



دانشگاه زنجان

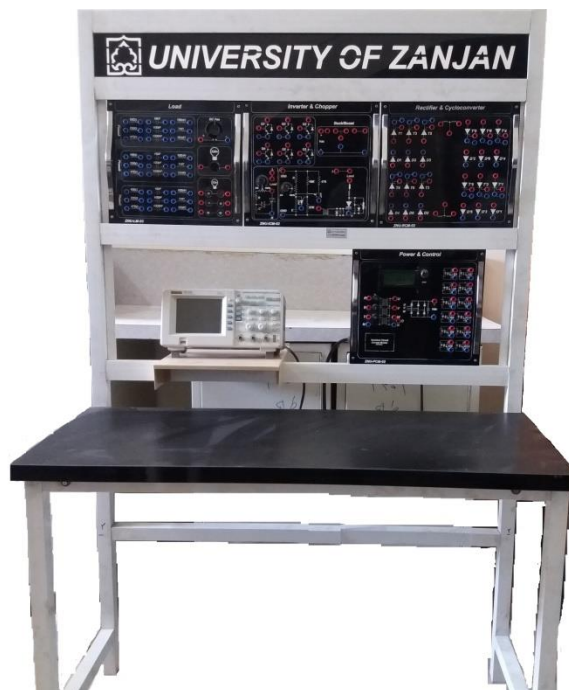
دانشکده مهندسی

گروه برق

# دستور کار آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

(ویرایش اول - پاییز ۹۷)

(در حال تکمیل)



نگارنده

دکتر عباس غایبلو

## مقدمه

دستورکار حاضر جهت استفاده در آزمایشگاه الکترونیک صنعتی نگارش شده است. این آزمایشات با محصول آموزشی دانشگاه زنجان برای آزمایشگاه الکترونیک صنعتی که ویرایش اولیه آن در قالب دو پایان‌نامه کارشناسی طراحی شده است، اجرا می‌شود. در نگارش این دستورکار سعی شده است، جنبه‌های مفهومی و عملی درس الکترونیک صنعتی در آزمایشات مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر اینها به جنبه‌های تئوری و شبیه‌سازی توجه بسیار ویژه‌ای شده است. هر آزمایش از سه بخش مجزای تئوری، شبیه‌سازی و عملی تشکیل شده است که بخش‌های تئوری و شبیه‌سازی به صورت پیش‌گزارش تحویل گرفته می‌شود و نتایج بخش عملی در همان جلسه تحویل گرفته می‌شود. توجه ویژه به جنبه‌های تئوری و شبیه‌سازی علاوه بر اینکه آمادگی کافی قبل از انجام آزمایش را فراهم می‌آورد، محیط انجام آزمایشات و انتظارات را از قالب تکنسینی به مهندسی سوق می‌دهد زیرا سه مرحله یک کار مهندسی که تحلیل، شبیه‌سازی و آزمایش عملی است، اجرا می‌شود و از روال مرسوم آزمایشگاه‌ها که بدون آمادگی اولیه آزمایشات متعدد انجام می‌شود و توجیه نتایج عملی به جای تایید نتایج تحلیلی صورت می‌پذیرد، فاصله می‌گیرد. تعداد آزمایشات برای انجام در یازده جلسه طراحی شده است و با سیستم‌های موجود مطابقت دارد. در پایان از اساتید گرانقدر و دانشجویان عزیز درخواست می‌شود که هر گونه اشکالات و ایرادات موجود و یا پیشنهادات سازنده خود را به نگارنده منتقل نمایند.

