاژ خروجی و توان اکتیو بار بر حسب زاویه آتش رسم نمایید .



شکل ۸-۳ نمودار ولتاژ و توان بار بر حسب زاویه آتش

۴ مبدل‌های AC به DC تک فاز تریستوری

۴-۱ مقدمه

یکسوکننده‌ها به سه دسته غیر قابل کنترل، نیمه کنترل شونده و تمام کنترل شونده تقسیم می‌شوند . در این آزمایش یکسوکننده‌های نیمه و تمام کنترل شده بررسی می‌شود. در این نوع یکسوکننده‌ها به جای دیود از تریستور استفاده می‌شود و ولتاژ خروجی DC تابعی از دامنه ولتاژ AC ورودی و زاویه آتش تریستورها می‌باشد. از لحاظ جریان کشیده شده از منبع ورودی به دو دسته نیم موج و تمام موج تقسیم می شوند. در نوع نیم موج جریان تنها در یک جهت از هر خط تغذیه کشیده می شود و در نوع تمام موج در هر دو جهت جریان از منبع به سمت مدار جاری می شود. روابط ولتاژ خروجی یکسو ساز تکفاز نیم موج و تمام موج در روابط (۴-۱) و (۴-۲) به ترتیب بیان شده است.

$$V_{dc} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} V_{line(rms)} (1 + \cos\alpha) \qquad (۴-۱)$$

$$V_{dc} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{line(rms)} \cos\alpha \qquad (۴-۲)$$

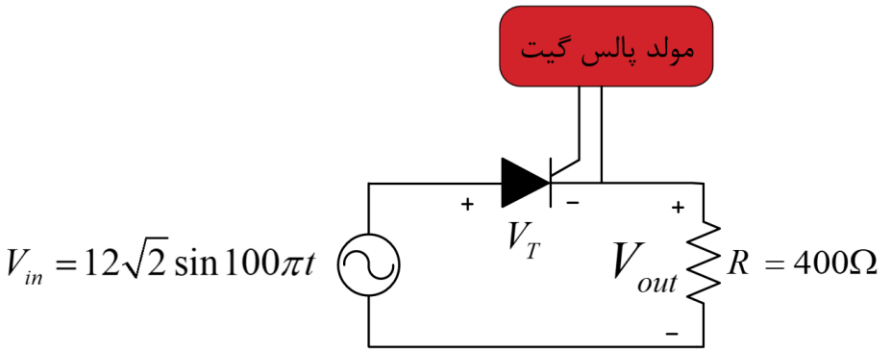
هر مدار الکترونیک صنعتی می‌تواند در وضعیت کاری پیوسته یا ناپیوسته عمل کند . هرگاه جریان سلف در مدار مبدل هیچگاه صفر نشود مبدل در وضعیت هدایت پیوسته عمل می‌کند و هر گاه در کسری از دوره تناوب کاری جریان سلف صفر شود مبدل در وضعیت کاری ناپیوسته عمل می کند. معمولا روابط توصیف کننده معادلات هر مبدل بسته به وضعیت کاری آن تغییر می‌کند

۴-۲ آزمایش و تحلیل

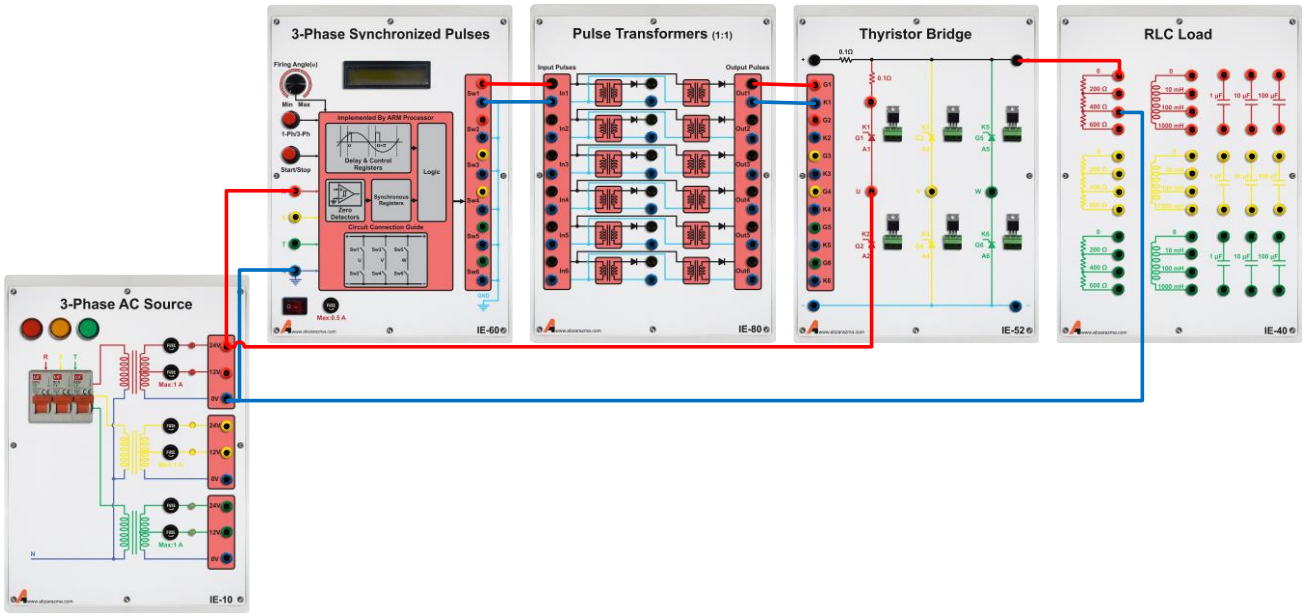
در این آزمایش با نحوه کارکرد یکسوسازهای تکفاز نیمه و تمام کنترل شونده آشنا خواهید شد. ابتدا یکسوکننده نیم موج مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از آن به بررسی یکسوکننده تمام موج نیم کنترل‌شونده و تمام کنترل‌شونده پرداخته خواهد شد.

۴-۲-۱ یکسوکننده تک فاز نیم موج تمام کنترل شونده

مدار یکسوساز تکفاز نیم موج تریستوری در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. بار خروجی را ۴۰۰ اهم انتخاب کنید و موثر ولتاژ ورودی ۱۲ ولت باشد. مطابق شکل ۴-۲ مدار آزمایش را سیم‌بندی کنید. جهت اعمال پالس گیت از ماژول 3-phase Synchronized pulses استفاده نمایید. فرمان گیت پس از ایزوله شدن به تریستور متصل شود. برای ایزوله نمودن می‌توانید از ترانس پالس و یا اپتوکوپلر استفاده نمایید.



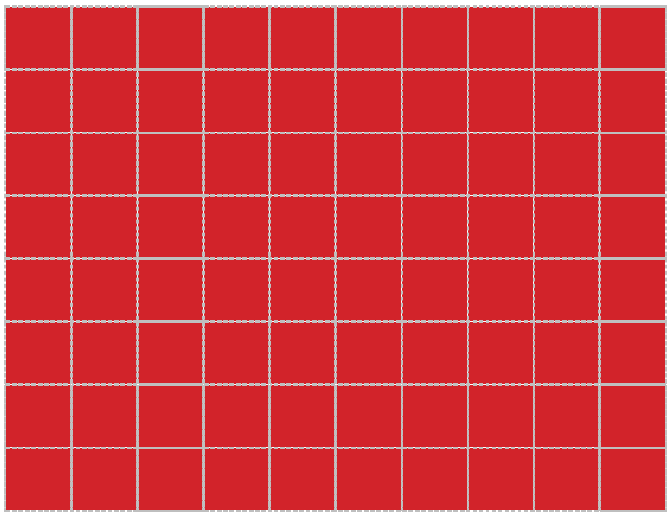
شکل ۴-۱ یکسوکننده تک فاز نیم موج تمام کنترل‌شونده



شکل ۲-۴ نحوه سیم‌بندی مدار آزمایش یکسوکننده تک‌فاز نیم موج تریستوری

پس از راه‌اندازی مدار آزمایش، نسبت به پاسخ‌گویی به موارد زیر اقدام نمایید.

۱- زاویه آتش را بر روی ۱۰۰ درجه تنظیم نمایید و شکل موج ولتاژ خروجی و تریستور را به طور همزمان مشاهده و در شکل ۳-۴ رسم نمایید. نحوه اتصال اسیلوسکوپ برای مشاهده این دو شکل موج در شکل ۸-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۴ شکل موج ولتاژ خروجی و تریستور

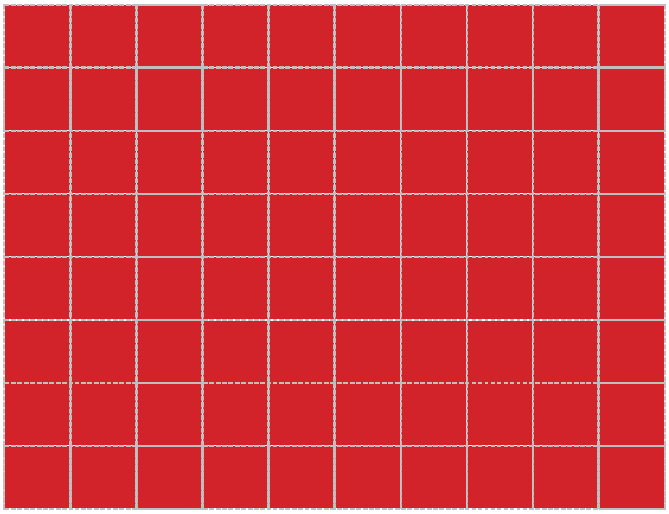
۲- جدول زیر را به ازای زوایای آتش متفاوت تکمیل نمایید

جدول ۱-۴ نتایج آزمایش یکسوساز نیم موج تریستوری

	تئوری					
	عملی					

۳- در این مرحله سلف ۱۰۰ میلی هانری با بار ۲۰۰ اهم سری گردد و جایگزین مقاومت ۴۰۰ اهم خروجی شود. در این شرایط حداکثر زاویه آتش تریستور را برای عملکرد یکسوکننده در حالت هدایت پیوسته بدست آورید؟

۴- با تنظیم زاویه آتش بد ست آمده از ق سمت قبل، شکل موج ولتاژ خروجی و جریان تریستور را به طور همزمان در شکل ۴-۴ ر سم نمایید.

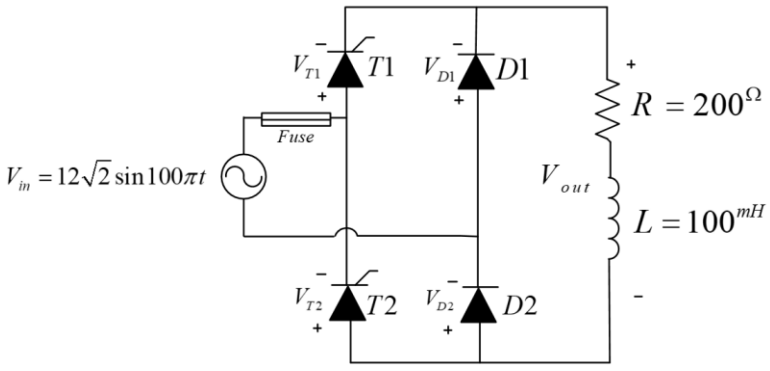


شکل ۴-۴ شکل موج ولتاژ خروجی و جریان تریستور

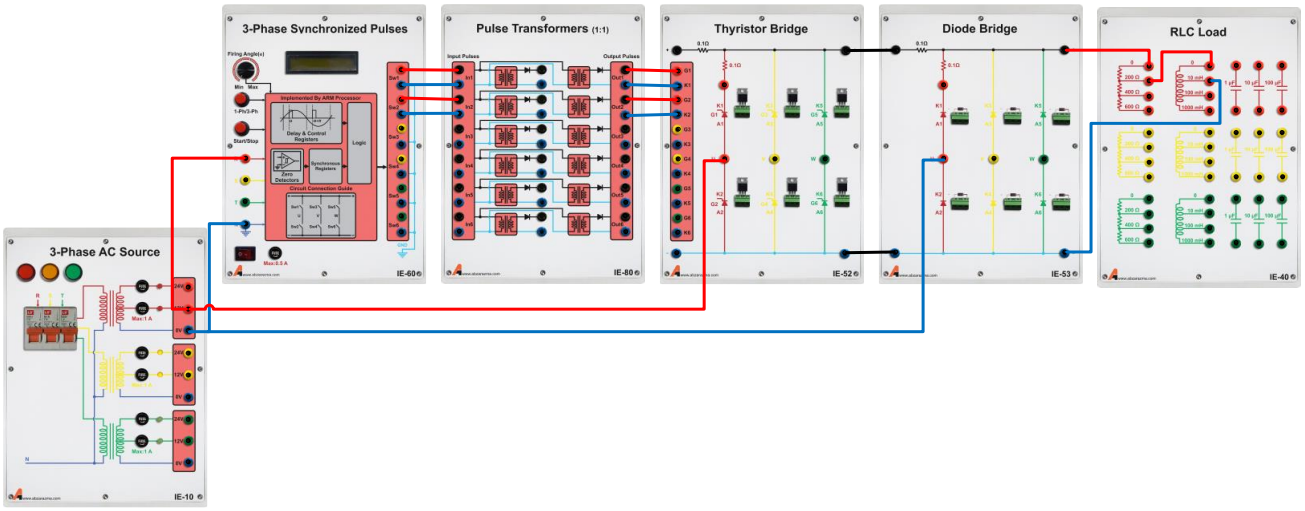
۵- مقدار ریپل ولتاژ خروجی را در این حالت بدست آورید؟

۴-۲-۲ یکسوساز تکفاز نیمه کنترل شونده تمام موج

مدار یکسوساز تکفاز تمام موج در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. بار خروجی ازاتصال سری مقاومت ۲۰۰ اهم و سلف ۱۰۰ میلی هانری تشکیل شده است.



شکل ۴-۵ یکسوکننده تک فاز نیمه‌کنترل شونده تمام موج



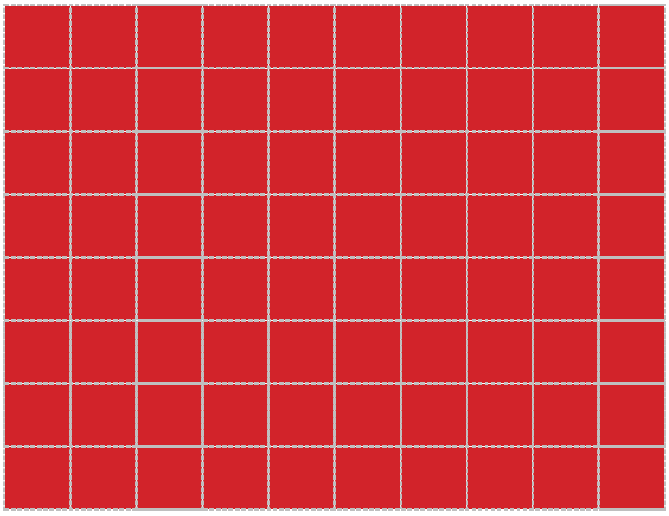
شکل ۶-۴ نحوه اتصال ماژول‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش

فرمان تریستورهای یک ساق با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز نسبت‌به یکدیگر داده می‌شود. برای درک بهتر از نحوه اعمال فرمان آتش به تریستورها، می‌توانید شکل موج ولتاژ منبع ورودی را به طور همزمان با پالس‌های خروجی ماژول 3-phase synchronized pulses مشاهده کنید و با تغییر زاویه آتش، جابه‌جایی فاز پالس فرمان را ملاحظه کنید.

برای این کار زمین اسیلوسکوپ را به نول و یا زمین مشترک پال‌های خروجی متصل کنید و با کانال یک ولتاژ منبع ورودی و با کانال دو پالس فرمان را ملاحظه کنید.

پس از راه‌اندازی مدار آزمایش، نسبت به پاسخ‌گویی به موارد زیر اقدام نمایید.

۱- زاویه آتش را بر روی ۴۵ درجه تنظیم نمایید و شکل موج ولتاژ خروجی و دیود D1 را به طور همزمان مشاهده و در شکل ۴-۷ رسم نمایید.



شکل ۴-۷ شکل موج ولتاژ خروجی و دیود D1

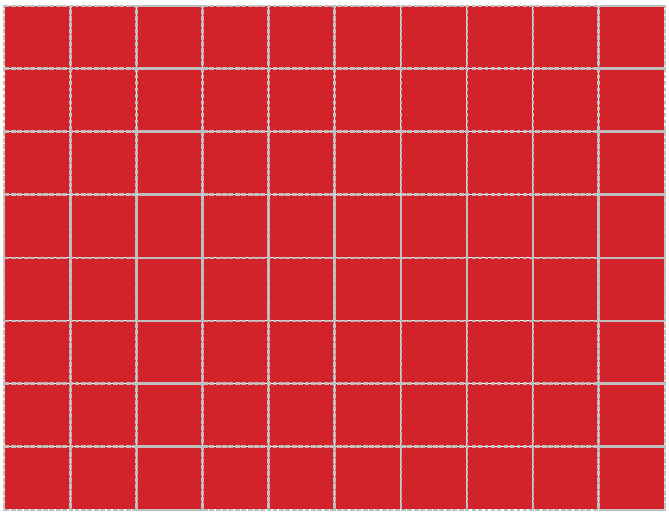
۲- جدول زیر را به ازای زوایای آتش متفاوت تکمیل نمایید

جدول ۲-۴ نتایج آزمایش یکسوساز تکفاز نیمه کنترل شونده

	تئوری					
	عملی					

۳- حداکثر زاویه آتش را برای آنکه جریان بار پیوسته باشد، بدست آورید و با تنظیم زاویه آتش بدست آمده، شکل موج ولتاژ خروجی را در شکل ۸-۴ رسم نمایید.

با تغییر زاویه آتش از مقدار بدست آمده عملکرد یکسوکننده را در حالت هدایت پیوسته و ناپیوسته مشاهده کنید.



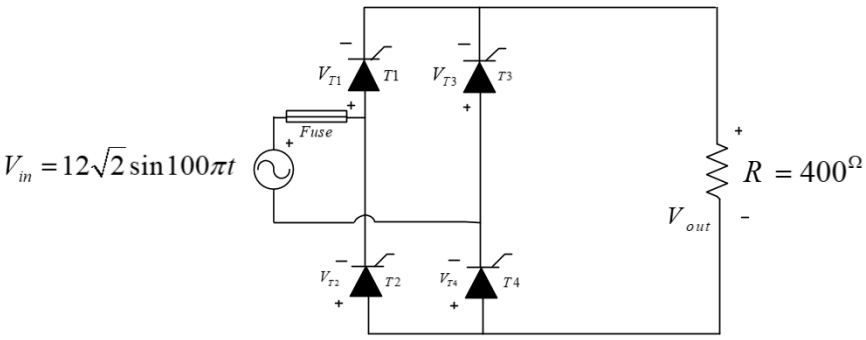
شکل ۸-۴ شکل موج ولتاژ خروجی

۵- مقدار ریپل ولتاژ خروجی را در این حالت بدست آورید؟

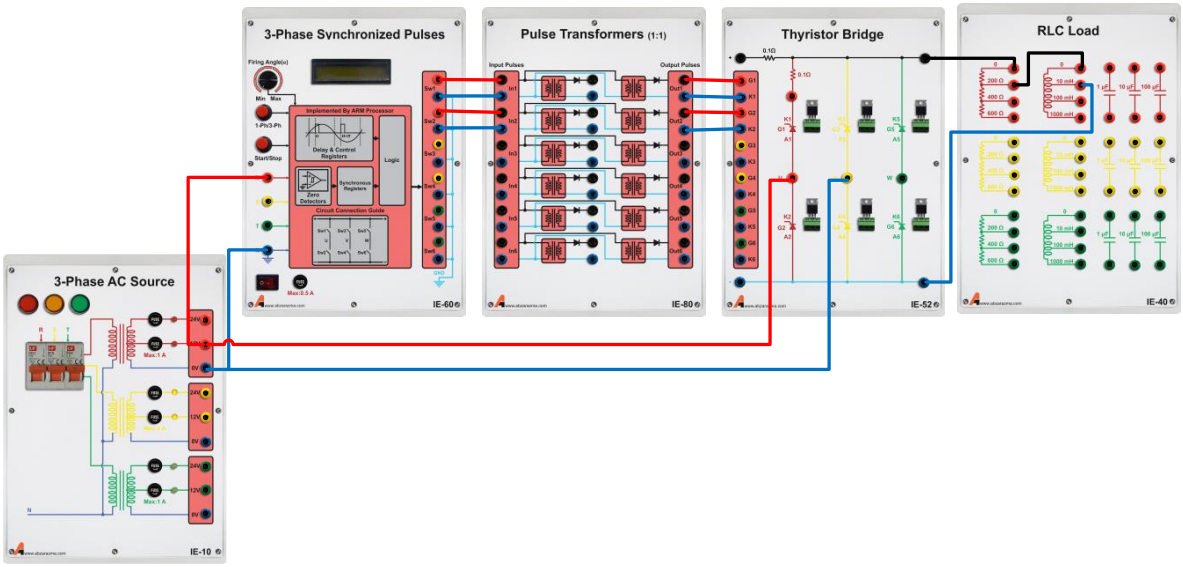
۶- از بار اهمی خالص استفاده کنید و شکل موج خروجی را در این شرایط با حالت قبلی مقایسه نمائید .

۴-۲-۳ پل یکسوساز تک فاز تمام کنترل شونده با بار مقاومتی

در آخرین مرحله از این آزمایش پل یکسو ساز تکفاز تریستوری مورد برر سی قرار خواهد گرفت. مدار این آزمایش م شابه بخش ۴-۲-۲ است با این تفاوت که تریستورهای T3 و T4 جایگزین دیودهای D1 و D2 خواهند شد. مدار این آزمایش در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. از مقاومت ۴۰۰ اهمی به عنوان بار خروجی یکسوکننده استفاده می‌شود.



شکل ۹-۴ پل یکسوکننده تک فاز تمام کنترل شونده



شکل ۱۰-۴ نحوه سیم‌بندی مدار آزمایش یکسوکننده تکفاز تریستوری

پس از راه‌اندازی مدار آزمایش، نسبت به پاسخ‌گویی به موارد زیر اقدام نمایید.

۱- زاویه آتش را بر روی ۱۲۰ درجه تنظیم نمایید و شکل موج ولتاژ خروجی و تریستور T4 را به طور همزمان مشاهده و در شکل ۴-۱۱ رسم نمایید.

شکل ۱۱-۴ شکل موج ولتاژ خروجی و تریستورT4

۲- جدول زیر را به ازای زوایای آتش متفاوت تکمیل نمایید

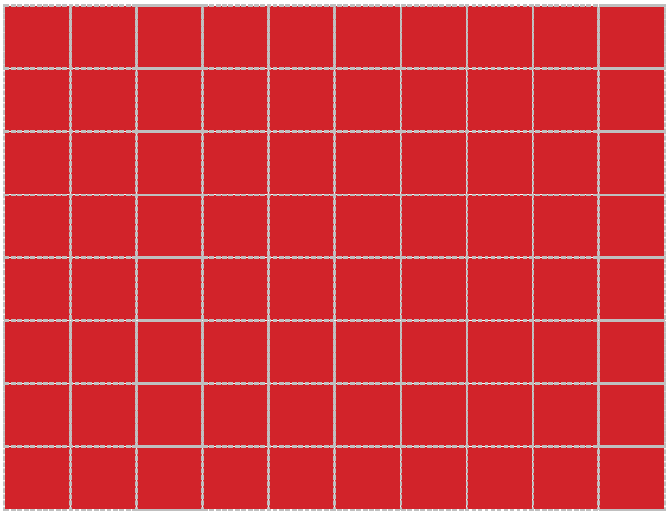
جدول ۳-۴ نتایج آزمایش یکسوساز تکفاز تریستوری

	تئوری					
	عملی					

۳- در این مرحله سلف ۱۰۰ میلی هانری با بار ۴۰۰ اهم سری گردد. در این شرایط حداکثر زاویه آتش تریستور را برای عملکرد یکسوکننده در حالت هدایت پیوسته بدست آورید؟

با تغییر زاویه آتش از مقدار بدست آمده عملکرد یکسوکننده را در حالت هدایت پیوسته و ناپیوسته مشاهده کنید.

۴- با تنظیم زاویه آتش بدست آمده از قسمت قبل، شکل موج ولتاژ خروجی و جریان بار را به طور همزمان در شکل ۱۲-۴رسم نمایید.



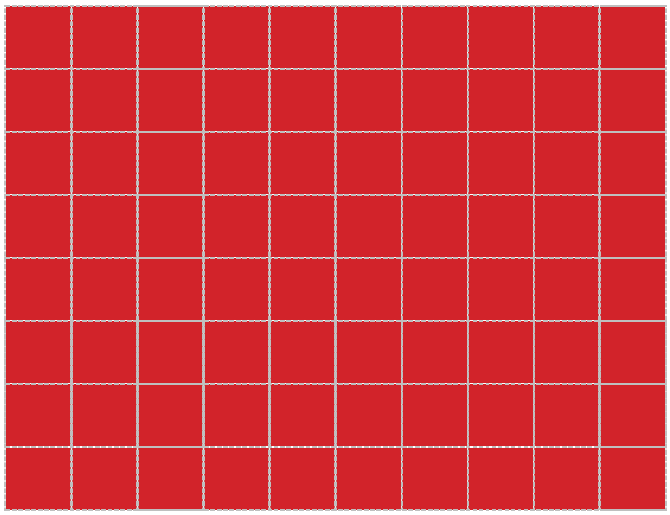
شکل ۱۲-۴ شکل موج ولتاژ خروجی و جریان بار

۵- مقدار ریپل ولتاژ خروجی را در این حالت بدست آورید؟

۶- موتور یونیورسال را به عنوان بار خروجی قرار دهید و ولتاژ منبع ورودی را به ۲۴ ولت موثر تغییر دهید. پس از راه‌اندازی اختلاف شکل موج ولتاژ خروجی را مشاهده و با حالت قبل مقایسه کنید؟

۷- با افزایش زاویه آتش، سرعت موتور و متوسط ولتاژ خروجی چه تغییری می‌کنند؟

۶- با قرار دادن مقاومت ۱ اهم در مسیر منبع ورودی، شکل موج جریان کشیده شده از منبع را در شکل ۱۳-۴رسم نمایید



شکل ۱۳-۴ شکل موج جریان کشیده شده از منبع ورودی

۴-۳ سوالات آزمایش

۱- با توجه به نتایج به دست آمده یکسوکننده نیمه کنترل شونده و تمام کنترل شونده تکفاز را با هم مقایسه کنید.

۲- در آرایش نیمه کنترل شونده (شکل ۵-۴) کدام کلیدها نقش دیود هرزگرد را ایفا می‌کنند .

۳- برای اعمال پالس فرمان به تریستور باید از ایزولا سیون نوری و یا مغناطیسی ا ستفاده شود. در مورد عدم ا ستفاده از ایزولا سیون و پیامدهای آن در کلاس بحث کنید؟

۵ مبدل‌های AC به DC سه فاز دیودی

۵-۱ مقدمه

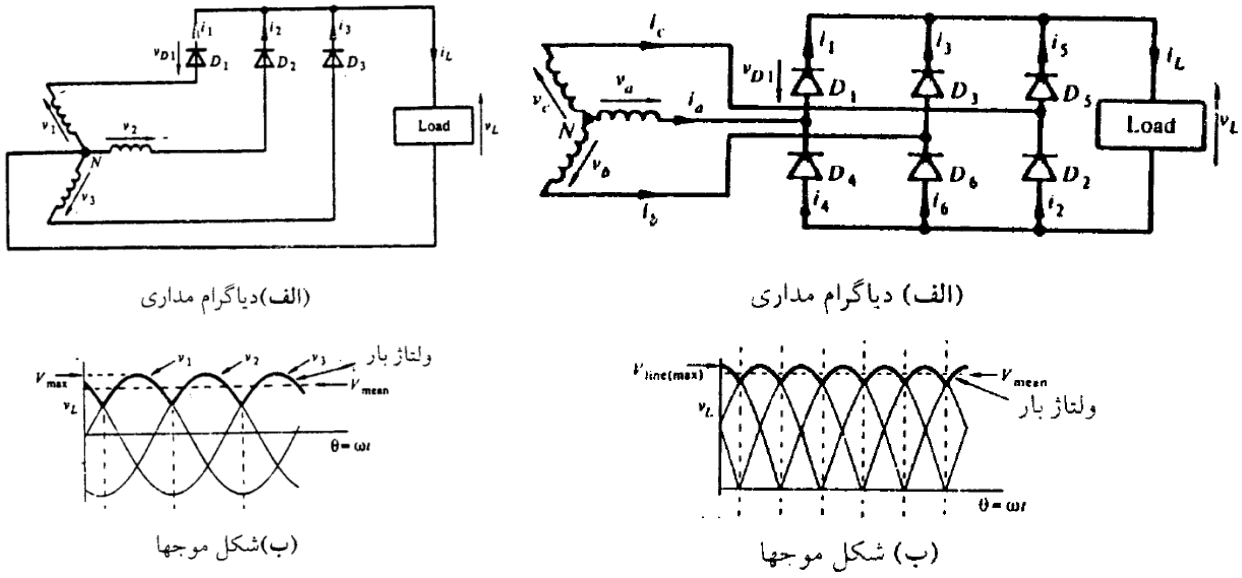
در این آزمایش یکسوکننده‌های سه فاز نیم موج و تمام موج دیودی (کنترل نشده) را بررسی خواهیم کرد. در یکسوکننده‌های نوع تمام دیودی، ولتاژ خروجی قابل کنترل نمی‌باشد و ولتاژ خروجی DC برای نیم موج و تمام موج سه فاز به صورت روابط (۵-۱) و (۵-۲) می‌باشد:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V_{line(rms)} \qquad (۵-۱)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{line(rms)} \qquad (۵-۲)$$

در بسیاری از فرآیندهای صنعتی مانند شارژ باطری، تنظیم دور موتورهای DC، آبکاری فلزات و ... احتیاج به توان الکتریکی DC وجود دارد. معمولا توان الکتریکی در دسترس از نوع تک‌فاز و سه‌فاز AC می‌باشد. جهت تبدیل توان AC به DC از یکسوسازها[۴] استفاده می‌شود. در توان‌های بالاتر از ۱۵ کیلووات به طور معمول از یکسوسازهای سه فاز (یا شش فاز و بالاتر) جهت تبدیل توان الکتریکی ا ستفاده می‌گردد. یک یکسو ساز به طور معمول از نیمه هادی های قدرت، عنا صر راکتیو (سلف و خازن)، مدار فرمان (شامل کنترل و درایو) و اجزای محافظ تشکیل شده است.

در شکل ۱-۵ یکسوساز غیر کنترل شونده سه پالسه و شش پالسه نشان داده شده است. در ادامه به بررسی عملکرد یکسوسازهای غیر کنترل شونده پرداخته شده است.



شکل ۱-۵ یکسوساز سه فاز شش پالسه و سه پالسه دیودی

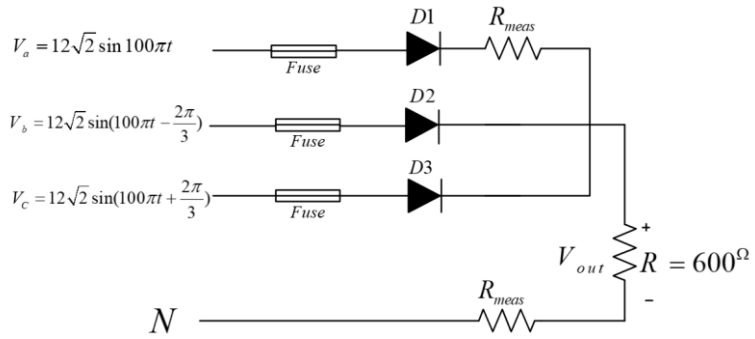
[۴] Rectifiers

۵-۲ آزمایش و تحلیل

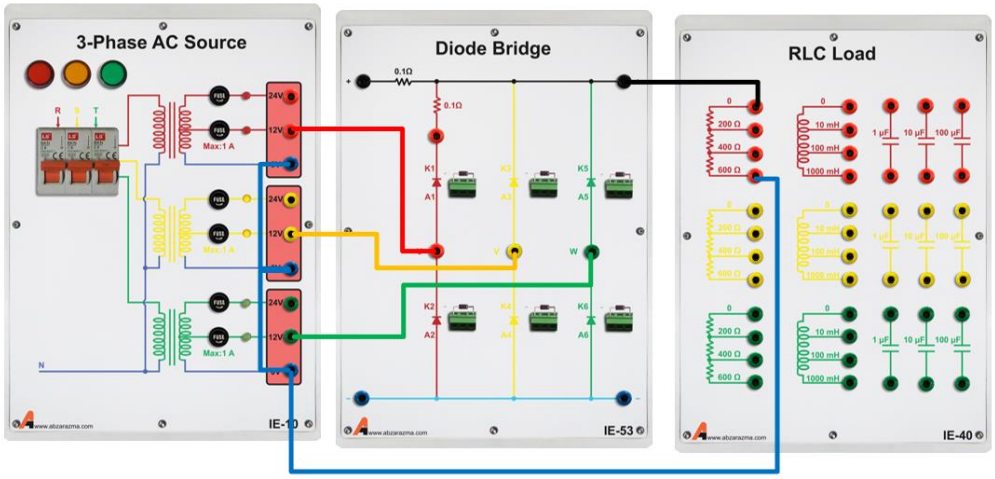
در این آزمایش یکسوسازهای سه‌فاز سه پالسه و شش پالسه دیودی بررسی می‌گردند. یکسوساز سه‌فاز تریستوری از لحاظ کنترلی در دسته تمام کنترل شونده‌ها قرار می‌گیرد، چرا که تمام عناصر نیمه‌هادی آن از نوع تریستور است. این یکسو ساز در آزمایش شماره ۶ بررسی خواهد شد. در آزمایش فعلی به بررسی نحوه کارکرد یکسوسازهای سه‌فاز دیودی بررسی پرداخته خواهد شد.

۵-۲-۱یکسوکننده سه‌فاز نیم موج (سه پالسه)

مدار شکل ۵-۲، جهت بررسی یکسوساز سه پالسه سه فاز ارائه شده است. بار خروجی را متعادل مقدار آن را ۶۰۰ اهم در نظر بگیرید و مقدار موثر ولتاژ فاز ورودی ۱۲ ولت انتخاب شود. جهت راهنمایی شکل ۵-۳ نشان داده شده است. برای راه‌اندازی مدار آزمایش مطابق این شکل سیم‌بندی نمایید.



شکل ۲-۵ مدار یکسوکننده سه فاز نیم موج



شکل ۳-۵ نحوه پیاده سازی یکسوساز نیم موج سه فاز

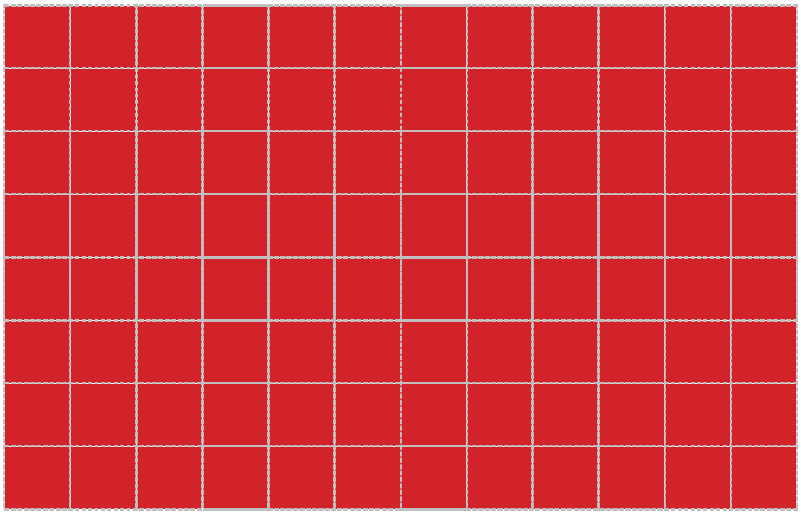
پس از راه‌اندازی مدار آزمایش نسبت به پاسخ‌گویی به سوالات زیر اقدام نمایید.

۱- جدول زیر را تکمیل نمایید

جدول ۱-۵ نتایج آزمایش یکسوساز سه فاز سه پالسه

					تئوری	عملی

۲- شکل موج ولتاژ خروجی و جریان دیود D1 را به طور همزمان مشاهده و در شکل ۴-۵ رسم کنید.



شکل ۴-۵ شکل موج ولتاژ خروجی

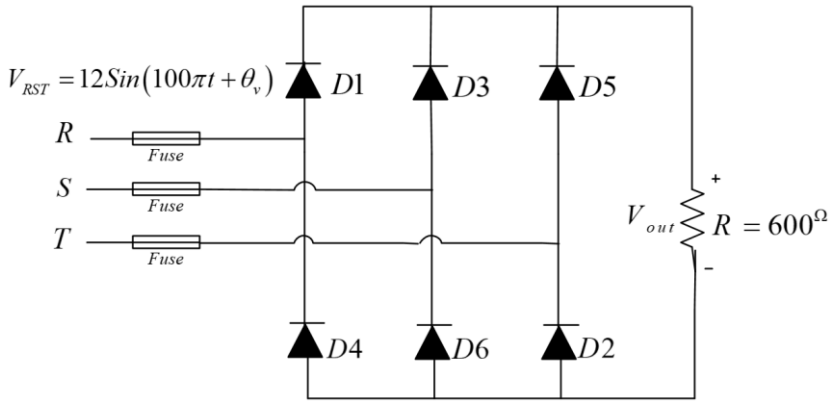
۳- متوسط جریان بار و جریان متوسط و مؤثر دیود D1 را به دست آورید.

۴- بار موتوری را جایگزین بار مقاومتی قرار دهید سپس زاویه هدایت و زمان روشن بودن دیودها را با حالت قبل مقایسه کنید؟

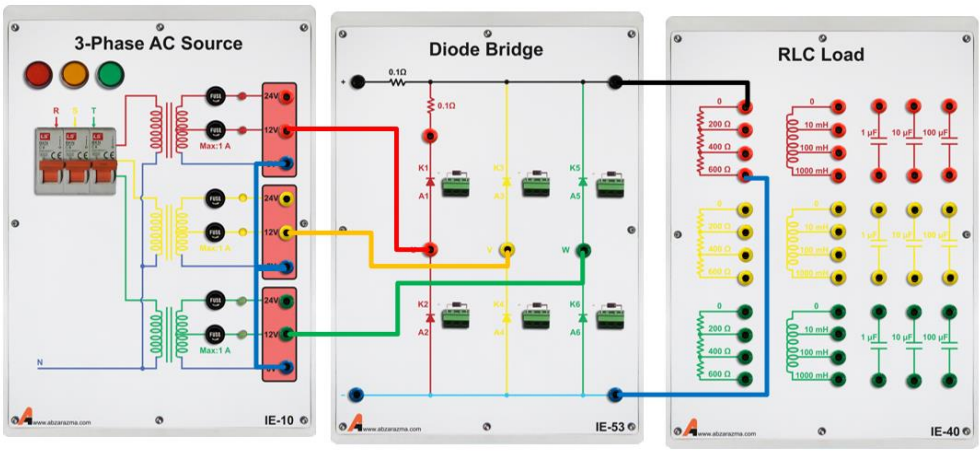
۵- به منظور برر سی تاثیر اندوکتانس منبع و فیلتر ورودی، سه سلف با مقادیر ۱۰ میلی هانری با منبع تغذیه سه فاز سری نمائید. با تغییر مقدار سلف ورودی، تاثیر آن را بر جریان ورودی بررسی کنید

۵-۲-۲ یکسوکننده پل سه فاز (شش پالسه)

متو سط ولتاژ خروجی در یکسو ساز سه فاز ۶ پالسه، بزرگتر از مقدار متو سط ولتاژ در سایر یکسو سازهای مورد برر سی ا ست. همچنین شکل موج ولتاژ خروجی دارای ریپل کمتری می‌باشد. مدار یکسوساز ۶ پالسه دیودی در شکل زیر نشان داده شده است.



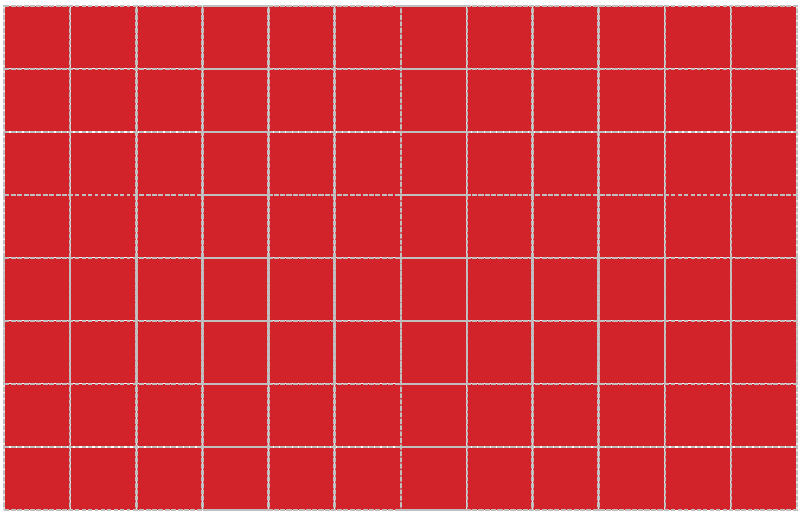
شکل ۵-۵ پل یکسوکننده سه فاز(شش پالسه)



شکل ۶-۵ نحوه پیاده‌سازی آزمایش یکسوساز سه‌فاز ۶ پالسه

برای پیاده‌سازی مدار آزمایش می‌توانید مطابق شکل ۶-۵ عمل نمایید. پس از پیاده‌سازی آزمایش به موارد زیر پاسخ دهید.

۱- شکل موج ولتاژ خروجی و جریان دیود D1 را به طور همزمان مشاهده و در شکل ۷-۵ رسم کنید.



شکل ۷-۵ شکل موج ولتاژ خروجی

۲- جدول زیر را تکمیل نمایید

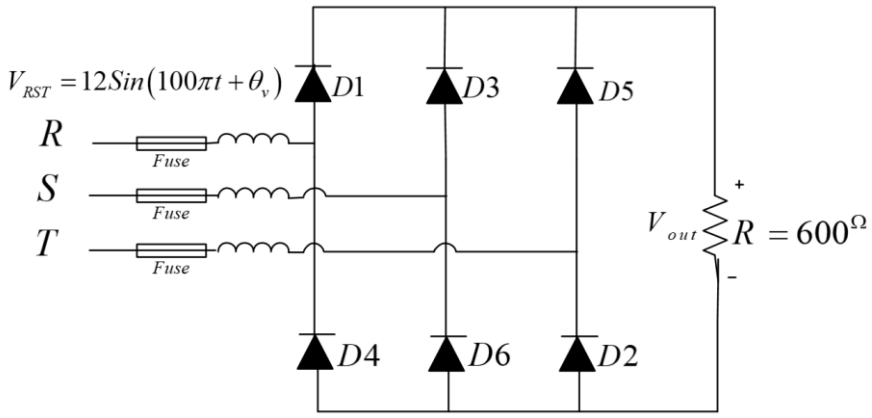
جدول ۲-۵ نتایج آزمایش یکسوساز سه فاز ۶ پالسه

					تئوری	عملی

۳- متوسط جریان بار و جریان متوسط و مؤثر دیود D1 را به دست آورید.

۴- بار موتوری را جایگزین بار مقاومتی قرار دهید سپس زاویه هدایت و زمان روشن بودن دیودها را با حالت قبل مقایسه کنید؟

۵- جهت تحقیق تاثیر اندوکتانس منبع و فیلتر ورودی ، سه سلف با مقادیر ۱۰ میلی هانری با منبع تغذیه سه فاز سری نمائید. شکل ۸-۵ بدین منظور ارائه گردیده است. شکل موج ولتاژ خروجی و جریان ورودی را با حالت بدون اندوکتانس منبع مشاهده و شکل موج ها را با هم مقایسه نمائید.



شکل ۸-۵ یکسوساز شش پالسه دیودی با سلف نشتی

۵-۳ سوالات آزمایش

زاویه خاموشی دیودها را محاسبه نمایید.

رابطه ولتاژ خروجی یکسوساز سه پالسه دیودی را به دست آورید.

در توان‌های بالا کاربرد یکسوساز شش پالسه بر سه پالسه ارجحیت دارد. علت را بیان نمائید.

۶ مبدل‌های AC به DC سه فاز تمام کنترل‌شونده

۶-۱ مقدمه

در این آزمایش یکسوسازهای سه‌فاز نیم موج و تمام موج تریستوری بررسی می‌گردد. برای کاربردهایی که به ولتاژ DC متغیر نیاز است مثل کنترل دور موتور DC، این یکسوسازها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کاربردهای توان بالا استفاده از نوع تکفاز مردود می باشد و تنها از نوع سه فاز استفاده می گردد. رابطه بین دامنه ولتاژ DC خروجی و ولتاژ AC ورودی و زاویه آتش تریستورها برای نوع نیم موج و تمام موج به ترتیب در روابط (۶-۱) و (۶-۲) بیان شده است.

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_{line(max)} \cos\alpha \qquad (۶-۱)$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{line(max)} \cos\alpha \qquad (۶-۲)$$

۶-۲ شرح آزمایش

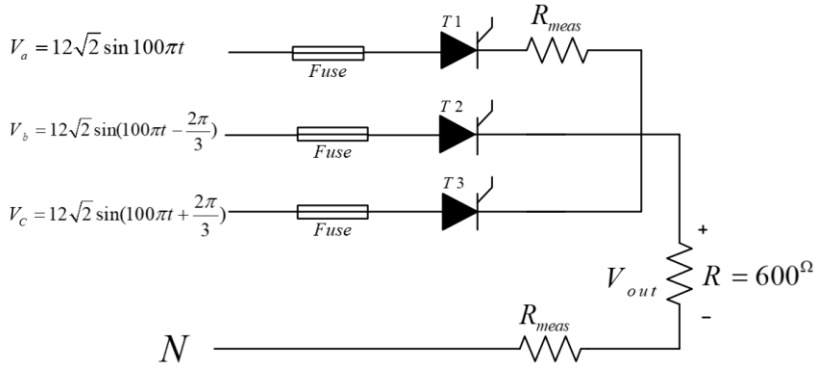
در این آزمایش به بررسی یکسوسازهای سه فاز کنترل شونده پرداخته خواهد شد. در ابتدا یکسوساز سه فاز ۳ پالسه تریستوری مورد آزمایش واقع می‌شود و پس از آن یکسوکننده ۶ پالسه تریستوری بررسی خواهد شد.

۶-۲-۱ یکسوکننده سه‌فاز ۳ پالسه کنترل شونده

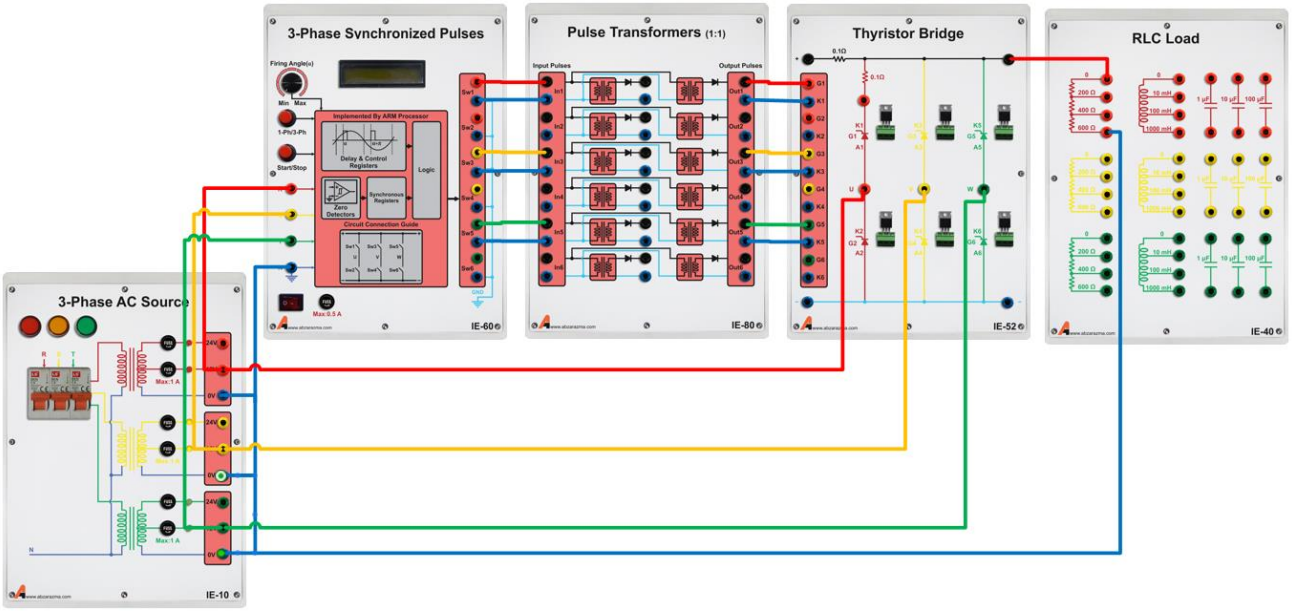
در شکل ۶-۱ مدار یکسوکننده سه‌فاز ۳ پالسه با کمک کلیدهای نیم‌هادی کنترل شونده نشان داده شده است. برای پیاده سازی مدار آزمایش مطابق ساختار پیشنهادی در شکل ۶-۲ عمل نمایید.

همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، ماژول 3-phase synchronized pulses وظیفه اعمال فرمان آتش در زاویه مناسب را به تریستورها بر عهده دارد. دقت شود که ماژول روی حالت ۳ فاز تنظیم شود. برای این منظور کلید مربوطه را بر روی ماژول فشار دهید تا حالت آن بر روی LCD از تکفاز به سه فاز تغییر کند. با توجه به اینکه فرمان آتش در فازهای S و T با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه نسبت به فاز اول ایجاد می‌گردد لذا فرمان تریستور T1 از خروجی SW1 و فرمان تریستورهای T2 و T3 به ترتیب از خروجی‌های SW3 و SW5 گرفته می‌شود

در صورتی که بار مقاومتی خالص باشد زاویه آتش مقداری بین صفر تا ۱۲۰ را درجه می‌تواند اختیار کند. از این یکسوساز می‌توان جهت کنترل سرعت موتور DC و یا تنظیم ولتاژ تحریک در ژنراتورهای سنکرون استفاده نمود. تنظیم ولتاژ تحریک در ژنراتورهای سنکرون می‌تواند به کنترل توان راکتیو تزریقی به شبکه کمک کند.



شکل ۶-۱ یکسوکننده نیم موج سه فاز



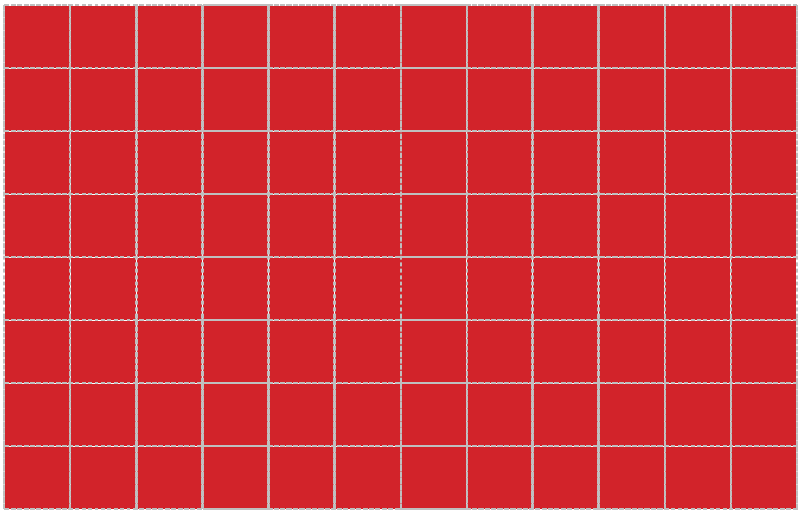
شکل ۲-۶ ساختار پیشنهادی جهت پیاده‌سازی آزمایش یکسوکننده سه‌فاز ۳ پالسه تریستوری

برای راه‌اندازی مدار آزمایش، ابتدا تغذیه سه فاز را روشن کنید و در نهایت با فشردن کلید Run فرمان‌های آتش در زاویه مشخص شده تولید و از طریق ترانس‌پالس به گیت تریستورها اعمال خواهند شد.

نکته: گاهی ممکن است به دلیل اتصال ضعیف و یا معیوب بودن تریستور در خروجی به شکل مطلوب دست پیدا نکنیم. در این صورت بایستی عیب‌یابی شود. برای آنکه متوجه شوید کدام‌یک از تریستورها روشن نمی شود ولتاژ گیت – کاتد را با اسیلوسکوپ مشاهده نمایید. تریستور در بازه‌ای که روشن است ولتاژ گیت – کاتد آن حدود ۲تا ۴ ولت ثابت می‌باشد.

پس از راه‌اندازی مدار آزمایش نسبت به پاسخگویی به موارد زیر اقدام نمایید.

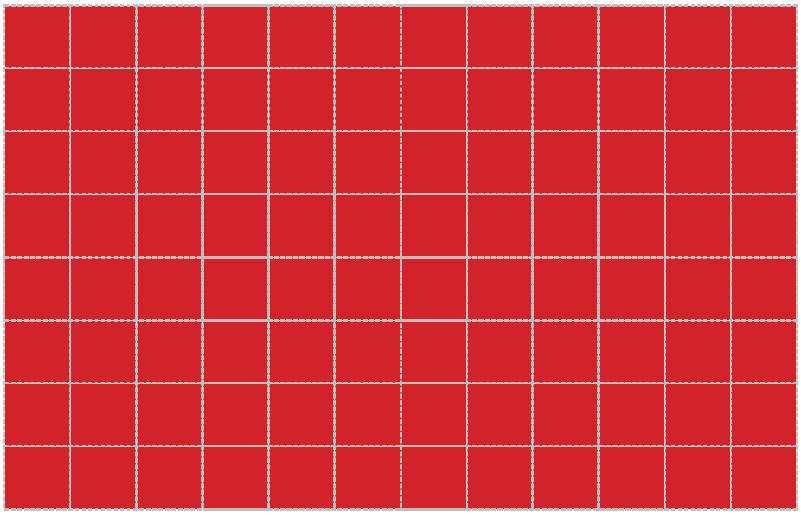
۱- زاویه آتش را صفر درجه تنظیم کنید و شکل موج ولتاژ بار را روی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۳-۶ رسم کنید.



شکل ۳-۶ شکل موج ولتاژ خروجی

۲- نقاط کموتاسیون طبیعی این مدار را مشخص کنید.

۳- زاویه آتش را ۱۸º تنظیم نمایید آنگاه شکل موج ولتاژ و جریان بار را روی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۴-۶ رسم کنید.



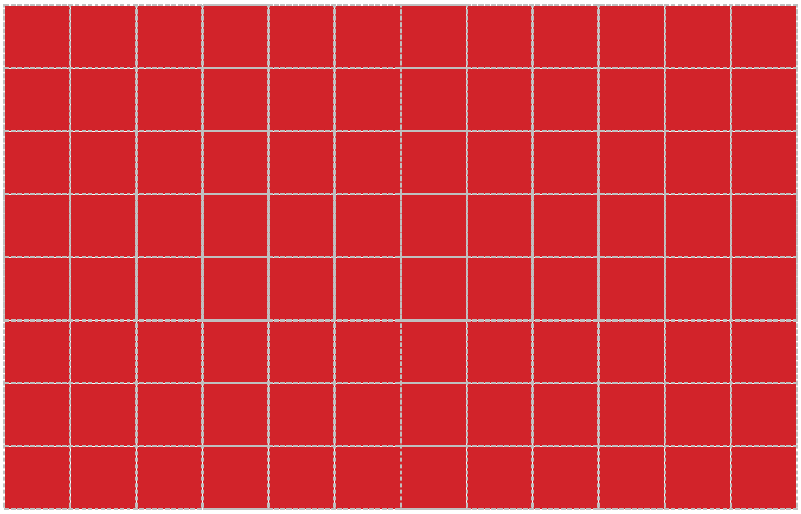
شکل ۴-۶ شکل موج ولتاژ خروجی و جریان بار در زاویه آتش ۱۸ درجه

۴- جدول زیر را تکمیل نمایید. به ازای زاویه آتش صفر درجه، فاکتور ریپل را محاسبه کنید؟

جدول ۱-۶ نتایج آزمایش یکسوساز سه فاز سه پالسه تریستوری

					تئوری	
					عملی	

۵- مقاومت ۱۰۰ اهم را با سلف ۱۰۰ میلی هانری سری نموده و جایگزین بار ۶۰۰ اهم قرار دهید در این بار مختلط، شکل موج ولتاژ خروجی را به ازای ۱۳۰ درجه مشاهده و در شکل ۵-۶ رسم نمایید.



شکل ۵-۶ شکل موج ولتاژ خروجی در زاویه آتش ۱۳۰ درجه

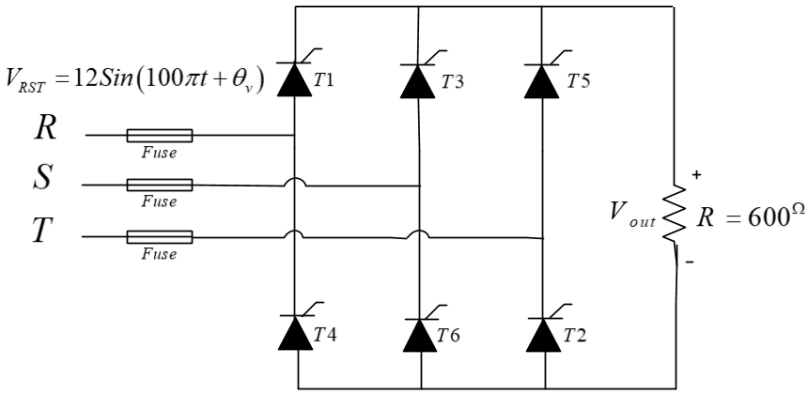
۶-۲-۲ پل یکسوکننده سه فاز ۶ پالسه دارای تریستور

این نوع یکسوساز از لحاظ فاکتور ریپل و متوسط ولتاژ خروجی نسبت به یکسوساز ۳ پالسه ارجعیت دارد. مدار این یکسوساز در شکل ۶-۶ نشان داده شده است و در شکل ۶-۷ ساختار پیشنهادی جهت انجام آزمایش آورده شده است.

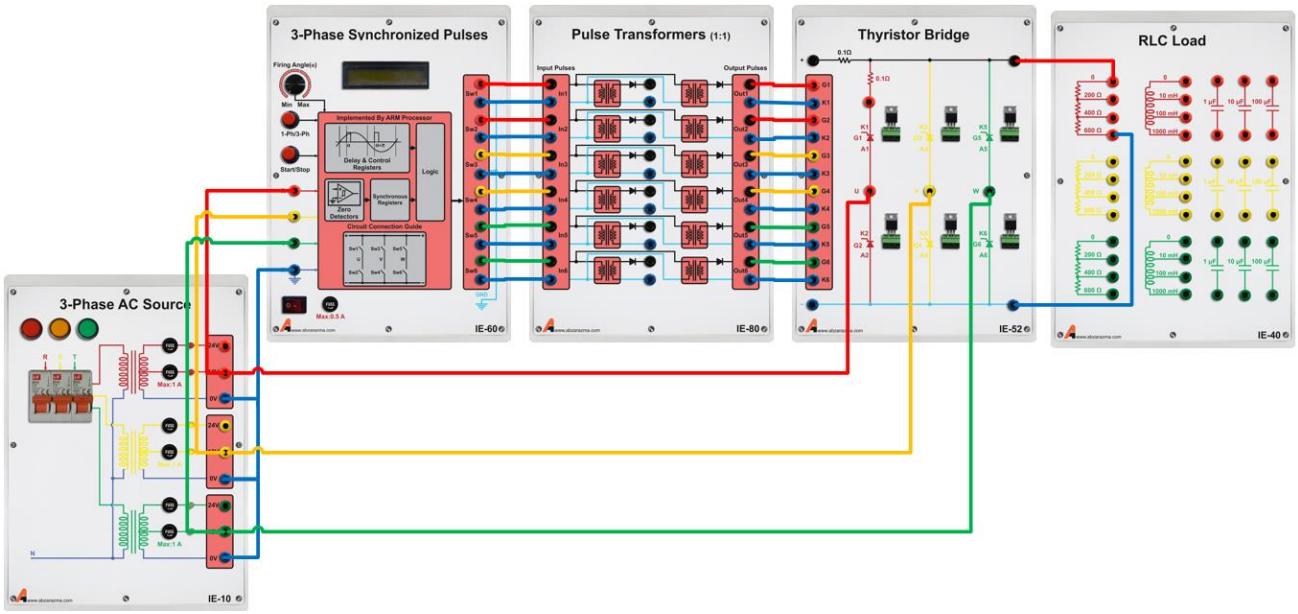
تمامی تنظیمات ماژول مولد پالس سنکرون مشابه حالت قبل آزمایش است. یعنی باید روی حالت سه فاز تنظیم شده باشد و تغذیه سه فاز ورودی به ماژول متصل شده باشد. با فشردن دکمه run فرمان آتش سه فاز از طریق ترانس پالس به گیت – کاتد تریستور اعمال خواهد شد.

برای راه‌اندازی مدار نیز مشابه حالت قبل ابتدا تغذیه سه فاز را روشن کنید و سپس دکمه run را فشار دهید.

در بار اهمی خالص حداکثر زاویه آتش ۶۰ درجه می‌تواند باشد اما در بار مختلط امکان فزایش زاویه از این مقدار نیز وجود دارد.



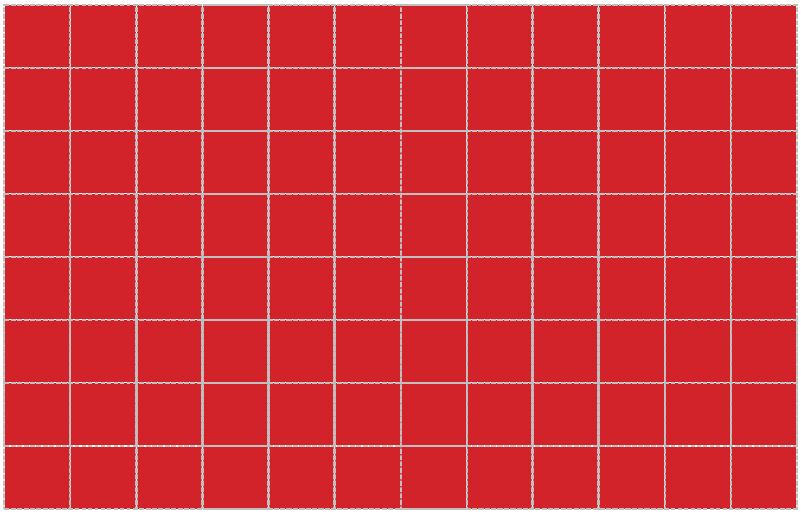
شکل ۶-۶ پل یکسوکننده سه فاز تمام کنترل شونده



شکل ۶-۷ نحوه اتصال ماژول‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش یکسوساز ۶ پالسه کنترل‌شونده

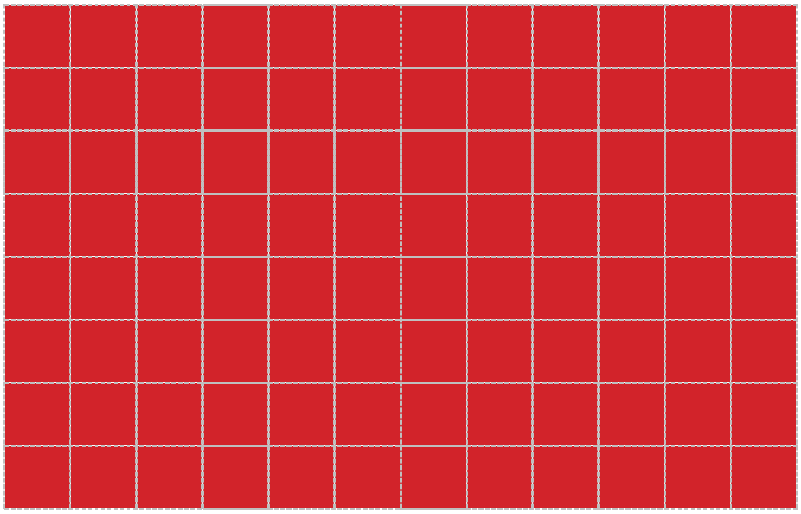
پس از راه‌اندازی مدار آزمایش نسبت به پاسخگویی به موارد زیر اقدام نمایید.

۱- زاویه آتش را ۱۰ درجه تنظیم کنید و شکل موج ولتاژ بار را روی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۸-۶ رسم کنید.



شکل ۸-۶ شکل موج ولتاژ خروجی در زاویه آتش ۱۰ درجه

۲- زاویه آتش را 25^{o} تنظیم نمایید آنگاه شکل موج ولتاژ بار را روی اسیلوسکوپ مشاهده و در شکل ۹-۶ رسم کنید.



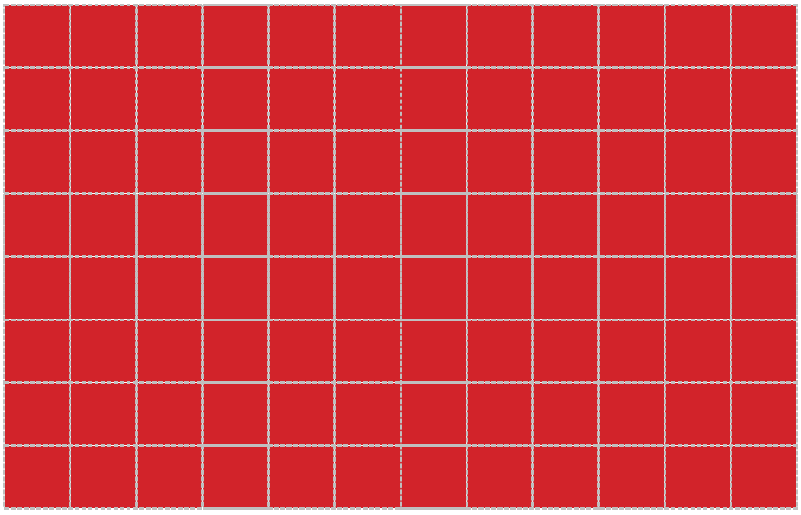
شکل ۹-۶ شکل موج ولتاژ خروجی و جریان بار در زاویه آتش ۲۵ درجه

۳- جدول زیر را تکمیل نمایید. به ازای زاویه آتش صفر درجه، فاکتور ریپل را محاسبه کنید؟

جدول ۲-۶ نتایج آزمایش یکسوساز سه فاز سه پالسه تریستوری

					تئوری	
					عملی	

۴- مقاومت ۱۰۰ اهم را با سلف ۱۰۰ میلی هانری سری نموده و جایگزین بار ۶۰۰ اهم قرار دهید در این بار مختلط، شکل موج ولتاژ خروجی را به ازای ۷۵ درجه مشاهده و در شکل ۱۰-۶رسم نمایید.



شکل ۱۰-۶ شکل موج ولتاژ خروجی در زاویه آتش ۷۵ درجه

۵- بار موتوری را جایگزین بار سلفی مقاومتی کنید و اثر تغییر زاویه آتش را بر روی موتور بررسی نمایید.

۶-۳ سوالات آزمایش

۱- جریان ورودی یکسوسازهای ذکر شده برای ترانسفورماتورهای شبکه مشکلی به همراه دارند ؟

۲- در چه محدوده‌ای از زاویه آتش، شکل موج ولتاژ برای بار اهمی خالص و بار مختلط یکسان است ؟

۳- در مورد شرایط تغییر از حالت جریان پیوسته (CCM) به جریان گسسته (DCM) توضیح دهید .

۷ مبدل‌های AC/AC تک‌فاز

۷-۱ مقدمه

برشگرهای AC جهت کنترل توان بارهای AC کاربرد دارند. با تغییر زاویه آتش ولتاژ موثر دو سر بار کنترل می گردد.

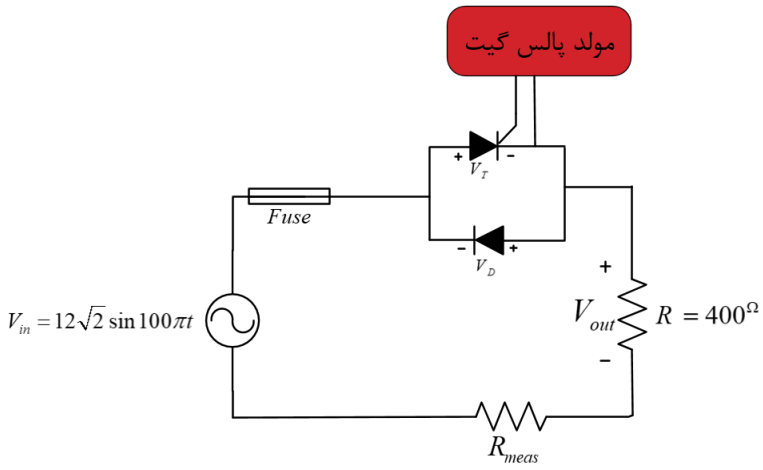
این برشگرها بسته به نوع کلیدهای نیم‌هادی که دارند به دو نوع نیم کنترل‌شونده و تمام کنترل‌شونده تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع نیم کنترل شونده از یک تریستور جهت کنترل هدایت جریان در نیم‌سیکل مثبت ولتاژ ورودی استفاده می‌گردد و در نوع تمام کنترل شونده از دو عدد تریستور که به صورت موازی معکوس قرار گرفته‌اند؛ جهت کنترل هدایت جریان در نیم‌سیکل‌های مثبت و منفی استفاده می‌شود.

۷-۲ آزمایش و تحلیل

در این آزمایش برشگرهای AC تکفاز اعم از نیم کنترل شونده و تمام کنترل شونده مورد بررسی قرار می‌گیرند و نحوه عملکرد آنها مورد مطالعه واقع خواهد شد.

۷-۲-۱برشگر AC تک‌فاز نیمه کنترل شده

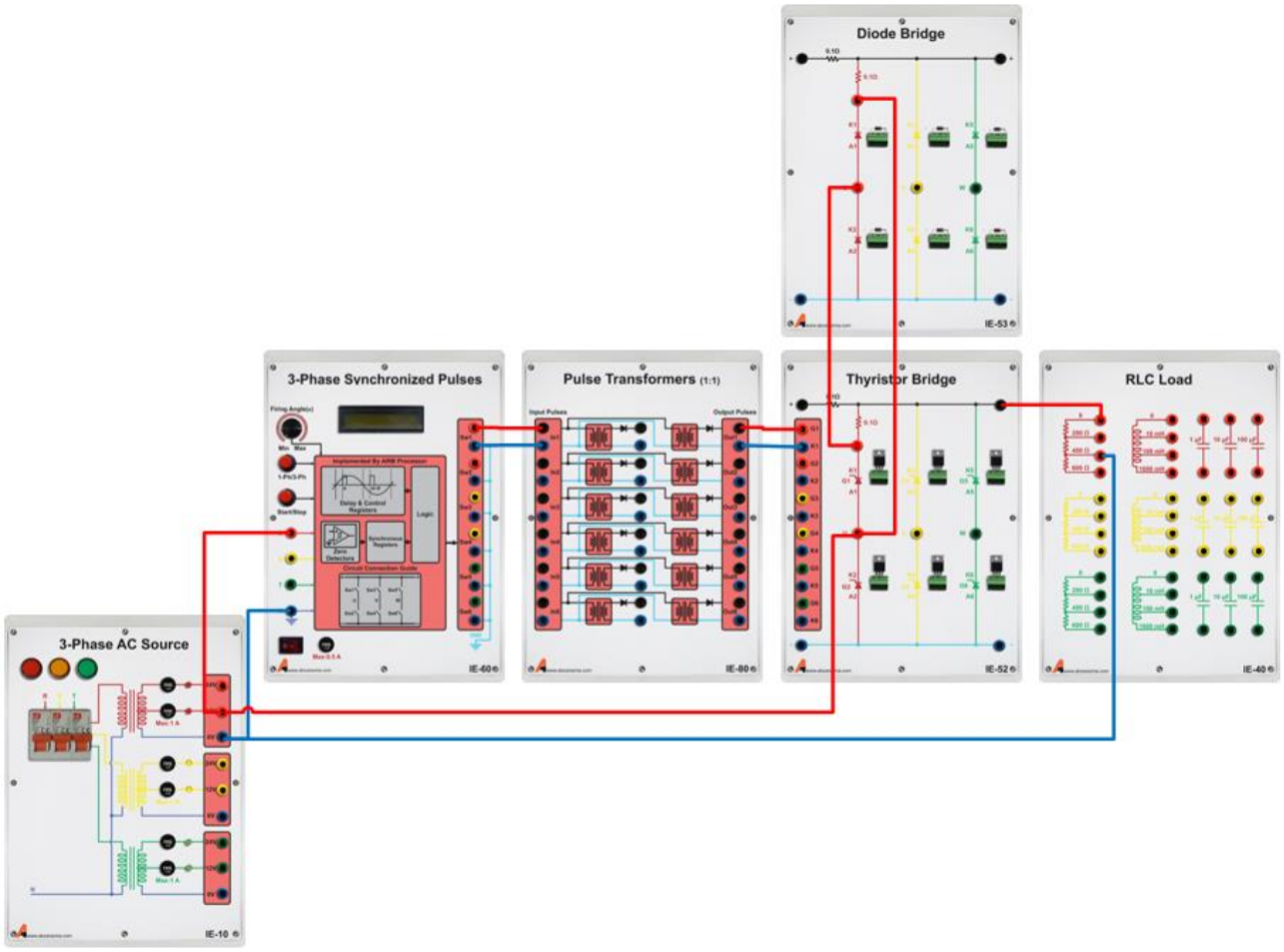
مدار نشان داده شده در شکل ۷-۱، یک برشگر AC تکفاز نیمه کنترل شونده را نشان می‌دهد. به کمک این مدار تنها می‌توان هدایت جریان در نیم سیکل مثبت را کنترل نمود و در نیم سیکل منفی ولتاژ ورودی، دیود موازی شده با تریستور روشن خواهد شد و ولتاژ بار برابر ولتاژ ولتاژ ورودی خواهد شد. برای اعمال پالس آتش به گیت تریستور از ماژول 3-phase synchronized pulses استفاده نمایید و آن را بر روی حالت تکفاز قرار دهید. پالس خروجی این ماژول را به واسطه ترانس پالس به گیت – کاتد تریستور متصل نمایید.