## فهرست آزمایشات

آزمایش صفر: آشنایی با مجموعه آموزشی، قطعات و نحوه انجام آزمایشات

آزمایش اول: یکسوسازهای دیودی تک فاز

آزمایش دوم: یکسوسازهای دیودی سه فاز

آزمایش سوم: یکسوسازهای تریستوری تک فاز - بخش ۱

آزمایش چهارم: یکسوسازهای تریستوری تکفاز - بخش ۲

آزمایش پنجم: یکسوسازهای تریستوری سه فاز

آزمایش ششم: چاپرها

آزمایش هفتم: رگولاتورهای باک، بوست و باک-بوست

آزمایش هشتم: اینورترهای تک فاز

آزمایش نهم: اینورتر سه فاز

آزمایش دهم: کنترل کننده‌های ولتاژ  $AC$

آزمایش یازدهم: دایمر، مدارهای آتش، درایو و حفاظت

**نکات کلی که باید در این آزمایشگاه رعایت کرد:**

- گزارش کار آزمایش صفر در همان جلسه اول نوشته شده و تحویل داده می‌شود و گزارش کار آزمایش ۱۱ در جلسه امتحان تحویل داده می‌شود.
- در تمامی آزمایشات ۱-۱۰ بخش تئوری و شبیه‌سازی به صورت پیش‌گزارش (قبل از انجام بخش عملی) آماده شده و نتایج بخش عملی در همان جلسه در گزارش کار مذکور وارد شده و تحویل داده می‌شود.
- در تمامی آزمایشات نتایج عددی حاصل از بخش تئوری، شبیه‌سازی و عملی باید در یک جدول واحد آورده شده و مقایسه شوند و علل اختلاف تحلیل مهندسی شود.
- تنها در صورت قطع بودن برق مجموعه آموزشی اقدام به سیم‌کشی و یا تغییر آن نمائید.
- رعایت نظم و کار گروهی از نکات مهمی است که باید رعایت شود.
- ولتاژ منبع AC در اکثر آزمایشات جهت رعایت اصول ایمنی ۲۴ ولت است ولی در برخی آزمایشات مانند دیمر ولتاژ منبع ۲۲۰ ولت است. در انجام این آزمایشات احتیاط باید به طور کامل رعایت گردد.
- پس از انجام آزمایشات میز را مرتب و تمامی وسایل را در جای خود قرار دهید.

## آزمایش صفر: آشنایی با مجموعه آموزشی، قطعات و نحوه انجام آزمایشات

### آشنایی با مجموعه آموزشی:

مجموعه آموزشی حاضر دارای چهار ماژول است که عملکرد کلی آنها به قرار زیر است:

#### ۱- ماژول قدرت و کنترل: این ماژول دارای دو قسمت به صورت زیر است:

- زیر سیستم قدرت: این زیر سیستم شامل سه ترانس کاهنده ولتاژ (۲۲۰ به ۲۴ ولت) جهت کاهش ولتاژ برای ایجاد ایمنی در آزمایشات، پل دیودی سه فاز و خازن جهت تولید ولتاژ  $DC$  مورد نیاز در آزمایشات چاپر و اینورتر و محل نصب کلید حفاظت از جان سه فاز (به صورت سفارشی) جهت افزایش ایمنی می باشد.
- زیر سیستم کنترل: این زیر سیستم دارای برد اصلی کنترل (شامل میکروکنترلر  $ARM$  و  $FPGA$  جهت ارتباط با کاربر و تولید پالس های فرمان مورد نیاز تمامی مبدل ها)، برد درایور (شامل ۸ مدار درایو مبتنی بر اپتوکوپلر  $6N137$  و درایور  $7667$  با تغذیه ایزوله برای هر مدار با قابلیت افزایش به ۱۲ عدد)، برد حفاظت و تشخیص صفر شبکه که شامل سنسورهای جریان و مقایسه گرهای آنالوگ برای صفر کردن سخت افزاری پالس های خروجی در صورت عبور جریان فازها از مقادیر حداکثر تعیین شده و مدار تشخیص صفر شبکه جهت سنکرون کردن پالس های خروجی با ولتاژ شبکه است و ولوم پالسی و  $LCD$  جهت ارتباط با کاربر است.

۲- **ماژول بار:** این ماژول دارای سه بخش مشابه است که هر کدام دارای سه مقاومت، سه سلف و سه خازن با مقادیر مختلف می باشد و با سری و موازی کردن آنها می توان بارهای مختلف تک فاز و سه فاز را ایجاد کرد. همچنین این ماژول دارای بار موتور  $DC$  فن، لامپ ۲۲۰ ولت و سه جفت لامپ ۱۲ ولت می باشد.