شکل ۷-۱ برشگر تکفاز نیمه کنترل شونده

برای پیاده‌سازی مدار آزمایش مطابق شکل ۷-۲ عمل کنید. برای آنکه پالس‌های خروجی ماژول مولد فرمان تریستوری با ولتاژ ورودی سنکرون باشد، بایستی از تغذیه ورودی به ماژول 3-phase synchronized pulses جهت نمونه برداری و سنکرون‌سازی متصل شود.

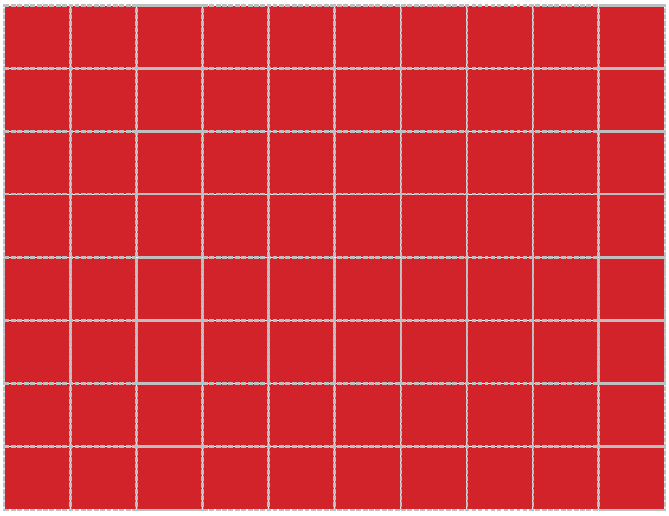
پس از روشن نمودن ماژول تغذیه سه‌فاز، کلید Run را فشار دهید تا فرمان آتش در زاویه مناسب به تریستور اعمال گردد.



شکل ۲-۷ ساختار پیشنهادی جهت پیاده‌سازی مدار برشگر AC تکفاز نیمه کنترل‌شونده

پس از راه‌اندازی مدار آزمایش نسبت تکمیل موارد زیر اقدام نمایید

۱- زاویه آتش را بر روی ۹۰ درجه تنظیم نمایید و شکل موج ولتاژ بار را به طور همزمان با جریان کلیدهای نیم‌هادی در شکل ۳-۷ رسم نمایید.



شکل ۳-۷ شکل موج ولتاژ بار همزمان با جریان کلیدهای نیم‌هادی

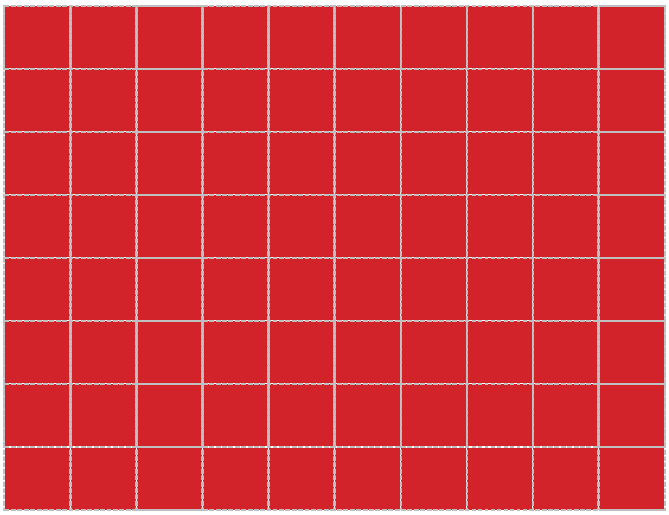
۲- . در حالت بار اهمی خالص رابطه مؤثر ولتاژ خروجی را بر حسب زاویه آتش بدست آورید و سپس جدول زیر را تکمیل نمایید.

جدول ۱-۷ نتایج آزمایش برشگر ac تکفاز نیمه کنترل شونده

	تئوری					
	عملی					
	تئوری					
	عملی					
	تئوری					
	عملی					

۳- آیا رابطه‌ای میان جریان مؤثر دیود و تریستور و بار وجود دارد ؟

۴- سلف ۱۰۰ میلی هانری سری با بار ۴۰۰ اهم قرار دهید و شکل موج ولتاژ خروجی را بر حسب زاویه آتش رسم کنید



شکل ۴-۷ شکل موج ولتاژ بار در حضور بار سلفی - مقاومتی

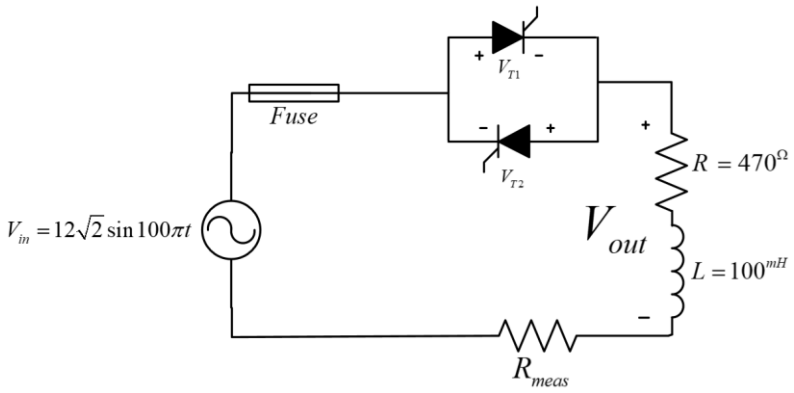
۵- محدوده تغییرات زاویه آتش را بدست آورید

۷-۲-۲ برشگر AC تک‌فاز تمام کنترل شده

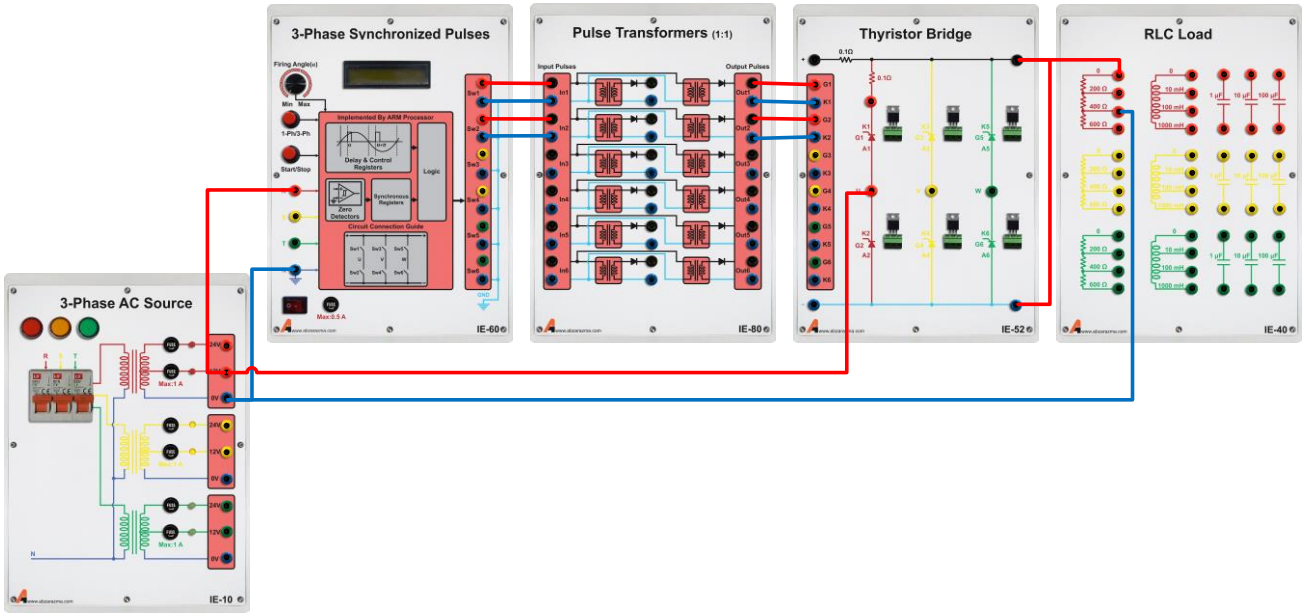
بر شگر AC تمام کنترل شونده دارای دو SCR ا ست که به صورت موازی معکوس به یکدیگر مت صل شده اند. در شکل ۷-۵ مدار این بر شگر ن شان داده شده ا ست. تری ستور T1 وظیفه کنترل هدایت جریان را در نیم سیکل مثبت ورودی بر عهده دارد و تری ستور T2، هدایت جریان در نیم سیکل منفی ورودی را کنترل می‌کند.

در شکل ۷-۶ مدل پیشنهادی جهت پیاده سازی مدار این آزمایش نشان داده شده ا ست. پالس های فرمان، از دو خروجی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه که سنکرون با فاز ورودی می باشند، گرفته می‌شوند. این پالس ها از طریق ترانس پالس به گیت – کاتد تریستور اعمال خواهد شد.

دقت کنید که ماژول مولد پالس سنکرون بر روی حالت تکفاز تنظیم شده باشد. برای راه‌اندازی مدار ابتدا تغذیه سه فاز ورودی را روشن کنید و پس از آن دکمه Run را فشار دهید.



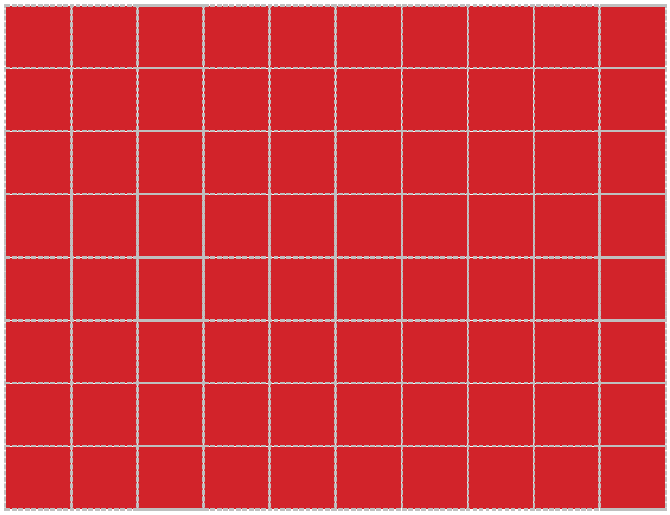
شکل ۷-۵ برشگر تکفاز تمام کنترل شونده



شکل ۷-۶ مدل پیشنهادی جهت پیاده‌سازی برشگر AC تکفاز کنترل‌شونده

پس از راه‌اندازی مدار آزمایش نسبت به پاسخ‌گویی به موارد زیر اقدام نمایید.

۱- زاویه آتش را بر روی ۴۵ درجه تنظیم نمایید و شکل موج ولتاژ بار را در شکل ۷-۷ رسم نمایید.



شکل ۷-۷ شکل موج ولتاژ بار

۲- . در حالت بار سلفی مقاومتی رابطه مؤثر ولتاژ خروجی را بر حسب زاویه آتش α و زاویه خاموشی β بدست آورید و سپس جدول زیر را تکمیل نمایید.

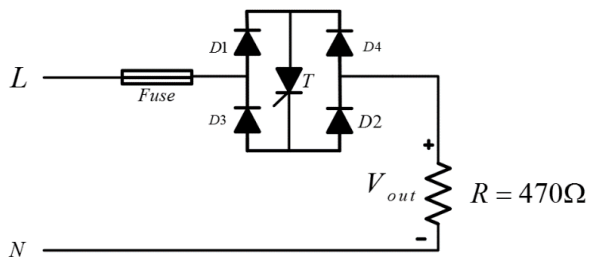
جدول ۷-۲ نتایج آزمایش برشگر ac تکفاز نیمه کنترل شونده

	تئوری					
	عملی					

۳- آیا رابطه‌ای میان جریان مؤثر تریستورها و بار وجود دارد ؟

۷-۲-۳ سوالات آزمایش

۱- مدار مبدل شکل ۷-۸ را بررسی کرده و عملکرد آن‌را شرح دهید؟

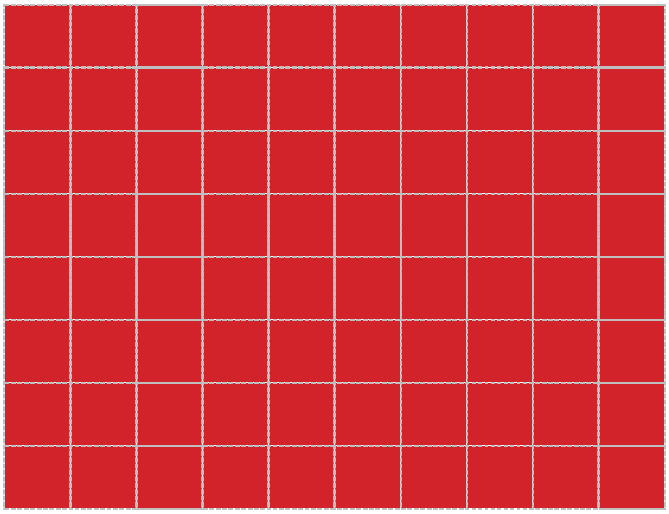


شکل ۷-۸ ساختار مبدل مورد پرسش

۲- عملکرد مدارشکل ۵-۷ را با مدار شکل ۸-۷ مقایسه کنید، این مقایسه می‌بایست شامل مسائل فنی و مهندسی و نیز اقتصادی باشد؟

۳- مدار کنترل هر کدام از برشگرهای مورد مطالعه را توضیح و تفاوت آن‌ها را بیان دارید .

۴- شکل موج ولتاژ و جریان بار مبدل شکل ۸-۷ را رسم نمایید .



شکل ۹-۷ شکل موج ولتاژ و جریان بار در مبدل مورد پرسش

۸ بررسی رفتار IGBT، MOSFET و اپتوکوپلر

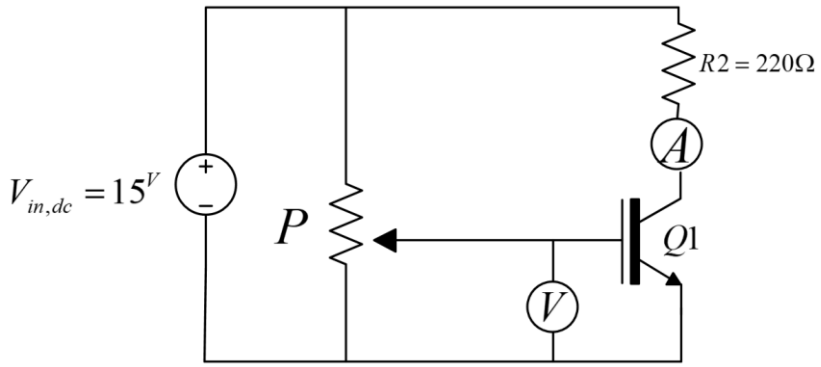
۸-۱ مقدمه

در تمام آزمایش‌های قبل تاکید بر مدارات الکترونیک صنعتی مبتنی بر تریستور بود. الکترونیک صنعتی مدرن با رشد کلیدهای نیمه هادی جدید از جمله ترانزیستور قدرت و MOSFET قدرت متحول شده است و امروزه در بسیاری از کاربردها این کلیدهای نیمه هادی جایگزین تریستور شده اند. منابع تغذیه سوئیچینگ و اینورترها دو دسته بزرگ از کاربرد کلیدهای نیمه هادی جدید می باشند. سرعت کلیدزنی به مراتب بالاتر این کلیدهای جدید مزیت عمده آنها می باشد. این کلیدهای نیمه هادی در مقایسه با تریستور تمام کنترل شونده می باشند. در این آزمایش با منحنی مشخصه و ویژگی های این کلیدهای نیمه هادی آشنا می‌شوید. اپتوکوپلر نیز به عنوان المانی پر کاربرد در طبقه درایو این کلیدها بررسی شده است.

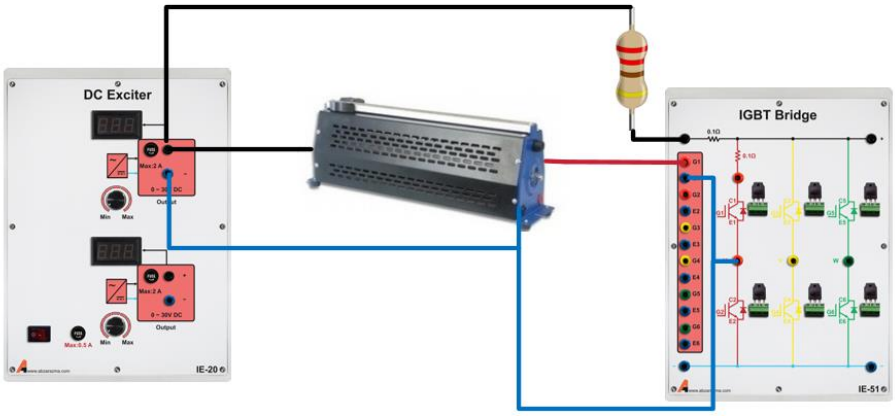
۸-۲ آزمایش و تحلیل

۸-۲-۱اندازه‌گیری پارامترهای IGBT

به منظور اندازه‌گیری پارامترهای IGBT مدار شکل ۸-۱ ارائه شده است. برای پیاده‌سازی این مدار مطابق مدل پیشنهادی در شکل ۸-۲ عمل نمایید. پس از پیاده‌سازی به موارد زیر پاسخ دهید.



شکل ۸-۱ مدار پیشنهادی جهت اندازه گیری پارامترهای IGBT



شکل ۸-۲ مدل پیشنهادی جهت پیاده‌سازی مدار مناسب برای اندازه‌گیری پارامترهای IGBT

۱- . ابتدا به برگه مشخصات IGBT موزد استفاده مراجعه نمایید و مقدار حداکثر منبع ولتاژ $V_{in,dc}$ را تعیین کنید؟

۲- با فرض اینکه ولتاژ منبع ورودی ۱۵ ولت باشد، مقدار حداقل مقاومت $R2$ را تعیین نمایید؟

۳- با تغییر رئوستا و یا پتانسیومتر P ولتاژ گیت-امیتر را از صفر تا ۱۵ ولت تغییر دهید. در این شرایط بندهای زیر را انجام دهید.

- مقادیر ولتاژ گیت-امیتر و کلکتور-امیتر را اندازه بگیرید.
- به ازای چه مقداری از ولتاژ گیت، IGBT کاملاً خاموش است؟
- به ازای چه مقداری از ولتاژ گیت، IGBT کاملاً روشن است؟

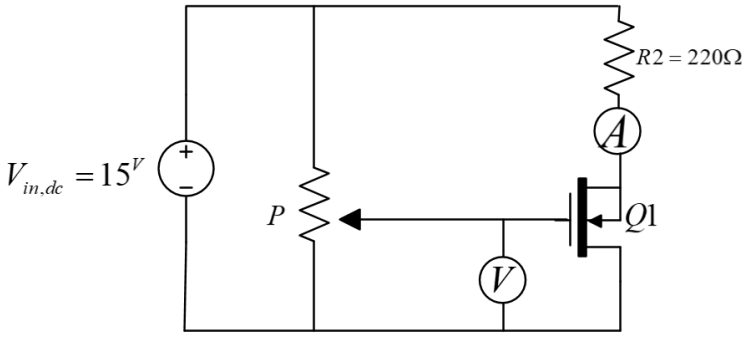
۴- حداکثر ولتاژ دو سر بار را اندازه گیری کرده و با ولتاژ ورودی مقایسه کنید؟علت اختلاف را توضیح دهید؟

۵- مقادیر به‌دست آمده از آزمایش را با اطلاعات برگه مشخصات IGBT مقایسه کرده و علت اختلاف را شرح دهید .

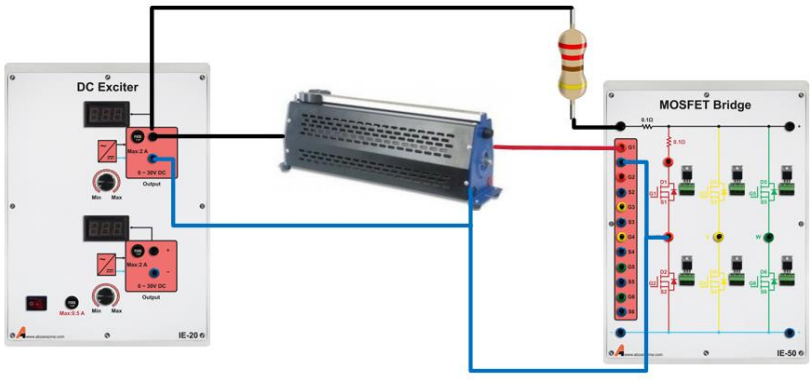
۶- افت ولتاژ مستقیم و مقاومت کلکتور – امیتر را در زمان روشن بودن IGBT تعیین کنید؟

۸-۲-۲ اندازه‌گیری پارامترهای MOSFET قدرت

برای اندازه‌گیری پارامترهای MOSFET مداری مشابه حالت قبل در نظر گرفته شده است. این مدار در شکل ۳-۸ نشان داده شده است. برای پیاده‌سازی مدار این آزمایش از ماژول‌های MOSFET Bridge و DC Exciter استفاده می‌شود. سوالات این آزمایش نیز مشابه آنچه برای *IGBT* بیان گردید می‌باشد. لذا پس از پیاده‌سازی مدار آزمایش به سوالات زیر پاسخ دهید.



شکل ۳-۸ مدار پیشنهادی جهت اندازه گیری پارامترهای MOSFET



شکل ۴-۸ مدل پیشنهادی جهت پیاده‌سازی مدار مناسب برای اندازه‌گیری پارامترهای MOSFET

۱- . ابتدا به برگه مشخصات MOSFET موزد استفاده مراجعه نمایید و مقدار حداکثر منبع ولتاژ $V_{in,dc}$ را تعیین کنید؟

۲- با فرض اینکه ولتاژ منبع ورودی ۱۵ ولت باشد، مقدار حداقل مقاومت $R2$ را تعیین نمایید؟

۳- با تغییر رئوستا و یا پتانسیومتر P ولتاژ گیت-امیتر را از صفر تا ۱۵ ولت تغییر دهید. در این شرایط بندهای زیر را انجام دهید.

- به ازای چه مقداری از ولتاژ گیت- سورس، MOSFET کاملاً خاموش است؟
- به ازای چه مقداری از ولتاژ گیت- سورس، MOSFET کاملاً روشن است؟

۴- وقتی MOSFET کاملاً روشن است، مقاومت بین درین و سورس چه مقداری است؟ محاسبات مربوطه را ذکر کنید .

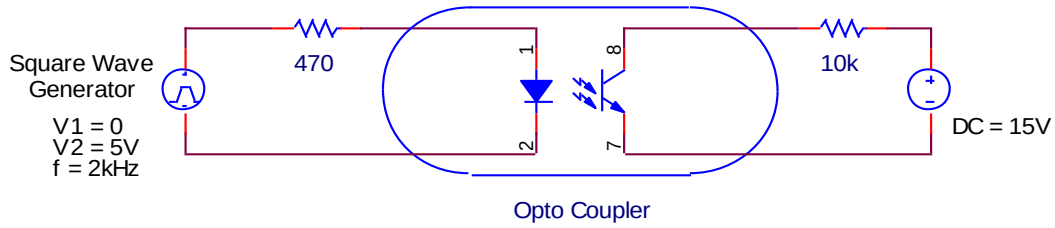
۵- مقادیر به دست آمده از آزمایش را با اطلاعات برگه مشخصات Power MOSFET مقایسه کرده، و علت اختلاف را شرح دهید .

۶- از نقطه نظر فرکانس عملکردی، زمان خیز و زمان تاخیر؛ ماسفت مورد استفاده را با IGBT مورد آزمایش در حالت قبل مقایسه کنید

۸-۲-۳ مشاهده رفتار اپتوکوپلر

با هدف بررسی رفتار ایزولاتور نوری و یا Optocoupler مدار پیشنهادی در شکل ۸-۵ ارائه گردیده است. از سیگنال ژنراتور جهت تولید پالس مربعی با دامنه ۵ ولت و فرکانس ۲ کیلوهرتز استفاده کنید.

برای پیاده سازی مدار زیر، از بردبوردهای آزمایشگاهی استفاده کنید. از ترا شه PS2501-1 و یا 6N137 می‌توانید به عنوان اپتوکوپلر در مدار زیر استفاده کنید. نکته لازم به ذکر این است که تراشه‌های نام‌برده جزء ایزولاتورهای نوری سریع و با فرکانس عملکردی بالا هستند.



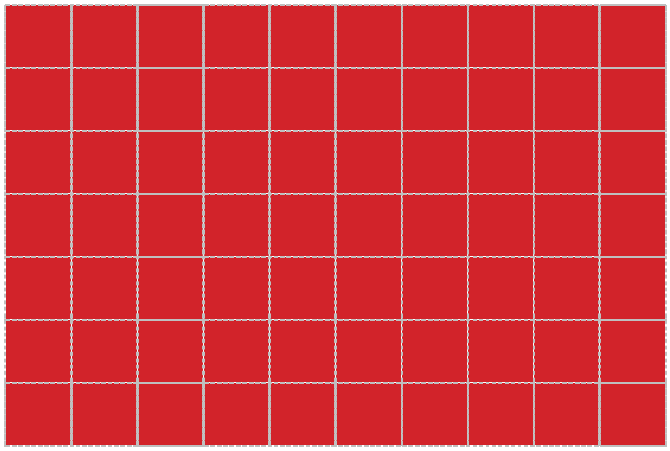
شکل ۸-۵ مدار پیشنهادی جهت بررسی رفتار اپتوکوپلر

پس از پیاده‌سازی مدار آزمایش، به برگه راهنمای این تراشه مراجعه کنید و به کمک آن به موارد زیر پاسخ دهید.

۱- از روی برگه مشخصات اپتوکوپلر، مقادیر t_r, t_f را به‌دست آورید .

۲- افت ولتاژ روی دیود فرستنده در حالت روشن چه‌قدر است ؟

۳- در صورت ایزوله بودن زمین اسیلوسکوپ ولتاژ ورودی را با کانال ۱ و ولتاژ خروجی را با کانال ۲ به صورت هم‌زمان مشاهده کنید در غیر اینصورت موارد ذکر شده را به طور جداگانه مشاهده و در شکل ۸-۶ رسم نمایید.



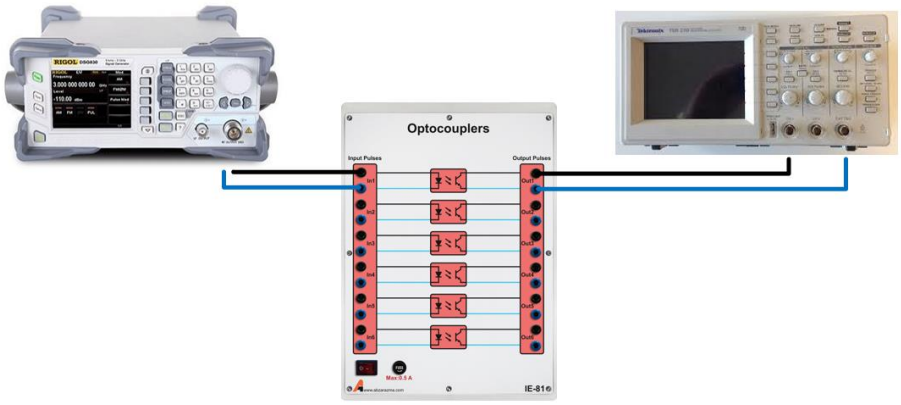
شکل ۸-۶ شکل موج پالس ورودی و خروجی اپتوکوپلر

۴- شکل موج های رسم شده در بند "ب" را تحلیل و نحوه‌ی رفتار اپتو کوپلر را توضیح دهید؟

۴-۲-۸ بررسی رفتار اپتوکوپلر و درایور گیت

با توجه به اینکه اپتوکوپلر تنها برای ایزولاسیون بین مدارات فرمان و قدرت کاربرد دارد؛ لذا نیاز به وجود یک طبقه درایور جهت تقویت جریان گیت و بهبود حالت گذرای روشن و خاموش شدن کلیدهای نیمه‌هادی نیز وجود دارد. با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه ساخت تراشه‌های الکترونیکی، امروزه تراشه‌هایی وجود دارد که به طور همزمان ایزولاسیون و تقویت جریان را انجام می‌دهد. تراشه TLP250 یکی از این موارد است. از این تراشه در ساخت ماژول Optocouplers آموزنده الکترونیک صنعتی استفاده شده است. این ماژول دارای ۶ مدار ایزولاتور نوری و درایو گیت مستقل است

این‌بار پالس ۵ ولت با فرکانس ۲ کیلوهرتز را به یکی از ورودی‌های آن متصل نموده و پالس خروجی را که به کمک اسیلوسکوپ مشاهده کنید. در آزمایش‌های بعدی از این ماژول جهت ایزولاسیون بین مدار فرمان و مدار قدرت استفاده می‌شود و وجود طبقه درایور به بهبود پالس‌های گیت کمک می‌کند. پیاده‌سازی این مدار بسیار ساده و مطابق شکل ۷-۸ است.



شکل ۷-۸ مدل پیشنهادی جهت بررسی رفتار اپتوکوپلر با وجود درایور گیت

در صورت ایزوله بودن زمین اسیلوسکوپ ولتاژ ورودی را با کانال ۱ و ولتاژ خروجی را با کانال ۲ به صورت هم‌زمان مشاهده کنید در غیر اینصورت موارد ذکر شده را به طور جداگانه مشاهده و در شکل ۸-۸ رسم نمایید.

شکل ۸-۸ شکل موج پالس ورودی و خروجی اپتوکوپلر

۸-۳ سوالات آزمایش

۱- با توجه به شکل موج‌ها، این المان تا چه فرکانسی قابل استفاده است ؟

۲- مزیت استفاده از اپتوکوپلر چیست ؟ این المان به کدامیک از المان‌های قدرت شبیه است

۹ اینورتر تکفاز و آشنایی با روش مدولاسیون SPWM تکفاز

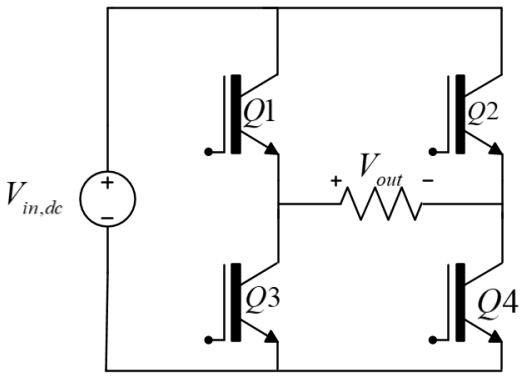
۹-۱ مقدمه

این مبدل‌ها با عنوان اینورترها ذکر می‌شوند. ولتاژ خروجی AC می‌تواند در یک فرکانس ثابت یا متغیر باشد. در صورتیکه در این مبدل‌ها ولتاژ ورودی تغییر نموده و ضریب بهره ثابت بماند ولتاژ خروجی متغیر حا صل می‌گردد. اینورترها به دو د سته کلی اینورترهای تک‌فاز و اینورترهای سه‌فاز تقسیم می‌شوند و اگر ولتاژ ورودی ثابت بماند به این اینورترها، اینورتر منبع ولتاژ و اگر چنانچه جریان ورودی ثابت نگه داشته شود به آن اینورتر منبع جریان گفته می‌شود. در شکل ۹-۱ اینورتر ولتاژ تکفاز نشان داده شده است.

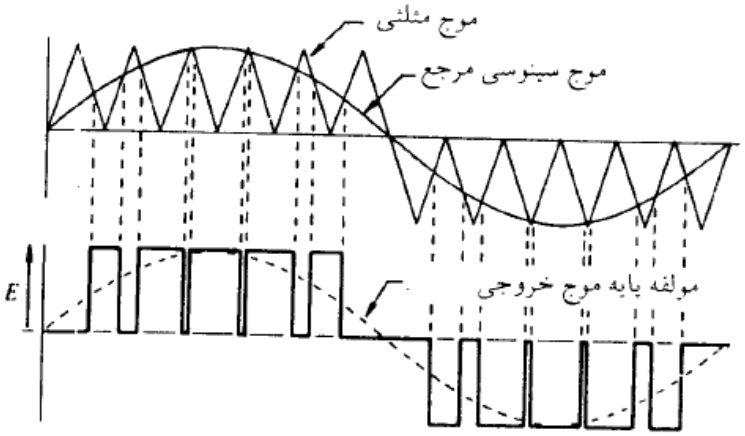
اگر ولتاژ ورودی ثابت بماند با تغییر ضریب بهره اینورتر که معمولاً با روش کنترل مدولا سیون پهنای پالس انجام می‌گیرد، ولتاژ خروجی متغیری خواهیم داشت. در شکل ۹-۲ روش ساخت پالس‌های فرمان برای اینورتر تکفاز نشان داده شده است. از مقایسه موج دندان‌اره‌ای با سینوسی مرجع پالس‌های فرمان ساخته شده است.

در نیم سیکل مثبت ولتاژ خروجی اگر کلیدهای Q1 و Q4 فرمان داده می‌شوند؛ ولتاژ بار برابر ولتاژ ورودی خواهد شد و توان از ورودی به سمت بار منتقل خواهد شد. پس از این حالت کلیدزنی، برای حفظ پیوستگی جریان بار خصوصا در بار سلفی، کلیدهای Q3 و Q4 با هم روشن خواهند شد تا دو سر بار اتصال کوتاه شود و جریان ذخیره شده در بار سلفی د شارژ گردد. در نیم سیکل منفی ولتاژ خروجی اگر کلیدهای Q2 و Q3 رو شن شوند، ولتاژ بار برابر ولتاژ ورودی خواهد شد اما علامت آن قرینه ورودی می‌با شد. در این زمان انتقال توان به خروجی صورت خواهد گرفت و پس از این حالت کلیدزنی کلیدهای Q2 و Q1 رو شن خواهند شد تا دو سر بار ات صال کوتاه و برگ شت جریان بار از این طریق صورت گیرد.

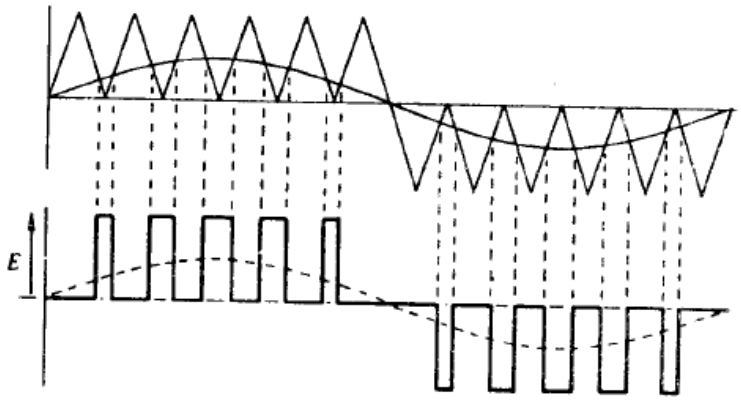
با تغییر دامنه سینوسی مرجع، شاخص مدولاسیون دامنه و یا ضریب بهره اینورتر تغییر می‌کند که به تبع آن امکان د ستیابی به ولتاژ با مقدار موثر متغیر در خروجی فراهم خواهد شـــد. اگر فرکانس موج دندان‌اره‌ای تغییر کند، فرکانس کلیدزنی تغییر خواهد کرد. هر چقدر فرکانس کلیدزنی بیشتر باشد، طیف هارمونیکی ولتاژ خروجی فرکانس‌های بالاتری را پوشش می‌دهد و از اهمیت کمتری برخوردار است. اما افزایش فرکانس کلیدزنی دارای این عیب است که تلفات کلیدزنی افزایش خواهد داشت.



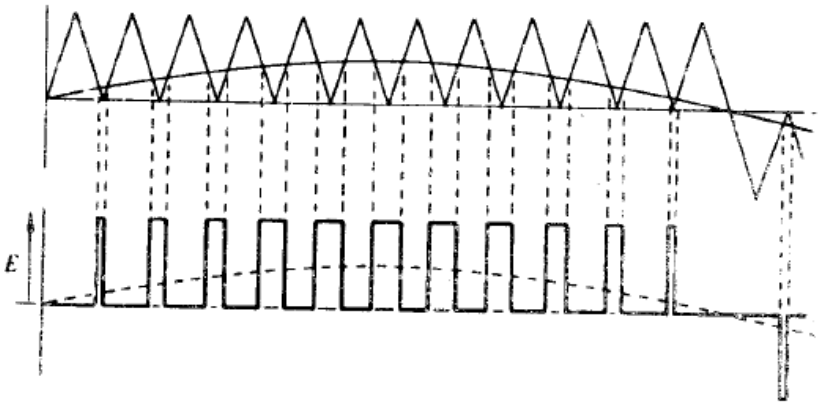
شکل ۹-۱ مدار اینورتر تکفاز



الف) در ماکزیمم ولتاژ خروجی



ب) در نصف ماکزیمم ولتاژ خروجی



ج) در نصف ولتاژ و نصف فرکانس

شکل ۲-۹ ساخت پالس‌های فرمان اینورتر تکفاز با موج دندانه‌اره‌ای یکطرفه

۹-۲ آزمایش و تحلیل

در این آزمایش به کمک ماژول مولد فرمان اینورتر تکفاز با روش مدولاسیون عرض پالس سینوسی (**SPWM**) به بررسی عملکرد اینورتر تکفاز پرداخته خواهد شد.

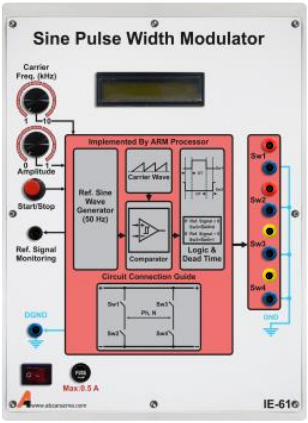
۹-۲-۱ماژول تولیدکننده فرمان اینورتر تکفاز

این ماژول در واقع مدار کنترل اینورتر تکفاز است که مبتنی بر روش مدولاسیون عرض پالس سینوسی خواهد بود. به منظور جلوگیری از روشن شدن همزمان ترانزیستورهای واقع در یک شاخه می بایست پالس های فرمان اعمالی به یک شاخه not همدیگر بوده و زمان مرده بین آنها وجود داشته باشد.

در شکل ۹-۳ این ماژول نشان داده شده است. همانطور که پیش از بیان گردید در روش مدولاسیون SPWM، دامنه موج دندانه اره‌ای ثابت بوده و با تغییر دامنه شکل موج سینوسی مرجع ضریب مدولاسیون تغییرمی کند. رابطه ضریب مدولاسیون به صورت زیر است.

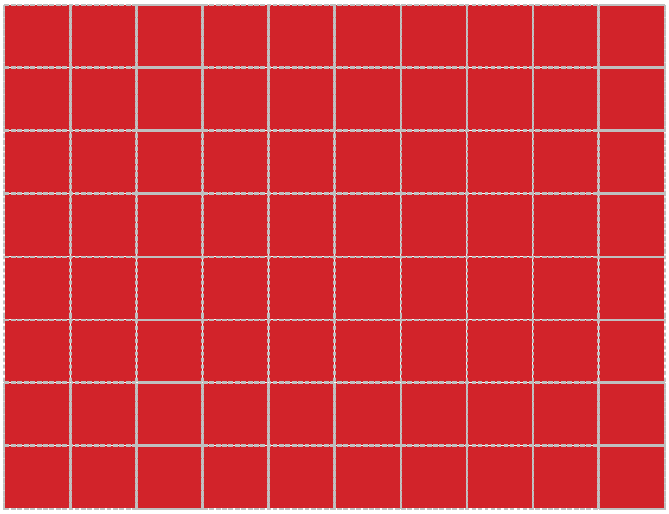
$$m_a = \frac{A_m}{A_c}$$

که در رابطه فوق، m_a، ضریب مدولاسیون؛ A_m، دامنه سینوسی مرجع و A_c، دامنه سیگنال حامل است. به عنوان مثال اگر دامنه دندانه اره ای ۵ ولت باشد به ازای شکل موج سینوسی با دامنه ۳ ولت، شاخص مدولاسیون دامنه ۰,۶ می شود .



شکل ۹-۳ ماژول مولد فرمان اینورتر تکفاز

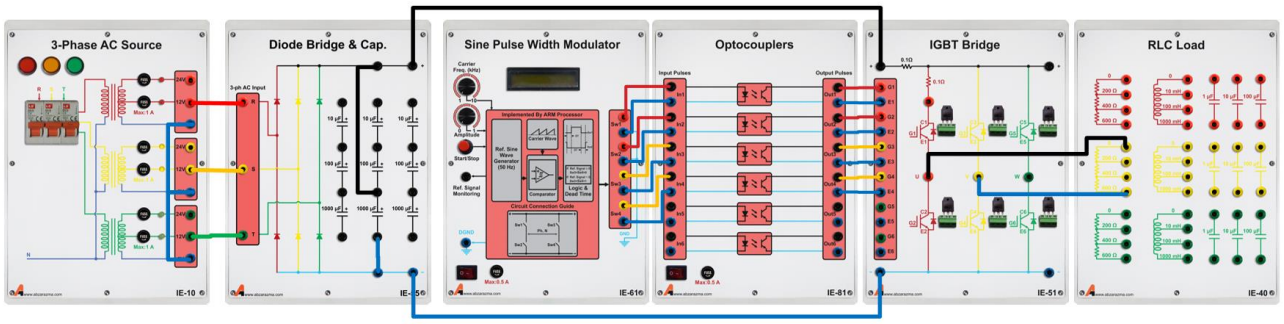
پالس‌های خروجی این ماژول دارای زمین مشترک هستند بنابراین به راحتی می‌توان به کمک اسیلوسکوپ فرمان کلیدهای پل را مشاهده نمود. شاخص مدولاسیون دامنه را ۰,۵ قرار دهید و فرکانس حامل را ۱ کیلوهرتز در نظر بگیرید. در این شرایط پالس‌های فرمان SW1 تا SW4 را در یک دوره تناوب در شکل ۹-۴ رسم نمایید و در این شرایط زمان مرده را بررسی کنید.



شکل ۹-۴ پالسهای فرمان SW1 تا SW4

۹-۲-۲ اینورتر تکفاز

مدار قدرت اینورتر تکفاز در شکل ۹-۱ نشان داده شده است. برای بررسی رفتار اینورتر تکفاز، مطابق ساختار پیشنهادی در شکل ۹-۵ ماژول مولد فرمان اینورتر را از طریق اپتوکوپلر به ماژول IGBT متصل کنید. بار را ۶۰۰ اهم انتخاب کنید. برای فراهم نمودن ولتاژ لینک DC، ولتاژ سه فاز ورودی را به کمک پل دیودی یکسو نموده و در نهایت به منظور کاهش ریپل ولتاژ از یک خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد موازی لینک DC استفاده می‌گردد. همانطور که در آزمایش قبل بیان گردید به منظور ایزولاسیون بین مدار قدرت و مدار فرمان از اپتوکوپلر بایستی استفاده گردد. در این ماژول از یک طبقه درایور گیت به منظور بهبود پالس گیت کلیدها استفاده شده است.

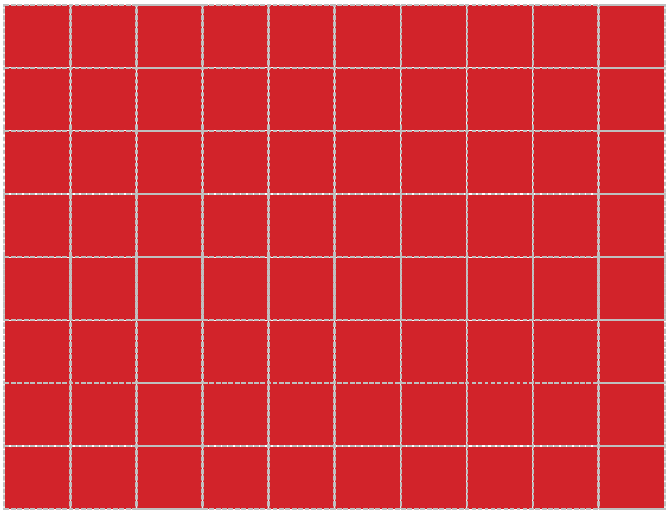


شکل ۹-۵ مدل پیشنهادی برای پیاده‌سازی اینورتر تکفاز

برای راه‌اندازی ابتدا ماژول SPWM را درحالت STOP قرار داده و تغذیه سه فاز ورودی را روشن کنید.

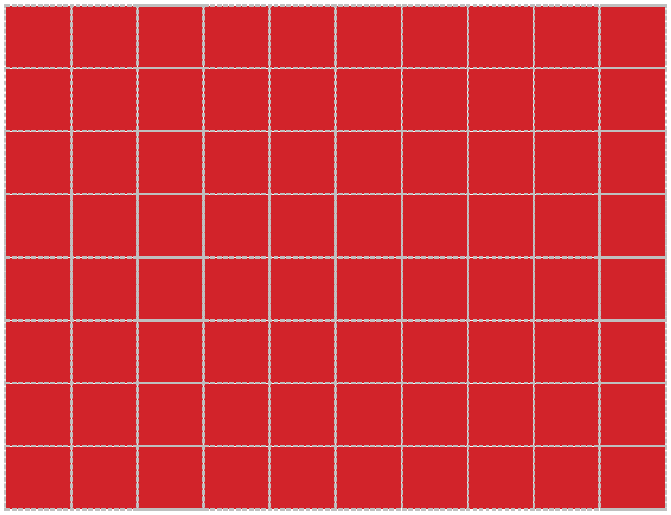
پس از اطمینان از برقراری ولتاژ لینک DC، آنگاه دکمه Run را فشار دهید تا فرمان کلیدها اعمال گردد. سپس به کمک اسیلوسکوپ شکل‌موج‌های زیر را رسم کنید.

۱- شکل موج ولتاژ بار را شکل ۹-۶ رسم نمایید. سپس اثر تغییر فرکانس سیگنال حامل و همچنین تغییر اندیس مدولاسیون را بر روی شکل موج ولتاژ خروجی بررسی نمایید.



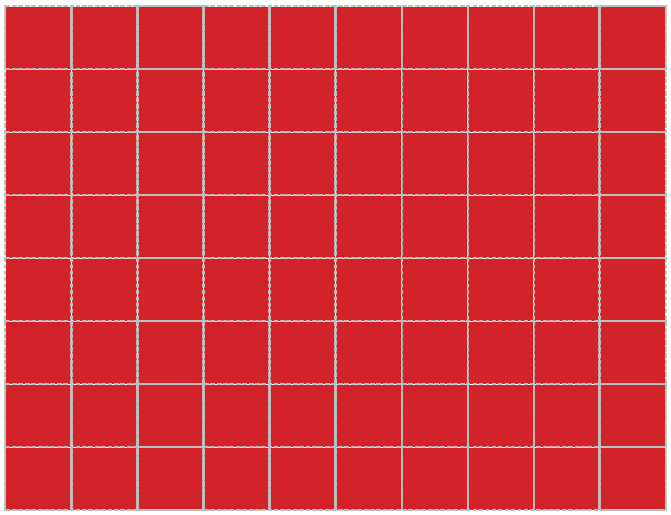
شکل ۹-۶ شکل موج ولتاژ بار در اینورتر تکفاز

۲- شکل موج جریان و ولتاژ SW1 را مشاهده و در شکل ۷-۹ رسم نمائید .



شکل ۷-۹ شکل موج جریان و ولتاژ SW1

۳-شکل موج ولتاژ کلکتور-امیتر، دو ترانزیستور واقع در یک شاخه را به طور همزمان مشاهده و درشکل ۸-۹ نمائید.



شکل ۸-۹ شکل موج ولتاژ کلکتور – امیتر SW1 و SW2

۴- شکل موج ولتاژ گیت- امیتر و کلکتور- امیتر SW1 را به طور همزمان مشاهده و مورد بحث قرار دهید

۹-۳ سوالات آزمایش

۱-در روش مدولاسیون SPWM، اگر دامنه سینوسی مرجع از دندانه اره‌ای بیشتر باشد کیفیت ولتاژ خروجی اینورتر چه تغییری می‌کند؟

۲- علت استفاده از موج دندانه اره ای را ذکر نمائید

۳- یکی از مزایای وجود زمان مرده، جلوگیری از اتصال کوتاه لینک DC است. در مورد سایر مزایای وجود زمان مرده در کلاس بحث کنید

۴- به جای پل IGBT، از پل MOSFET در مدار اینورتر تکفاز استفاده نمایید و آزمایش را تکرار کنید.