۳- **ماژول یکسوساز:** این ماژول دارای ۱۲ دیود و ۱۲ ترستور است که قابلیت پیاده سازی تمامی یکسوسازهای تک فاز و سه فاز و دوبل را فراهم می آورد.

۴- **ماژول اینورتر و چاپر:** این ماژول دارای ۶ ماسفت جهت پیاده سازی انواع اینورترها و چاپرها، مدار رگولاتورها باک، بوست و باک-بوست، مدار دیمر، مدار تولید پالس با  $UJT$  و  $PUT$  و مدار آموزش درایو گیتو حفاظت ترستور است.

### آشنایی با قطعات:

برای تمامی قطعات موجود در ماژول ها، جدول زیر را تکمیل کنید.

شماره قطعه	نام قطعه	شرح کلی	نام بسته بندی	شکل واقعی و نام پایه ها	قیمت و فروشگاه

**6N137, ICL7667, IRF840, 2n2646, 2n6027, BT136, DB3, BT151, ACS712, LF33, LF15, AT91SAM7S128, EPIC3000T144**

### یادآوری کار با اسیلوسکوپ:

کار با اسیلوسکوپ را تمرین کنید و ولتاژهای تک فاز و سه فاز تغذیه را بر روی آن نمایش دهید.

## آزمایش اول: یکسوسازهای دیودی تک فاز

### تئوری:

#### الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- شرط روشن شدن دیود و دو شرط خاموش شدن آن را بیان کنید.
- ۲- مشخصه استاتیکی یک دیود واقعی را رسم کنید و جریان نشتی، ولتاژ روشن شدن، ولتاژ شکست معکوس و شکل واقعی را برای دیود  $BYV32E$  از دیتاشیت گزارش کنید.
- ۳- پدیده بازیافت معکوس و عوارض آن را در یک دیود توضیح دهید و مقادیر مربوط به زمان و بار بازیافت معکوس را از دیتاشیت برای دیود مذکور گزارش کنید.
- ۴-  $PIV$ ، تعداد پالس در یک دوره تناوب و ربع‌های کاری را برای یک مبدل تعریف و مبدل‌های بخش ب را از لحاظ این پارامترها مقایسه کنید.

#### ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدل و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - یکسوساز نیم موج دیودی تک فاز با بار مقاومتی
  - یکسوساز نیم موج دیودی تک فاز با بار  $RL$
  - یکسوساز تمام موج دیودی تک فاز با ترانس سر وسط با بار مقاومتی
  - یکسوساز تمام موج دیودی تک فاز پل با بار  $RL$
- ۲- برای مبدل‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$R=220\Omega, L=1mH$$

#### شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

#### عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آنرا در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش دوم: یکسوسازهای دیودی سه فاز

تئوری:

الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- مبدل‌های بخش ب را از لحاظ  $PIV$ ، تعداد پالس در یک دوره تناوب و ربع‌های کاری مقایسه کنید.
- ۲- برای داشتن ریپل مشخص در ولتاژ خروجی یکسوساز نیم موج و تمام موج با بار  $RC$  موازی، مقدار ظرفیت خازنی مورد نیاز در دو مبدل نیم موج و تمام موج چه نسبتی دارد؟ چرا؟
- ۳- در مورد علت انتخاب سیستم سه‌فاز برای شبکه قدرت و مزایای آن تحقیق کنید.
- ۴- سرعت و جریان یک موتور  $DC$  تغذیه شده با یک یکسوساز سه فاز نیم موج با مقادیر زیر را محاسبه کنید.  
 $V_s=380, K_a \times \phi=1, R_a=10, T_L=10 \text{ N.m.}$
- ۵- توان حرارتی یک هیتر تغذیه شده با یک یکسوساز سه فاز پل با مقادیر زیر را محاسبه کنید.  
 $V_s=380, R=10.$

ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدل و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - یکسوساز نیم موج دیودی سه فاز با بار مقاومتی
  - یکسوساز نیم موج دیودی سه فاز با بار  $RC$  موازی
  - یکسوساز تمام موج دیودی سه فاز پل با بار مقاومتی
  - یکسوساز تمام موج دیودی سه فاز پل با بار  $RL$
- ۲- برای مبدل‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$R=100\Omega, L=1\text{mH}, C=100\mu\text{F}.$$

شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش سوم: یکسوسازهای تریستوری تک فاز-بخش ۱

## تئوری:

## الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- دو شرط روشن شدن یک تریستور و دو شرط خاموش شدن آن را بیان کنید.
- ۲- مشخصه استاتیکی یک تریستور واقعی را رسم کنید و جریان نشتی حالت خاموش و روشن، ولتاژ حالت روشن، ولتاژ شکست معکوس و مستقیم، جریان نگهدارنده و تثبیت کننده و جریان تحریک مورد نیاز و شکل واقعی را برای تریستور *BT151* از دیتاشیت گزارش کنید.
- ۳- علت لچ شدن تریستور (عدم نیاز به تداوم پالس گیت برای روشن ماندن) را در سطح نیمه هادی توضیح دهید.
- ۴- چرا یک تریستور (سوئیچ قدرت)  $\frac{di}{dt}$  و  $\frac{dv}{dt}$  محدود دارد؟
- ۵- سنکرون بودن پالس ها با ولتاژ شبکه چه لزومی دارد؟ یک مدار برای این کار پیشنهاد کنید.
- ۶- مبدل های بخش ب را از لحاظ *PIV*، تعداد پالس در یک دوره تناوب و ربع های کاری مقایسه کنید.

## ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدل، پالس های آتش و شکل موج های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - یکسوساز نیم موج تریستوری تک فاز با بار مقاومتی
  - یکسوساز نیم موج تریستوری تک فاز با بار *RL*
  - یکسوساز تمام موج تریستوری تک فاز با ترانس سر وسط با بار مقاومتی
- ۲- برای مبدل های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$R=100\Omega, L=100\mu H, \alpha=60^\circ.$$

## شبیه سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

## عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.



## آزمایش چهارم: یکسوسازهای تریستوری تک فاز - بخش ۲

### تئوری:

#### الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- تعریف حالت عملکردی جریان پیوسته و جریان ناپیوسته را در مبدل‌های الکترونیک قدرت بیان کنید و بگویید در یکسوسازهای تریستوری چه شرایط باعث ناپیوستگی جریان می‌شود.
- ۲- علت اعمال پالس‌های سوزنی به تریستور به جای پالس‌های با عرض زیاد را توضیح دهید.
- ۳- مبدل نیمه تریستوری چه مزایا و معایبی نسبت به تمام تریستوری دارد؟
- ۴- چهار حالت عملکردی یک سیستم حرکتی، موتوری مستقیم، موتوری معکوس، ترمز ژنراتوری مستقیم و ترمز ژنراتوری معکوس است. یک موتور تغذیه شده با مبدل تمام تریستوری تک فاز در کدام حالات قابل کنترل است.
- ۵- مبدل‌های بخش ب را از لحاظ  $PIV$ ، تعداد پالس در یک دوره تناوب و ربع‌های کاری مقایسه کنید.

#### ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدل، پالس‌های آتش و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - یکسوساز تمام تریستوری تک فاز پل با بار  $RL$
  - یکسوساز نیمه تریستوری تک فاز پل با بار  $RL$
- ۲- برای مبدل‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$R=100\Omega, L=10mH, \alpha=60^\circ.$$

#### شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید. همچنین زاویه آتش هدایت بحرانی را برای مبدل نیمه تریستوری به دست آورید.

#### عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش پنجم: یکسوسازهای تریستوری سه فاز

## تئوری:

## الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱-  $PIV$ ، تعداد پالس در یک دوره تناوب و ربع‌های کاری را برای مبدل‌های بخش ب بیان کنید.
- ۲- زاویه آتش برای مبدل نیم‌موج و تمام‌موج از چه زمانی باید در نظر گرفته شود؟ چرا؟
- ۳- هر تریستور در مبدل نیم‌موج و تمام‌موج نیمه تریستوری چقدر از پریود روشن است؟
- ۴- مبدل‌های نیمه تریستوری در چه کاربردهایی مناسب هستند؟
- ۵- سرعت و جریان یک موتور  $DC$  تغذیه شده با یک یکسوساز سه فاز نیم‌موج با مقادیر زیر را محاسبه کنید.  
 $V_s=380, K_a \times \phi=1, R_a=10, T=10N.m, \alpha=60^\circ$

## ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدل و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - یکسوساز نیم‌موج تریستوری سه فاز با بار مقاومتی
  - یکسوساز تمام‌تریستوری سه فاز با بار مقاومتی
  - یکسوساز نیمه تریستوری سه فاز با بار  $RL$
- ۲- برای مبدل‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$R=100\Omega, L=1mH, \alpha=60^\circ$$

## شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

## عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش ششم: چاپرها

## تئوری:

## الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- تفاوت اساسی چاپرها و رگولاتورها چیست؟
- ۲- دیوتی سائیکل یا سیکل وظیفه در چاپرها به چه مفهومی است و چه ارتباطی به PWM دارد؟
- ۳- عملکرد چاپرهای نوع  $A, B, C, D$  و  $E$  به ترتیب در کدام ربع‌های کاری است؟ چرا؟
- ۴- چه عواملی باعث می‌شود یک چاپر در مد پیوسته کار کند؟
- ۵- در چاپرها و رگولاتورها از چه سوئیچ‌های قدرت استفاده می‌شود؟ چرا؟
- ۶- مقادیر نامی (جریان، ولتاژ، زمانهای روشن و خاموش شدن و ولتاژ گیت) را برای سوئیچ  $IRF840$  از دیتاشیت گزارش کنید.
- ۷- نسبت سیکل وظیفه و جریان یک موتور  $DC$  تغذیه شده با یک چاپر نوع  $A$  با مقادیر زیر را محاسبه کنید.  
 $V_s=60, K_a \times \phi=0.1, R_a=2, T=0.2N.m, \omega=1000 \text{ rpm}$ .

## ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدا و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - چاپر نوع  $A$  با بار  $RL$  و سیکل وظیفه ۳۰ درصد
  - چاپر نوع  $A$  با بار  $RL$  و سیکل وظیفه ۸۰ درصد
  - چاپر نوع  $D$  با بار مقاومتی و سیکل وظیفه ۴۰ درصد
- ۲- برای مبداهای مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$R=100\Omega, L=10mH, f_s=10kHz.$$

## شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید. همچنین سیکل وظیفه مربوط به حالت هدایت بحرانی را برای چاپر نوع  $A$  به دست آورید.

## عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش هفتم: رگولاتورهای باک، بوست و باک-بوست

## تئوری:

## الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- منابع تغذیه سوئیچینگ چه مزایا و معایبی نسبت به منابع تغذیه خطی دارند؟
- ۲- پرکاربردترین منبع تغذیه سوئیچینگ چه نام دارد؟ چرا؟
- ۳- سه سوئیچ پر کاربرد  $BJT$ ،  $MOSFET$  و  $IGBT$  را از لحاظ سرعت، سهولت درایو، جریان نامی، ولتاژ حالت خاموش و مدل حالت روشن مقایسه کنید.
- ۴- درایو یک سوئیچ به چه معناست و شامل چه بخش‌هایی است؟
- ۵- رابطه ولتاژ خروجی را برای مبدل‌های باک، بوست و باک-بوست اثبات کنید.
- ۶- یک رگولاتور کاهنده با مشخصات زیر طراحی کنید.

$$V_s=60, V_o=20, f_s=10kHz, V_{ripple}=0.1, P_{out}=5W.$$

## ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدل و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - رگولاتور باک با نسبت سیکل وظیفه ۳۰ درصد و بار مقاومتی
  - رگولاتور بوست و با نسبت سیکل وظیفه ۳۰ درصد و بار مقاومتی
  - رگولاتور باک-بوست با نسبت سیکل وظیفه ۳۰ درصد و بار مقاومتی
  - رگولاتور باک-بوست با نسبت سیکل وظیفه ۶۰ درصد و بار مقاومتی
- ۲- برای مبدل‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$V_s=60, R=220\Omega, L=10mH, C=100\mu F, f_s=10kHz.$$

## شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

## عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش هشتم: اینورترهای تک فاز

## تئوری:

## الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- برای کنترل سرعت یک ماشین  $AC$  تغییر کدام متغیر الکتریکی باید انجام شود؟
- ۲- روش‌های کنترل ولتاژ موثر در اینورترها را بیان کنید.
- ۳- فرکانس سوئیچینگ یک اینورتر در عمل باید چند برابر فرکانس اصلی باشد؟
- ۴- اصول روش  $SPWM$  و نحوه تولید پالس‌های آن را به روش آنالوگ تشریح کنید.
- ۵- اندیس مدولاسیون در یک اینورتر چیست؟
- ۶- چرا وجود باند مرده بین پالس‌های یک ساق اینورتر منبع ولتاژ ضروری است؟ معمولاً چه مقدار انتخاب می‌شود؟

## ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدا و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - اینورتر تک فاز نیم پل با بار مقاومتی
  - اینورتر تک فاز تمام پل یک پالس با بار  $RL$
  - اینورتر تک فاز تمام پل با مدولاسیون  $PWM$  سینوسی با  $RC$  سری
- ۲- برای مبدا‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$V_s=60, R=100\Omega, L=1mH, C=10\mu F, f_s=10kHz, f=40Hz.$$

## شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

## عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش نهم: اینورترهای سه فاز

## تئوری:

## الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- نحوه تولید پالس‌های روش  $SPWM$  سه فاز را به روش دیجیتال تشریح کنید.
- ۲- تفاوت  $VSI$  و  $CSI$  چیست؟
- ۳- چند روش  $PWM$  را نام ببرید.
- ۴- در اینورتر سه فاز در هر لحظه چند سوئیچ روشن است؟
- ۵- علت استفاده از دیود موازی-معکوس در سوئیچ‌های اینورتر چیست؟  $IGBT$  با  $MOSFET$  چه تفاوت ساختاری از این دید دارند؟
- ۶- تعداد مدارات ایزولاسیون را برای اینورتر سه فاز چقدر است؟ چرا؟

## ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدل و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - اینورتر سه فاز شش پالسه با بار مقاومتی ستاره
  - اینورتر تک فاز با مدولاسیون  $PWM$  سینوسی با بار  $RC$  سری مثلث
- ۲- برای مبدل‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$V_s=60, R=100\Omega, L=1mH, C=10\mu F, f_s=10kHz, f=40Hz.$$

## شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

## عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

## آزمایش دهم: کنترل کننده‌های ولتاژ AC

تئوری:

الف) سوالات جواب کوتاه:

- ۱- کنترل کننده‌های ولتاژ AC چه تفاوت اساسی با سیکلکانورترها دارند؟
- ۲- تبدیل ولتاژ AC تک مرحله‌ای چه مزیتی به تبدیل ولتاژ دو مرحله‌ای دارد و در چه سطوح توانی مرسوم است؟
- ۳- ساختارهای سوئیچ‌های دو طرفه را رسم کنید.

ب): آزمایشات:

- ۱- شکل مبدا و شکل موج‌های ولتاژ و جریان همه المانها را در آزمایشات زیر رسم کنید.
  - کنترل کننده ولتاژ AC تک فاز نیم موج با بار مقاومتی
  - کنترل کننده ولتاژ AC تک فاز تمام موج با بار  $RL$
  - کنترل کننده ولتاژ AC سه فاز تمام موج با بار مقاومتی
- ۲- برای مبدا‌های مذکور مقادیر ولتاژ و جریان موثر و متوسط خروجی را برای مقادیر زیر محاسبه و در جدول مقایسه قرار دهید.

$$V_s=24, R=470\Omega, L=10mH.$$

شبیه‌سازی:

تمامی آزمایشات بخش تئوری را شبیه‌سازی و تنها مقادیر عددی خواسته شده را از شبیه‌سازی استخراج و در جدول مقایسه قرار دهید.

عملی:

آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن را در یک جدول با نتایج تئوری و شبیه‌سازی مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.