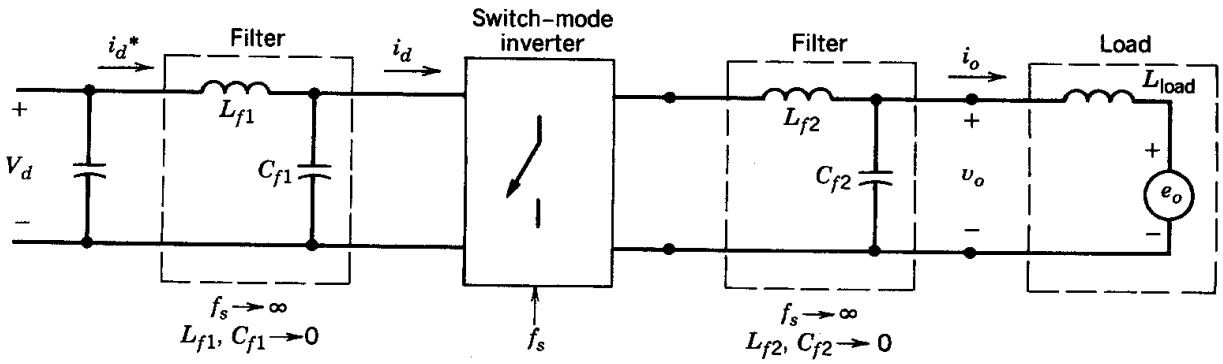
۱۰ اینورتر تکفاز و فیلترهای ورودی و خروجی اینورتر

۱۰-۱ مقدمه

ولتاژ خروجی اینورتر ایده‌آل بایستی شکل موج سینوسی باشد البته در عمل ایده آل نبوده و دارای هارمونیک است. در کاربردهای قدرت کم و متو سط ولتاژخروجی با شکل موج مربعی یا شبه مربعی کفایت می کند، اما در کاربرد های قدرت بالا شکل موج با اعوجاج کمتر مورد نیاز اســـت. در این مدارات زمانیکه تعداد پالس ها در هر ســـیکل افزایش می یابد، منجر به افزایش هارمونیک های مرتبه بالا می گردد. این هارمونیک ها راحت تر از هارمونیک های مرتبه پایین، توســـط فیلترهای ورودی و خروجی اینورترحذف می گردند. در نتیجه خروجی به فرکانس مورد نظر نزدیک تر خواهد شد. مقادیر سلف و خازن فیلتر با توجه به رابطه (۱۱-۱) می‌تواند محاسبه گردد.

$$F=\frac{1}{2\pi\sqrt{lc}} \qquad (11\text{-}1)$$

در شکل ۱۰-۱ نحوه قرارگیری فیلترهای ورودی و خروجی نشان داده شده است. فیلترهای ورودی DC و فیلترهای خروجی از نوع AC می‌باشند.



شکل ۱۰-۱ نحوه قرارگیری فیلترهای ورودی و خروجی اینورتر

۱۰-۲ آزمایش و تحلیل

در آزمایش ۹ رفتار اینورتر تکفاز بررســـی گردید. dv/dt بالای ولتاژ خروجی و بالا بودن THD ولتاژ و جریان خروجی اینورتر ســـبب ایجاد گشتاور هارمونیکی در بارهای موتوری می‌شود و راندمان موتور را به‌شدت کاهش داده و طول عمر مفید تجهیز را کم می‌کند. برای اینکه این مشـکل تا حدی برطرف گردد نیاز به فیلترهای LC بزرگ در پایانه خروجی اینورتر به وجود می‌آید. البته تغییرات ولتاژ ســریع خروجی اینورتر مشـکلات دیگری را نیز به همراه دارد که تخریب زود هنگام عایق ســیم‌پیچ‌ها، انعکاس موج در کابل‌های طولانی و تابش الکترومغناطیسی برخی از آن‌ها به شمار می‌روند.

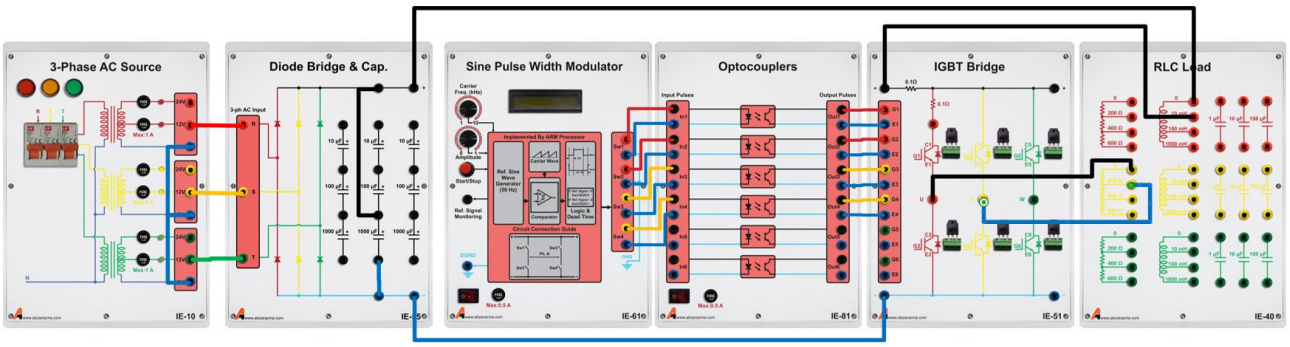
در این آزمایش به بررسی تاثیر فیلترهای ورودی و خروجی بر شکل موج های جریان و ولتاژ اینورتر پرداخته خواهد شد.

۱۰-۲-۱ فیلتر ورودی اینورتر

در این آزمایش تاثیر حضـــور فیلتر L را در ورودی اینورتر تکفاز بررســـی خواهیم نمود. برای انجام آزمایش، مدار آزمایش شـــماره ۹ را پیاده‌سازی نموده و از یک سلف ۱۰ میلی هانری به صورت سری با ورودی استفاده نمایید. مقدار بار خروجی را ۲۰۰ اهم انتخاب کنید.

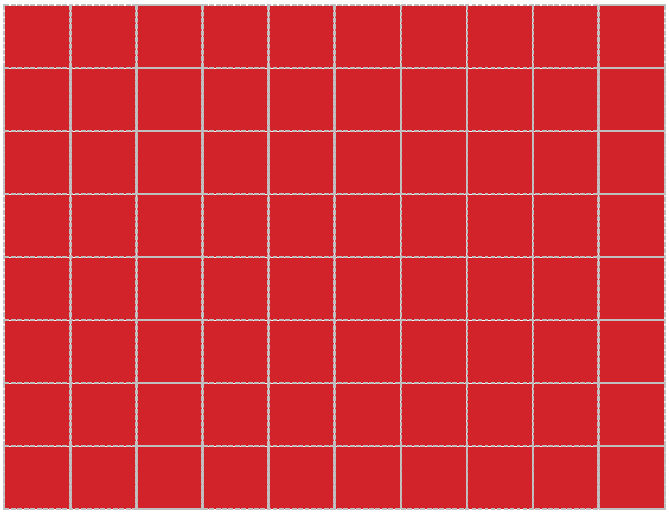
ساختار پیشنهادی مدار آزمایش به صورت شکل ۱۰-۲ است. برای راه‌اندازی ابتدا ولتاژ لینک DC را اعمال کنید و پس از آن کلید Run را فشار دهید تا فرمان SPWM به کلیدها اعمال شود.

پس از راه‌اندازی به سوالات زیر پاسخ دهید.



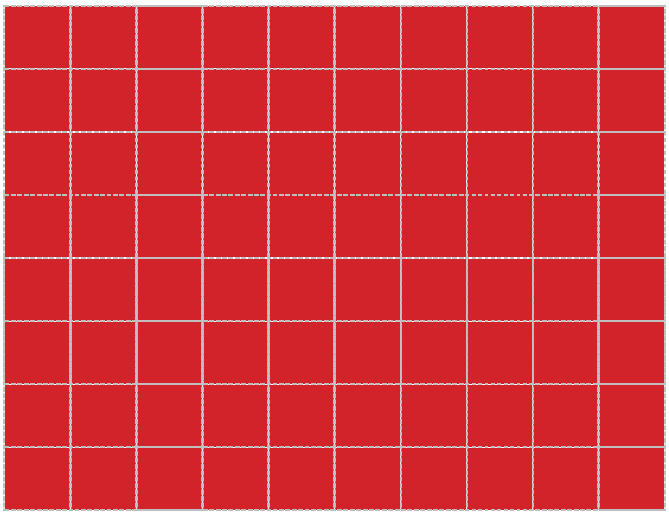
شکل ۲-۱۰ مدل پیشنهادی جهت بررسی تاثیر فیلتر L در ورودی اینورتر

۱- شکل موج ولتاژ بار را مشاهده کنید و سپس شکل موج جریان ورودی را در شکل ۳-۱۰ رسم نمایید



شکل ۳-۱۰ شکل موج جریان ورودی به اینورتر

۲- مقدار سلف ورودی را تغییر داده و مجددا شکل موج جریان ورودی را رسم کنید.

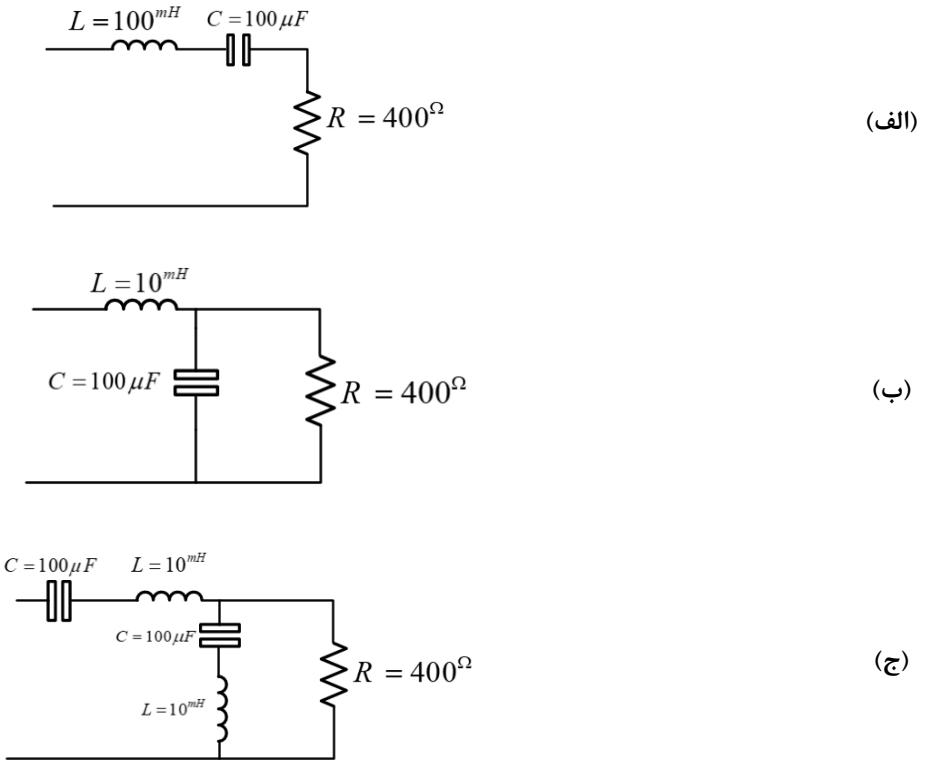


شکل ۴-۱۰ شکل موج جریان ورودی به اینورتر با تغییر سلف ورودی

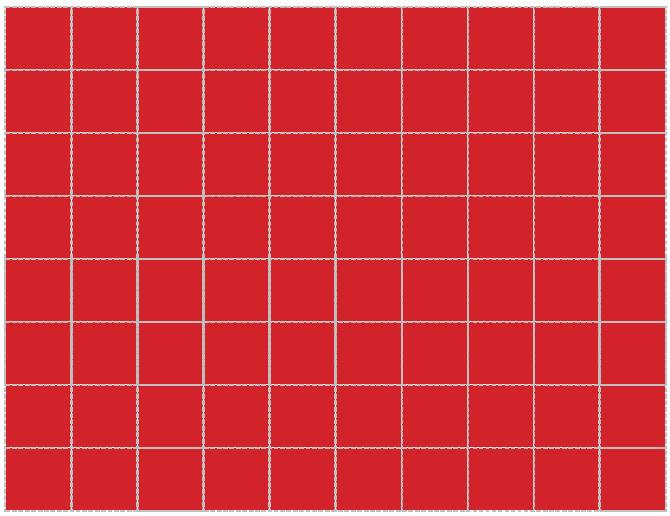
۳- تاثیر وجود فیلتر را در ورودی بررسی کنید؟

۲-۲-۱۰ فیلترخروجی اینورتر

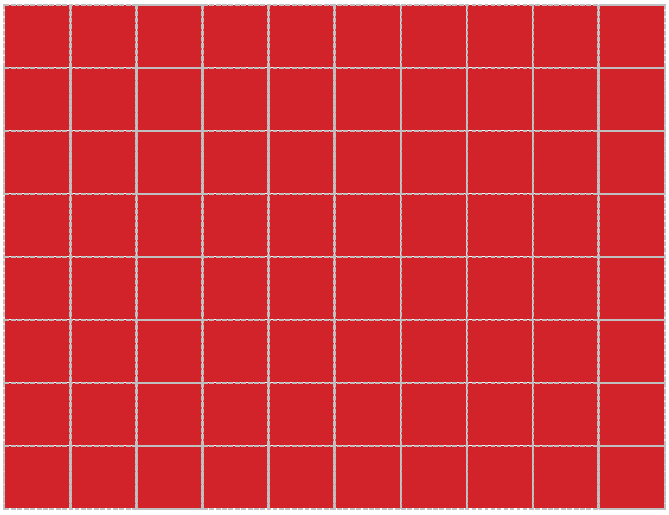
در این بخش آزمایش فیلتر LC در خروجی اینورتر قرار داده و تاثیر آنرا بر شکل موج ولتاژ خروجی بررسی خواهیم نمود. قرار دادن فیلتر در خروجی منجر به کاهش dv/dt و بهبود THD ولتاژ خروجی خواهد شد. مدار این بخش مشابه حالت قبل است با این اختلاف که فیلتر در خروجی اینورتر قرار خواهد گرفت. بار خروجی را در این بخش از آزمایش ۴۰۰ اهم انتخاب کنید و سپس آرایش‌های متفاوت فیلتر LC که در شکل زیر نشان داده شده است را پیاده سازی نمایید. در هر حالت شکل موج ولتاژ خروجی و جریان خروجی را رسم نمایید.



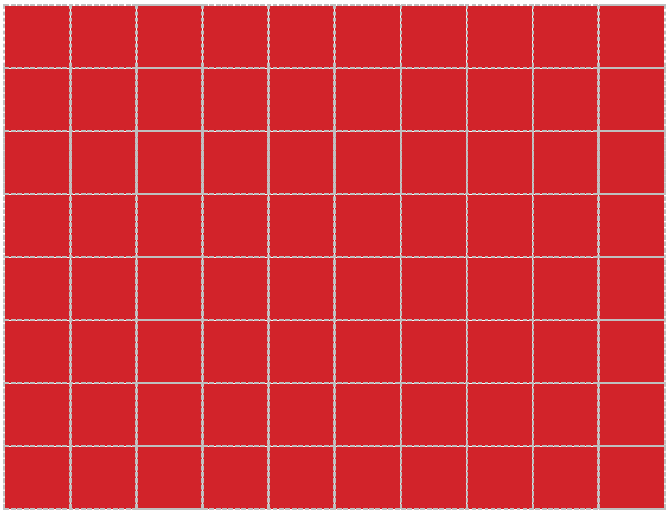
شکل ۵-۱۰ آرایش‌های متفاوت فیلتر LC در خروجی اینورتر



شکل ۶-۱۰ شکل موج ولتاژ خروجی و جریان خروجی در حضور فیلتر LC نوع (الف)



شکل ۷-۱۰ شکل موج ولتاژ خروجی و جریان خروجی در حضور فیلتر LC نوع (ب)



شکل ۸-۱۰ شکل موج ولتاژ خروجی و جریان خروجی در حضور فیلتر LC نوع (ج)

حال با توجه به آرایش‌های مختلف به سوالات زیر پاسخ دهید.

۱- بهترین وضعیت ولتاژ خروجی مربوط به کدام مرحله است ؟

۲- بهترین وضعیت جریان خروجی مربوط به کدام مرحله است ؟

۱۱ کنترل دور موتورهای القایی به روش V/F

۱-۱۱ مقدمه

اینورترها از جمله مبدل های dc–ac می با شند که به طور و سیعی در کاربردهای صنعتی ا ستفاده می گردد. محرک های سرعت متغیر موتورهای ac، منابع تغذیه بی وقفه و . . . تنها بخشی از کاربردهای اینورترها به شمار می‌روند. در اینورترهای سه فاز، خروجی دارای ولتاژ متناوبی با اختلاف فازهای °۰ ، °۱۲۰ و °۲۴۰ می باشد.

همانطور که بیان شد، یکی از کاربردهای اینورترهای سه‌فاز کنترل دور موتورهای AC ا ست. زمانی که از اینورتر سه‌فاز برای کنترل دور موتور استفاده می‌گردد، از روش‌های کنترلی اسکالر و برداری برای اعمال فرمان مناسب به کلیدها و کنترل دور موثر و کارآمد موتور بهره‌گیری خواهد شد. یکی از این روش‌های کنترلی روش مبتنی بر Volt per Hertz است.

روش تثبیت نسبت ولتاژ به فرکانس (یا کنترل V/ F ثابت)، ساده ترین روش کنترل موتورهای AC می‌باشد. امروزه این روش، بطور گسترده در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع کنترلرها از نوع اسکالر بوده و بصورت حلقه باز با پایداری خوب عمل می‌کنند. مزیت این روش سادگی سیستم‌های کنترلی آن ا ست. در مقابل، این نوع کنترلرها برای کاربردها با پا سخ سریع منا سب نمی باشند.

در روش V/F نسبت دامنه ولتاژ خروجی به فرکانس آن همواره مقدار ثابتی نگه داشته می‌شود تا دامنه شار درون موتور ثابت باقی بماند؛ چراکه در صورت کاهش دامنه شار موتور، حداکثر گشتاور قابل حصول کاهش یابد و افزایش دامنه شار ماشین از مقدار نامی ممکن است سبب اشباع هسته گردد و راندمان موتور را کاهش دهد.

سرعت یک موتور القائی تو سط سرعت سنکرون و سرعت لغزش رتور تعیین می گردد. با توجه به رابطه دور موتور آ سنکرون (۱۲-۱) می‌توان با تغییر فرکانس، سرعت سنکرون را تغییر، و دور موتور را کنترل نمود. به منظور ایجاد ولتاژ و فرکانس متغیر از اینورتر های ولتاژ استفاده می‌کنند. در اینورترهای ولتاژ، متغیر تحت کنترل همان ولتاژ و فرکانس اعمالی به استاتور است .

$$n_r = \frac{60\,f}{P} \qquad (۱۲-۱)$$

که در این رابطه P تعداد زوج قطب های موتور القایی می‌باشد

۲-۱۱ آزمایش و تحلیل

در این آزمایش به بررسی نحوه کنترل دور موتور به کمک اینورتر سه‌فاز مبتنی بر روش کنترلی V/F پرداخته خواهد شد.

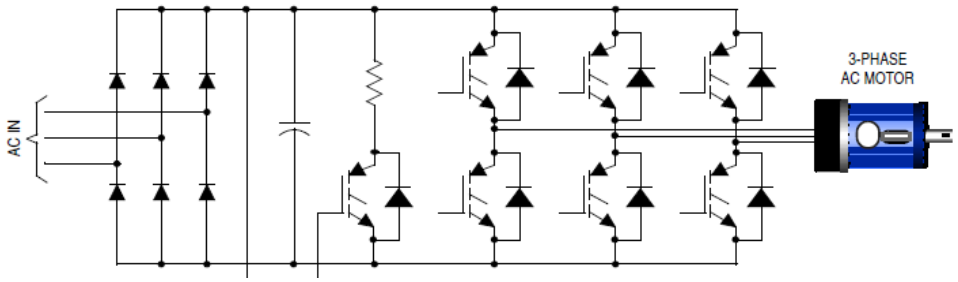
شکل ۱-۱۱ ساختار یک اینورتر دوسطحی سه‌فاز را نشان می‌دهد. برای استفاده از این ساختار در کاربردهای توان بالا و یا ولتاژ بالا، هر یک از کلیدهای Q1 تا Q6، از اتصال سری و یا موازی چند کلید دیگر تشکیل می‌شوند. در این ساختار نیز تغییرات سریع ولتاژ در خروجی، سبب نیاز به استفاده از فیلترهای LC بزرگ خواهد شد.

ماژول Volt per Hertz Speed Controller به عنوان مدار کنترل اینورتر سه‌فاز مورد استفاده قرار می‌گیرد که فرمان مناسب را جهت روشن و خاموش نمودن کلیدهای Q1 تا Q6 بر اساس روش کنترلی V/F ایجاد می‌کند. این ماژول بر اساس روش مدولاسیون عرض پالس سینوسی می‌باشد. برای پیاده‌سازی مدار آزمایش می‌توانید از مدل پیشنهادی درشکل ۲-۱۱ استفاده کنید.

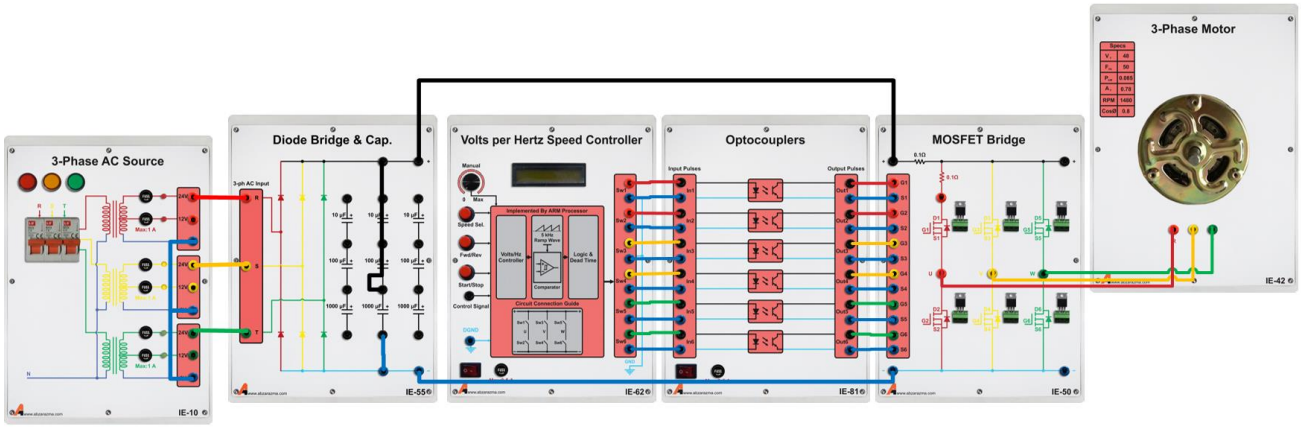
از ماژول موتور القایی که به صورت ستاره سربندی شده است به عنوان بار اینورتر استفاده نمایید و موثر ولتاژ تغذیه ورودی را ۲۴ ولت انتخاب کنید. ولوم تنظیم سرعت کنترلر V/F را روی نیمه قرار دهید. ماژول کنترلر V/F دارای دو مود تنظیم سرعت است. ۱- به کمک ولوم تنظیم سرعت؛ ۲- به کمک سیگنال کنترل خارجی که در بازه ۰ تا ۳,۳ ولت می‌تواند متغیر باشد

به کمک کلید .Speed Sel مود تنظیم سرعت را m=0 انتخاب کنید. مود کنترل سرعت روی LCD کاراکتری نمایش داده می‌شود. به کمک کلید Fwd/Rev می‌توان جهت چرخش موتور را تغییر داد. ترمینال‌های Control Signal و DGND جهت اعمال سیگنال کنترل در مود تنظیم سرعت خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای راه‌اندازی مدار ابتدا تغذیه سه فاز را روشن نمایید و پس از اطمینان از وجود ولتاژ لینک DC، کلید Run را در ماژول Volts per Hertz Speed Controller فشار دهید تا فرمان گیت از طریق اپتوکوپلرها به پل ماسفت اعمال شود.



شکل ۱-۱۱ مدار قدرت اینورتر سه‌فاز



شکل ۲-۱۱ مدل پیشنهادی برای پیاده‌سازی آزمایش کنترل سرعت موتور القایی مبتنی بر روش V/F

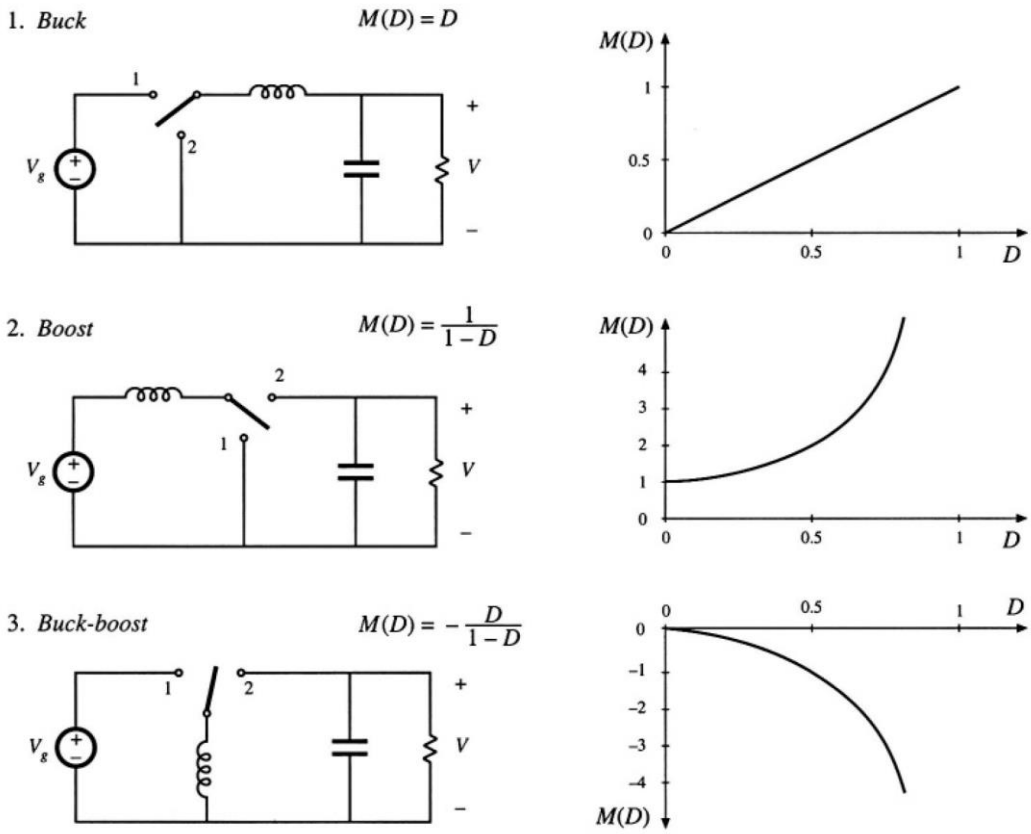
پس از راه‌اندازی، به کمک اسیلوسکوپ ولتاژ خط موتور را مشاهده کنید با تغییر ولوم تنظیم سرعت، عملکرد کنترل حلقه باز سرعت مبتنی بر روش V/F را بررسی نمایید.

با هر بار فشردن کلید Fwd /Rev جهت چرخش موتور تغییر می‌کند. تاثیر این کلید را بر نحوه پالس‌دهی به کلیدهای Q1 تا Q6 بررسی کنید.

۱۲ مبدل های dc-dc غیر ایزوله با دو عنصر ذخیره انرژی

۱-۱۲ مقدمه

مبدل های dc-dc نقش قابل توجهی در الکترونیک صنعتی مدرن پیدا کرده‌اند. امروزه هسته و قلب مرکزی هر منبع تغذیه سوئیچینگ، یک مبدل dc-dc می باشد. این مبدل ها بر حسب ایزوله بودن ورودی از بار به دو دسته: ایزوله و غیر ایزوله دسته بندی می شوند. انواع ایزوله خارج از اهداف آموزشی درس الکترونیک صنعتی می‌باشد و به طور معمول در الکترونیک قدرت مورد بررسی قرار می گیرند. انواع غیر ایزوله مشتمل بر دسته کلی: کاهنده یا باک، افزاینده یا بوست و افزاینده-کاهنده یا باک-بوست می باشند. شماتیک این سه مبدل معروف در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۲ آرایش مبدل های غیر ایزوله متداول دارای دو عنصر ذخیره انرژی به همراه نمودار نسبت تبدیل مبدل (M(D)) بر حسب دوره کاری (D): ۱) کاهنده، ۲) افزاینده و ۳) افزاینده-کاهنده

در شکل ۱-۱۲ نمودار و نسبت تبدیل سه مبدل رسم شده است. به کمک بردهای DC-DC PWM Converter و Pulse width Modulator امکان پیاده سازی آرایش‌های مختلف مبدل‌های DC-DC وجود خواهد داشت. لازم به ذکر است که فرمانهای تولید شده به وسیله مدار فرمان تولید کننده پالسهای PWM می بایست از طریق ماژول ایزوله کننده نوری (Optocoupler) به ماسفت قدرت واقع در مدار قدرت متصل شوند.

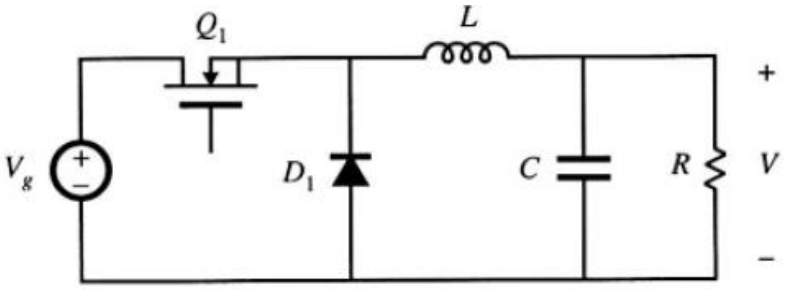
۲-۱۲ آزمایش و تحلیل

در این آزمایش به بررسی سه مبدل باک، بوست و باک- بوست پرداخته خواهد شد و کنترل حلقه باز هر مبدل مطرح می‌شود.

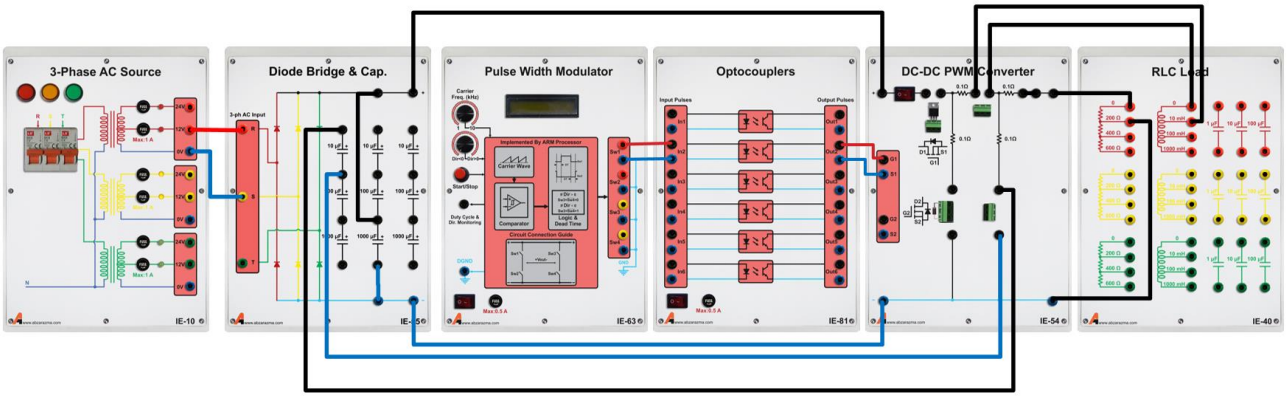
۱-۲-۱۲ بررسی مبدل باک

مدار مبدل باک درشکل ۲-۱۲ نشان داده شده است. ابتدا مدار قدرت مبدل باک را بر روی ماژول DC-DC PWM Converter پیاده سازی نمائید. با توجه به اینکه این ماژول به گونه‌ای طراحی شده است که امکان پیاده‌سازی آرایش‌های مختلف بر روی آن وجود داشته باشد، لذا نیاز است در هر آرایش جایابی ادوات نیم‌هادی و یا سلف و خازن تغییر کند. امکان تغییر موقعیت کلیه ادوات وجود دارد. به عنوان مثال در مبدل باک نیاز است یک دیود سریع مانند UF4007 جایگزین کلید SW2 شود. ترمینال‌های لازم برای اتصال سلف و خازن خروجی بر روی ماژول وجود دارد. برای تامین تغذیه DC ورودی، ولتاژ AC ورودی به کمک پل دیودی یکسوشده و سپس به کمک خازن ریپل ولتاژ ورودی کاهش می‌یابد. به منظور کاهش ریپل ولتاژ یکسو شده از خازن ۱۰۰۰ میکرو فاراد استفاده می‌نماییم. ظرفیت سلف و خازن خروجی به ترتیب عبارتند از: ۱۰ میلی هانری و ۱۰ میکرو فاراد و همچنین از مقاومت ۲۰۰ اهم به عنوان بار استفاده نمائید.

ساختار پیشنهادی جهت پیاده سازی مبدل باک در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. فرمان کلید SW1 از خروجی اول ماژول Pulse Width Modulator گرفته خواهد شد. برای راه‌اندازی مدار آزمایش ابتدا ولتاژ لینک DC را اعمال کنید اما دقت شود که کلید ورودی ماژول قدرت PWM در وضعیت صفر باشد. سپس فرمان کلید SW1 به واسطه اپتوکوپلر اعمال گردد. فرکانس سیگنال PWM را ۲ کیلوهرتز تنظیم نمائید همچنین عرض پالس را نیز بر روی ۲۵ در صد با .Dir مثبت تنظیم نمائید. در نهایت کلید ورودی مبدل را وصل کنید.



شکل ۲-۱۲ آرایش مبدل باک تحقق یافته به وسیله کلیدهای نیمه هادی قدرت



شکل ۳-۱۲ مدل پیشنهادی جهت پیاده‌سازی مبدل باک

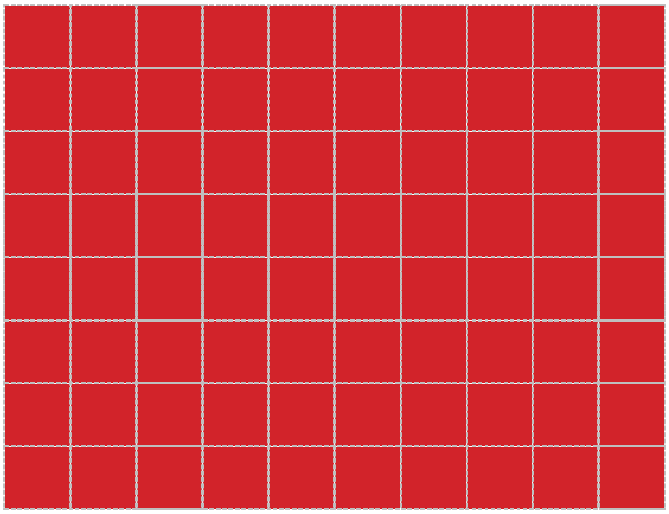
پس از راه‌اندازی مدار مبدل باک، خواسته‌های آزمایش را برآورده سازید

۱- جدول ۱-۱۲ را تکمیل نمایید

جدول ۱-۱۲ نتایج پیاده‌سازی مبدل باک

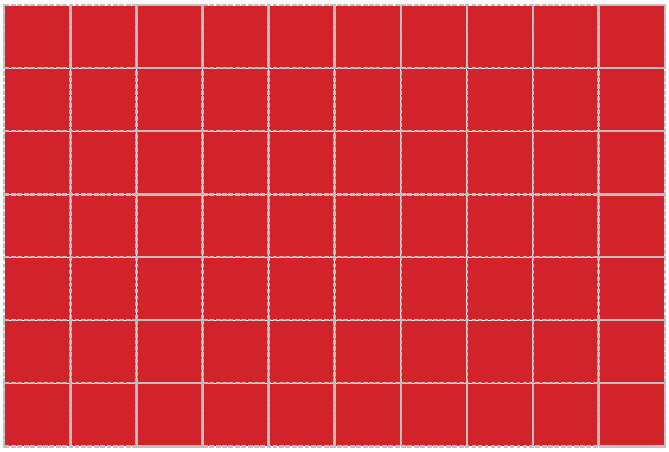
	۵KHz			۷,۵KHz			۵KHz			۷,۵KHz		

۲- شکل موج ولتاژ خروجی را همراه با ریپل کلیدزنی به‌ازای سیکل وظیفه ۵۰ در صد و فرکانس کلیدزنی ۱ کیلوهرتز در شکل ۴-۱۲ رسم کنید.



شکل ۴-۱۲ شکل موج ولتاژ خروجی هراه با ریپل کلیدزنی

۳- شکل موج ولتاژ درین- سورس و گیت- سورس سوئیچ همراه با شکل موج آند- کاتد دیود را به طور همزمان در شکل ۵-۱۲ ر سم کنید و پس از بررسی حالات کلیدزنی، نسبت به بررسی نحوه عملکرد این منبع تغذیه سوئیچینگ اقدام نمایید.



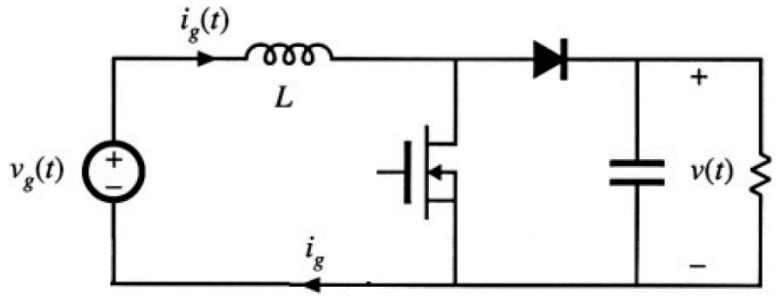
شکل ۵-۱۲ شکل موج ولتاژ گیت- سورس و آند- کاتد کلیدها

۴-با تغییر مقدار سلف و خازن خروجی، تغییرات ولتاژ خروجی را به ازای دوره های کاری مختلف تحقیق نمائید.

۴- اثر تغییر سلف و خازن فیلتر را بر روی میزان ریپل ولتاژ خروجی بررسی نمائید.

۱۲-۲-۲ بررسی مبدل بوست

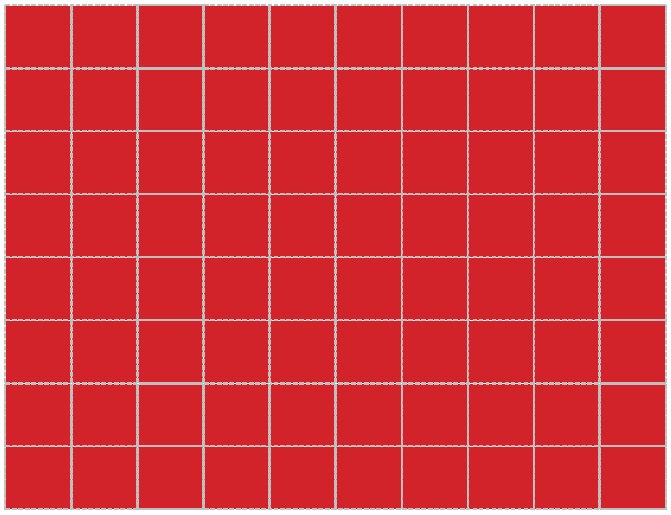
مبدل بوست را مشابه مبدل باک بر روی ماژول DC-DC PWM Converter پیاده سازی نمائید. برای این منظور به‌جای SW1، سلف ۱۰ میلی هانری قرار دهید و فرمان SW2 از خروجی اول ماژول PWM به واسطه اپتوکوپلر گرفته می‌شود. به ترمینال فونیکس که در خروجی مدار قدرت قرار گرفته است، دیود سریع متصل خواهد شد. آرایش این مبدل به صورت شکل ۶-۱۲ می باشد. ظرفیت خازن و مقاومت بار را به ترتیب ، ۱۰۰۰ میکرو فاراد و ۴۰۰ اهم برگزینید.



شکل ۶-۱۲ آرایش مبدل بوست تحقق یافته به وسیله کلیدهای نیمه هادی قدرت

مقدار سیکل وظیفه و یا دوره کاری را به کمک سعی خطا در مقداری تنظیم نمائید که خروجی ۳۰ ولت گردد. مقدار دروه کاری را از روی LCD خوانده و نتیجه را با مقدار تئوری مورد انتظار مقایسه نمائید.

۱- شکل موج ولتاژ خروجی را همراه با ریپل کلیدزنی به‌ازای سیکل وظیفه ۵۰ در صد و فرکانس کلیدزنی ۱ کیلوهرتز در شکل ۷-۱۲ رسم کنید.



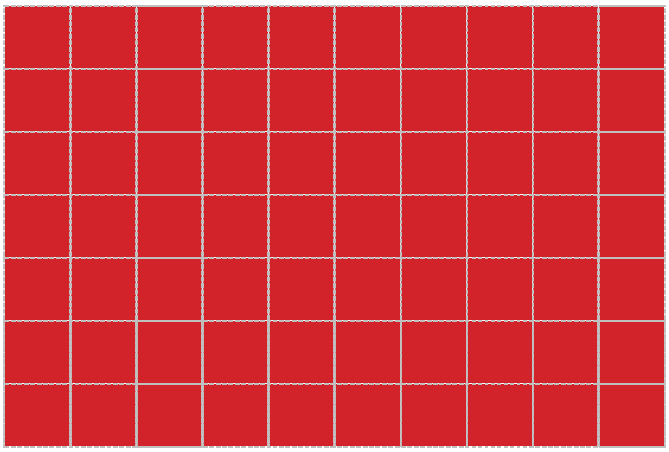
شکل ۷-۱۲ شکل موج ولتاژ خروجی هراه با ریپل کلیدزنی

۲- جدول ۲-۱۲ را نکمیل نمایید

جدول ۲-۱۲ نتایج پیاده‌سازی مبدل بوست

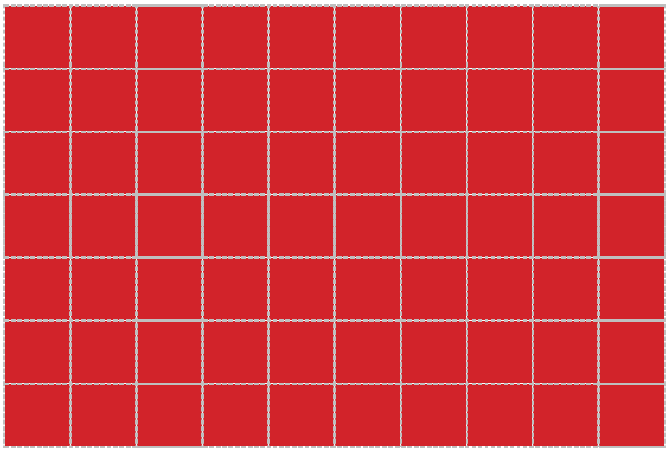
۷,۵KHz		۵KHz		۷,۵KHz		۵KHz		

۳- شکل موج ولتاژ درین- سورس و گیت- سورس سوئیچ همراه با شکل موج آند- کاتد دیود را به طور همزمان در شکل ۸-۱۲ ر سم کنید و پس از بررسی حالات کلیدزنی، نسبت به بررسی نحوه عملکرد این منبع تغذیه سوئیچینگ اقدام نمایید.



شکل ۸-۱۲ شکل موج ولتاژ گیت- سورس و آند- کاتد کلیدها

۴- ریپل جریان سلف ورودی چند درصد است؟ شکل موج جریان سلف را در شکل ۹-۱۲ رسم نمایید

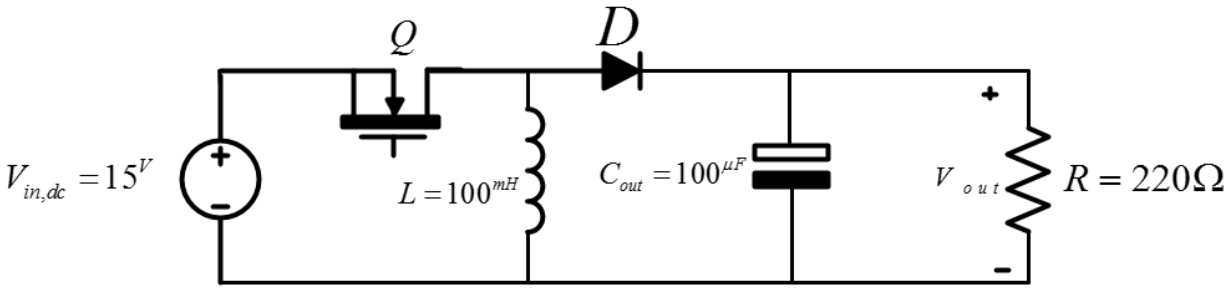


شکل ۹-۱۲ شکل موج جریان سلف

۵- مقدار بار را ۲۰ درصـــد کاهش و افزایش دهید و تغییرات ولتاژ خروجی را ثبت نمائید. رابطه تغییرات بار با تغییرات ولتاژ خروجی مستقیم است یا معکوس؟

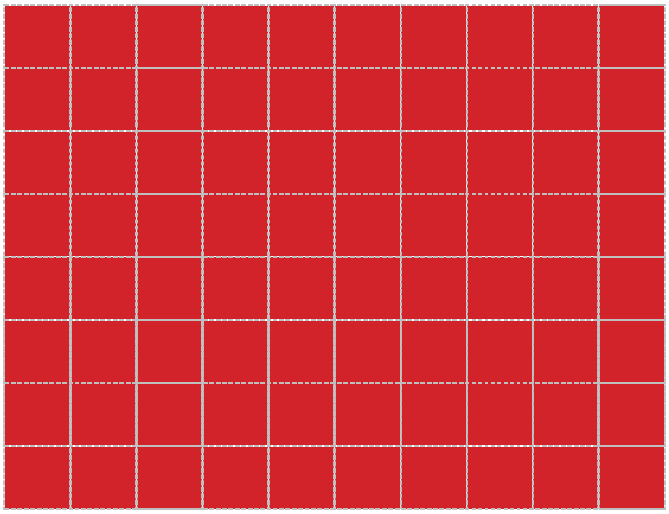
۳-۲-۱۲ بررسی مبدل باک-بوست

در این بخش مبدل باک-بوست با مقادیر نشان داده شده در شکل ۱۰-۱۲ مورد بررسی قرار می گیرد. مانند دو مرحله قبل مدار قدرت، ایزولاتور نوری و فرمان را برقرار سازید. پس از پیاده‌سازی به موارد خواسته شده در آزمایش پاسخ دهید.



شکل ۱۰-۱۲ آرایش مبدل باک-بوست تحقق یافته به وسیله کلیدهای نیمه هادی قدرت

۱- شکل موج ولتاژ خروجی را همراه با ریپل کلیدزنی به‌ازای سیکل وظیفه ۳۰ درصد و فرکانس کلیدزنی ۱ کیلوهرتز در شکل ۱۱-۱۲ رسم کنید.



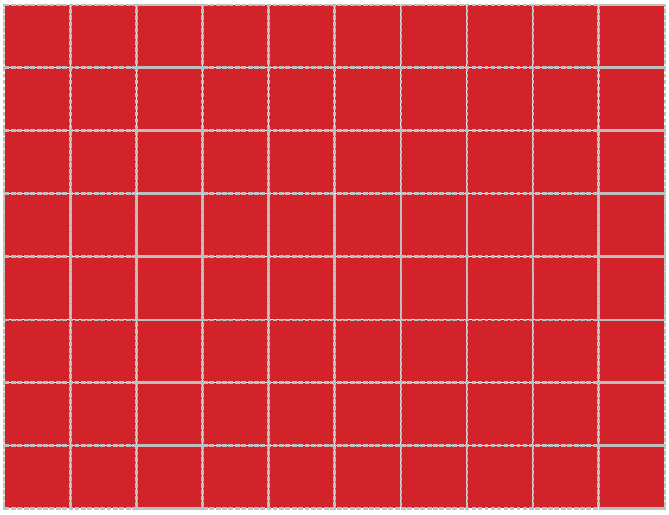
شکل ۱۱-۱۲ شکل موج ولتاژ خروجی هراه با ریپل کلیدزنی

۲- جدول ۳-۱۲ را نکمیل نمایید

جدول ۳-۱۲ نتایج پیاده‌سازی مبدل باک- بوست

۷,۵KHz		۵KHz		۷,۵KHz		۵KHz		

۳- شکل موج ولتاژ درین- سورس و گیت- سورس سوئیچ همراه با شکل موج آند- کاتد دیود را به طور همزمان در شکل ۱۲-۱۲ رسم کنید و پس از بررسی حالات کلیدزنی، نسبت به بررسی نحوه عملکرد این مبدل سوئیچینگ اقدام نمایید.



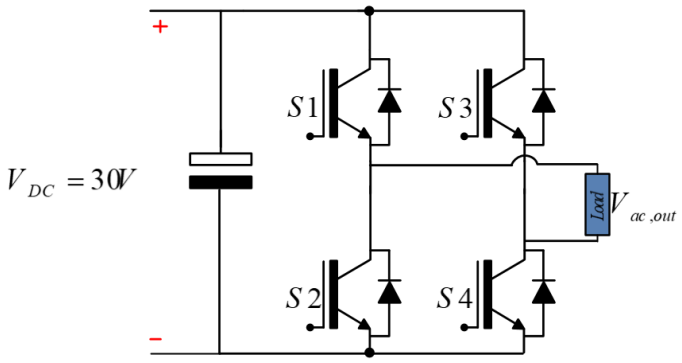
شکل ۱۲-۱۲ شکل موج ولتاژ گیت- سورس و آند- کاتد کلیدها

۱۲-۲-۴ مبدل DC به AC تمام پل با مدولاسیون عرض پالس

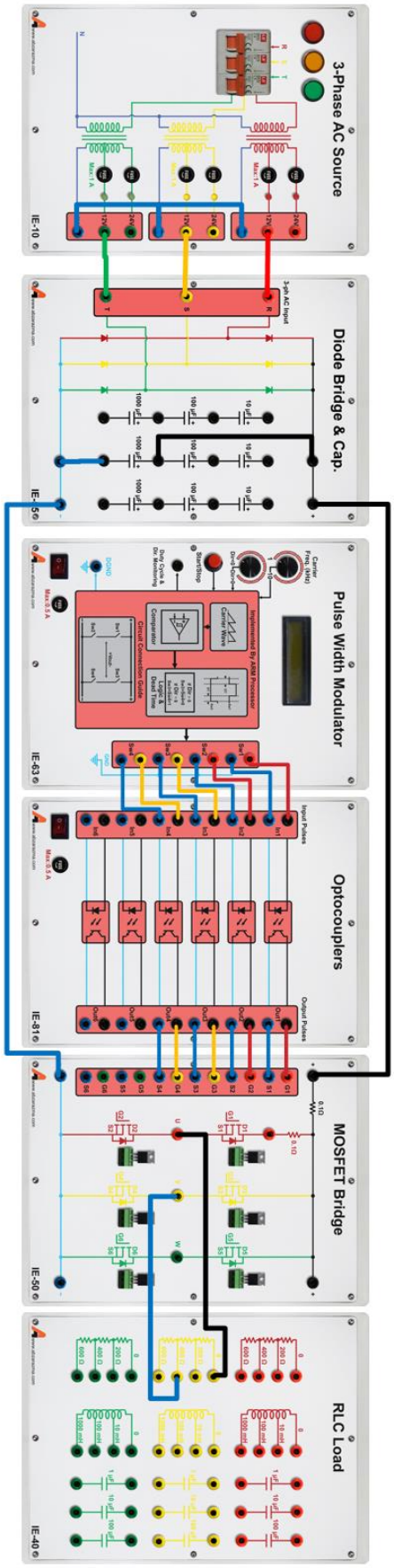
در این بخش از آزمایش به برر سی مبدل DC به AC دارای ساختار تمام پل با روش مدولا سیون عرض پالس پرداخته خواهد شد. این ساختار می‌تواند بخشی از یک مبدل DC-DC باشد که به آن مبدل DC-DC تمام پل گفته می‌شود. در این شرایط خروجی مبدل به یک ترانسفورماتور فرکانس بالا اعمال می شود و پس از تغییر سطح ولتاژ آن، به کمک پل یکسو ساز مجددا به یک ولتاژ مستقیم برای تغذیه بار تبدیل می‌گردد.

برای راه‌اندازی مدار آزمایش ابتدا ولتاژ لینک DC را اعمال کنید فرمان کلیدهای SW1 تا SW4 به واسطه اپتوکوپلر اعمال گردد. فرکانس سیگنال PWM را ۲ کیلوهرتز تنظیم نمائید همچنین عرض پالس را نیز بر روی ۵۰ در صد با .Dir منفی تنظیم نمائید. با ف شردن کلید Run برروی ماژول PWM، پالس گیت به ماسفت‌ها اعمال شده و بار خروجی تغذیه خواهد شد.

در شکل ۱۲-۱۴ مدل پیشنهادی برای پیاده‌سازی اینورتر تمام پل با مدولاسیون PWM، نشان داده شده است.



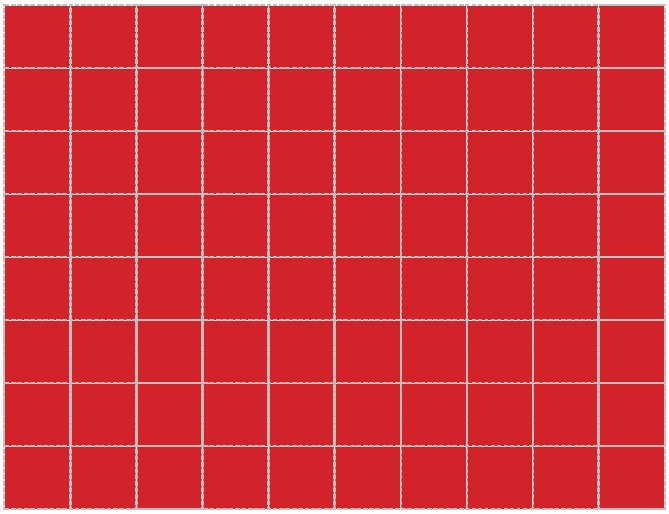
شکل ۱۲-۱۳ ساختار مبدل تمام پل با خروجی متناوب



شکل ۱۴-۱۲ مدل پیشنهادی جهت پیاده‌سازی اینورتر تمام پل با مدولاسیون عرض پالس

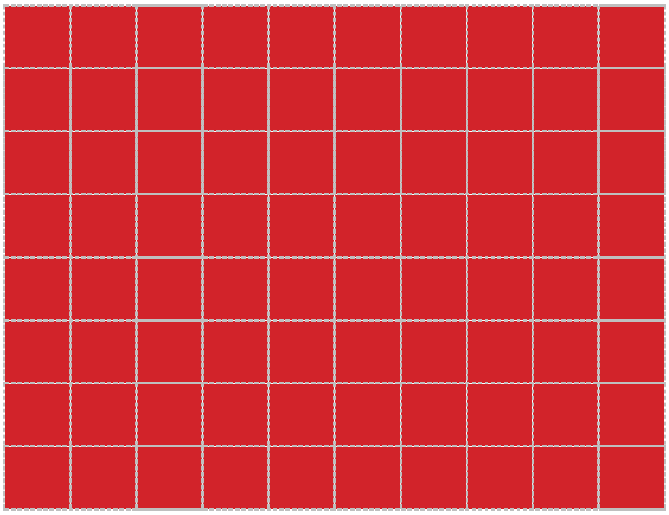
پس از راه‌اندازی مبدل مورد مطالعه، به سوالات زیر پاسخ دهید

۱- شکل موج ولتاژ خروجی را در شرایط فعلی در شکل ۱۵-۱۲ رسم کنید. با تغییر فرکانس سیگنال حامل چه تغییری در شکل موج ولتاژ خروجی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵-۱۲ شکل موج ولتاژ خروجی به ازای سیکل وظیفه ۵۰ درصد

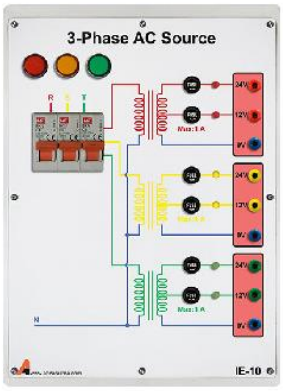
۲- فرکانس کلیدزنی را حداقل ممکن قرار دهید و به ازای سیکل وظیفه ۱۰۰ با .Dir مثبت، شکل موج ولتاژ خروجی را در شکل ۱۶-۱۲ رسم کنید و با توجه به آن معادله ولتاژ خروجی را با در نظر گرفتن هارمونیک های اول تا چهارم بدست آورید؟ برای سادگی از زمان مرده بین حالات کلیدزنی صرف نظر کنید.



شکل ۱۶-۱۲ شکل موج ولتاژ خروجی به ازای سیکل وظیفه ۱۰۰ درصد

پیوست شماره یک

مشخصات ماژول‌های آموزنده الکترونیک صنعتی



منبع ولتاژ AC قابلیت تولید دو سطح ولتاژ 12و24 V را دارا می باشد. تمام خروجی ها به وسیله فیوز حفاظت شده اند تا از اضافه بار کلید ها و ترانسفورماتورها جلوگیری شود.

مشخصات:

- ولتاژ ورودی: 380V
- ولتاژ فاز خروجی: 12-24 V
- 6 • عدد LED جهت نمایش وضعیت خروجی ها
- جریان خروجی: حداکثر 2A

IE – 10 | 3Phase AC Source–

این ماژول جهت تنظیم ولتاژ DC متغیر مورد استفاده قرار می گیرد.

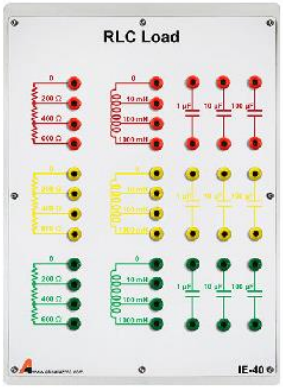
مشخصات:

- دو خروجی 0 تا 1A ، 35 V
- خط حذف گردید
- نمایشگر چهار رقمی

IE – 20 | DC Exciter

از این دستگاه برای اندازه گیری ولتاژ و جریان تکفاز و DC، مقاومت، فرکانس و ... استفاده می شود.

IE – 31 | Multimeter



شامل بارهای مختلف و در مقادیر مختلف می باشد.

مشخصات:

- بار مقاومتی با مقادیر 470، 220 و 1k
- بار سلفی با مقادیر 1mH، 10mH و 100mH
- بار خازن AC با مقادیر 1uF، 10uF و 100uF

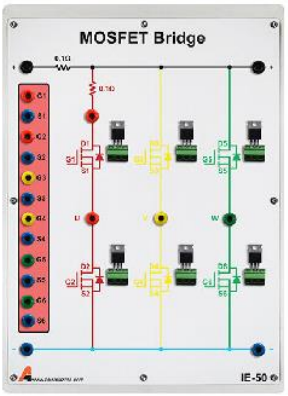
IE – 40 | RLC Load

این ماژول شامل یک موتور الکتریکی سه فاز و یک موتور یونیورسال می باشد.

مشخصات:

- موتور سه فاز: ولتاژ خط 48V، جریان کاری 5A/1
- موتور یونیورسال: ولتاژ 48V، جریان کاری 5A/1
- اتصالات به صورت فیشی و در سه رنگ مختلف

IE – 41 | Phase & Universial Motor – 3

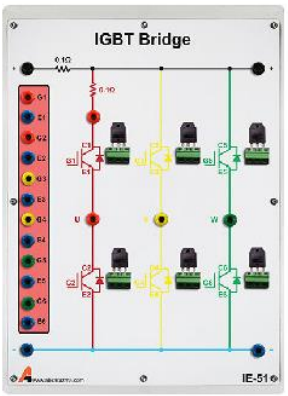


این ماژول جهت پیاده سازی پل سه فاز مبتنی بر Mosfet استفاده می گردد.

مشخصات:

- مدار قدرت پل سه فاز مبتنی بر ماسفت IRF450 با قابلیت تعویض
- امکان اعمال 6 عدد فرمان گیت- سورس
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان کلید نیمه هادی
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان باس DC
- سیم بندی و پیکربندی ساده آرایش های مبدل‌های توان

IE – 50 | Mosfet Bridge

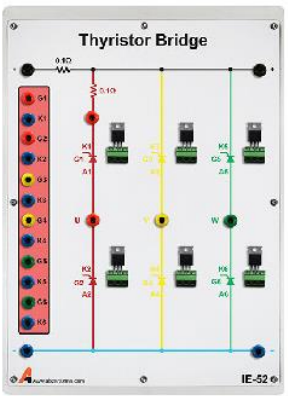


از پیکربندی پل سه‌فاز می توان برای پیاده سازی برشگر AC سه‌فاز استفاده نمود.

مشخصات:

- مدار قدرت پل سه فاز مبتنی بر IGBT Gh20n50 با قابلیت تعویض
- امکان اعمال 6 عدد فرمان گیت- سورس
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان کلید نیمه هادی
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان باس DC
- سیم بندی و پیکربندی ساده آرایش های مبدل‌های توان
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان کلید نیمه هادی

IE – 51 | IGBT Bridge

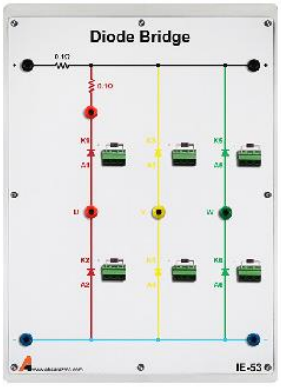


از پیکربندی پل سه‌فاز می توان برای پیاده سازی برشگر AC سه‌فاز استفاده نمود.

مشخصات:

- مدار قدرت پل سه فاز مبتنی بر تریستور BT151 با قابلیت تعویض
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان کلید نیمه هادی
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان باس DC
- سیم بندی و پیکربندی ساده آرایش های مبدل‌های توان

IE – 52 | Thyristor Bridge

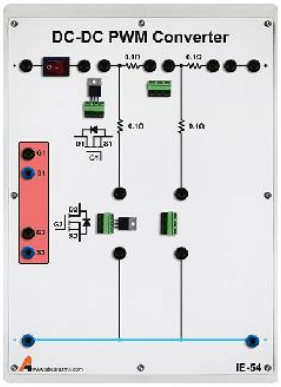


از پیکربندی پل سه‌فاز می توان برای پیاده سازی یکسوساز سه‌فاز کنترل شده و نشده استفاده نمود.

مشخصات:

- مدارهای قدرت پل سه فاز دیودی BY299 با قابلیت تعویض
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان کلید نیمه هادی
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان باس DC
- سیم بندی و پیکربندی ساده آرایش های مبدل‌های توان

IE – 53 Diode Bridge

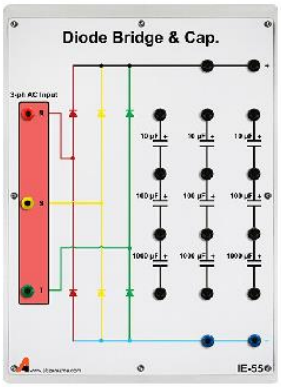


مبدل های PWM برای تبدیل سطوح مختلف ولتاژهای DC به یکدیگر مورد استفاده قرار می گیرند. امکان پیاده سازی مبدل DC/DC با دو یا چهار المان ذخیره کننده انرژی مثل باک، بوست، باک-بوست، چوک، سپیک و زیتا وجود دارد.

مشخصات:

- ولتاژ کاری 0 تا 200V
- امکان اندازه گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار
- جریان کاری 0 تا 8A
- امکان نصب راحت المان ها

IE – 54 DC-DC PWM Converter

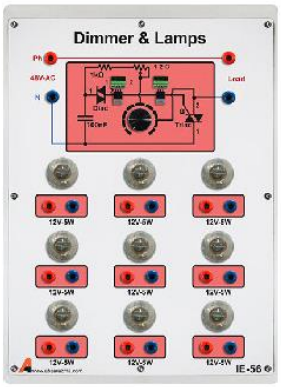


یکسوساز سه‌فاز دیودی یک مبدل AC/DC غیر قابل کنترل است که به کاربران امکان درک اصول تبدیل AC به DC را می دهد.

مشخصات:

- ولتاژ ورودی: 20-48 V AC
- ولتاژ خروجی: 25-115 V DC
- جریان ورودی: 2 A
- جریان خروجی:2A
- حفاظت جریان هجومی توسط 500 □ 0 :NTC

IE – 55 Diode Bridge & CAP

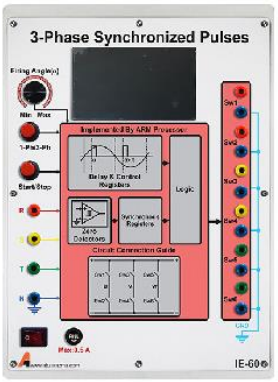


دیمرها به منظور کنترل روشنایی لامپ ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. دیمرهای مدرن بر مبنای ساختار برشگرهای کنترل شده با کلیدهای الکترونیک قدرت ساخته می شوند

مشخصات:

- ولتاژ ورودی: 48 V
- ولتاژ خروجی: صفر تا 48 V
- 9 • عدد لامپ 12 V

IE – 56 Dimmer & Lamps

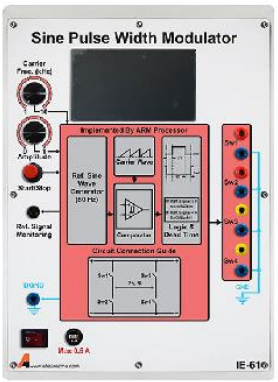


این ماژول جهت تولید پالس های سه‌فاز برای برشگرهای AC و یکسوکننده‌های کنترل شونده مورد استفاده قرار می‌گیرد و به صورت دستی و کامپیوتری قابل تنظیم می‌باشد.

مشخصات:

- فرکانس خروجی برابر با فرکانس ورودی
- جریان خروجی حداکثر 50 mA
- تولید پالس های سه‌فاز با اختلاف زاویه 120 درجه
- زاویه آتش از0 تا 180 درجه
- قابلیت انتخاب بین تولید پالس سه‌فاز و تکفاز
- کانکتور USB

IE – 60	3Phase Synchronized Pulses–

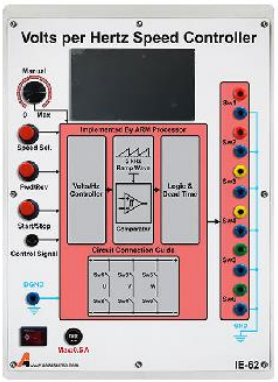


مدولاتور پهنای پالس سینوسی (SPWM) سیگنال های PWM را با مقایسه دو سیگنال سینوسی و رمپ تولید می نماید. دو خروجی مکمل یکدیگر هستند و برای اطمینان از کلیدزنی ایمن، بین پالس های کلید بالا و پایین زمان مرده در نظر گرفته شده است.

مشخصات:

- فرکانس موج حامل 1–20 kHz
- امکان تغییر دامنه سیگنال مرجع
- فرکانس موج سینوسی 50 Hz

IE – 61	Sine Pulse Width Modulator

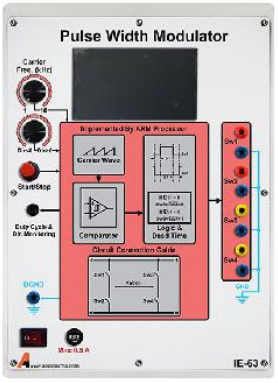


این ماژول فرمان‌های مدار اینورتر سه‌فاز را برای کنترل دور موتور سه‌فاز فراهم می کند.

مشخصات:

- فرکانس موج سینوسی 1–50 Hz
- فرکانس موج حامل 1–20 kHz
- قابلیت تنظیم سرعت و جهت دوران موتورالکتریکی

IE – 62	Volts Per Hertz Speed Controller

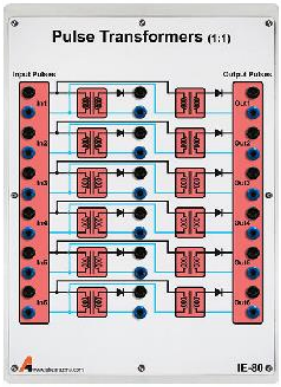


پالس های کلیدزنی توسط ماژول تولیدکننده PWM ایجاد می شود. یک موج دندانه اره‌ای با فرکانس متغیر با دوره کاری مرجع مقایسه می شود تا پالس های آتش کلیدها تولید شود.

مشخصات:

- فرکانس 1–20 kHz
- دوره کاری 0 تا 100 درصد

IE – 63	Pulse Width Modulator

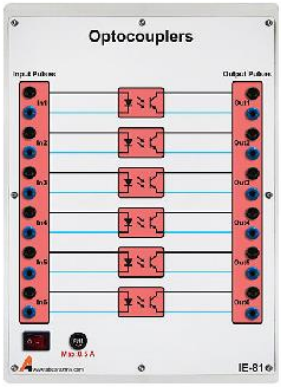


ترانسفورماتور پالس به گونه ای طراحی می شود که بتواند پالس های مربعی شکل را انتقال دهد. پالس های آتش با استفاده از ترانسفورماتور پالس ازکلیدهای الکترونیک قدرت ایزوله می شوند. هر پالس ورودی به دو پالس ایزوله خروجی تبدیل می شود.

مشخصات:

- ولتاژ ورودی 12 V
- ولتاژ خروجی 12 V
- جریان ورودی حداکثر 50 mA
- جریان خروجی حداکثر 30 mA

IE – 80 Pulse Transformers

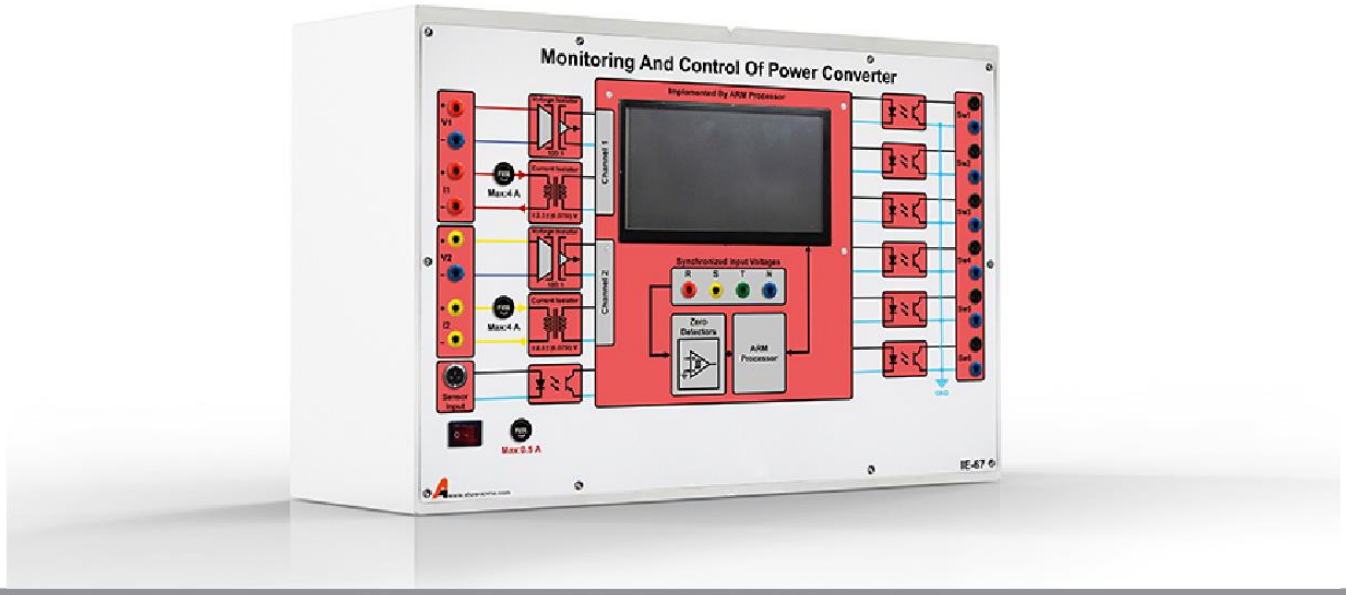


اپتوکوپلرها بین ماژول های کنترل و قدرت کلیدهای الکترونیک قدرت ایزولاسیون نوری ایجاد می کنند.

مشخصات:

- ولتاژ ورودی: 0 تا 12 ولت
- جریان خروجی: حداکثر 100 mA
- ولتاژ خروجی: 0 تا 12 ولت
- حداکثر فرکانس: 100 kHz

IE – 81 Optocouplers



ماژول مانیتورینگ و کنترل مبدل توان (MCPC-2)

توضیحات:

از این ماژول به منظور مانیتورینگ و کنترل همزمان مبدل‌های توان استفاده می گردد. این مبدل‌های توان جهت تبدیل توان الکتریکی/ مغناطیسی و سایر انواع تبدیل توان به کار می‌رود.
اندازه‌گیری ایزوله ولتاژ، جریان و پالس دیجیتال به وسیله مدارهای ایزولاتور مغناطیسی و نوری فراهم شده است. همچنین گذر از صفر ولتاژهای سه‌فاز با ایزولاسیون نوری فراهم شده است. پردازش اطلاعات ورودی توسط ریزپردازنده ARM صورت می‌گیرد. امکان مانیتورینگ ولتاژ، جریان، توان، ضریب توان، فرکانس و سرعت تجهیز مورد بررسی در این ماژول فراهم گردیده است. رسم شکل موج‌های متنوع در کنار نمایش مقادیر متوسط و موثر، امکان انتقال بهتر مفاهیم را فراهم می‌سازد.
تولید پالس های فرمان برای انواع مبدل های الکترونیک صنعتی در این ماژول فراهم شده است.

مشخصات سخت افزاری:

- پردازنده ARM از سری Cortex-M۳
- مانیتور ۷ اینچ با صفحه لمسی
- ورودی پالسی با دامنه ۱۲ تا ۲۴ ولت با ایزولاسیون نوری
- خروجی های دیجیتال ۰ تا ۱۲ ولت با ایزولاسیون نوری و تقویت جریان
- ورودی سه‌فاز با تشخیص گذر از صفر و ایزولاسیون نوری
- ولتاژ ورودی ۰ تا ۴۰۰V با ایزولاسیون گالوانیک
- جریان ورودی ۰ تا ۱۰A با ایزولاسیون گالوانیک

مشخصات نرم افزاری:

- پایش شکل موج‌های ولتاژ و جریان مدارهای الکترونیک صنعتی بدون نیاز به اسکپ و به وسیله ماژول مانیتورینگ و کنترل مبدل‌های توان
- تولید پالس های فرمان برای انواع مبدل های الکترونیک صنعتی شامل: یکسوسازهای تریستوری تک‌فاز نیم موج و تمام موج، یکسوسازهای تریستوری سه‌فاز سه‌پالسه و شش پالسه، برشگرهای AC تک‌فاز و سه‌فاز، اینورتر تک‌فاز و سه‌فاز، منابع تغذیه سوییچینگ غیر ایزوله چون باک، بوست، باک-بوست
- تنظیم نرم‌افزاری و ساده انواع تکنیک‌های تولید پالس فرمان
- تولید زوایای آتش مدارهای تریستوری با امکان سنکرون‌سازی
- نمایش مقادیر متوسط و موثر ولتاژ و جریان و همچنین توان