

شرکت دانش بنیان

# تجهیزات ابزار آزما

نوآوری و فناوری برای توسعه



## دستور کار جامع ماشین های الکتریکی

دستور کار ویژه دانشجو



## آزمایشگاه های الکترونیک قدرت و ماشین الکتریکی

### Power Electronics and Electrical Machines Labs



## آزمایشگاه های سیستم های قدرت و انرژی های نو

### Power Systems and Renewable Energies Lab



#### آزمایشگاه ماشین های الکتریکی

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

#### آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

|  |   |
|--|---|
| آموزنده الکترونیک صنعتی تکفیزی (IE-101)              | آموزنده الکترونیک صنعتی پیشرفته (IE-102)                          |
| آموزنده الکترونیک صنعتی کنترل پیشرفته موتور (IE-103) | آموزنده الکترونیک صنعتی یکسو سازها و برشگرها (IE-104)             |
| آموزنده الکترونیک صنعتی مبدل های DC به DC (IE-105)   | آموزنده الکترونیک صنعتی اینورتر و کنترلر V/F (IE-106)             |
| آموزنده الکترونیک صنعتی سیکلو کانتورتر (IE-107)      | آموزنده الکترونیک صنعتی با قابلیت پایش و کنترل نرم افزار (IE-110) |
| ماژول مایکروکنترلر و کنترل مبدل های توان (IE-67)     |   |

#### آزمایشگاه بررسی سیستم های قدرت

|   |   |
|---|---|
| شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت ۱ (PSA-100)               | شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت پایه (PSA-101)      |
| شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت تکفیزی (PSA-102)          | شبیه ساز بررسی سیستم های قدرت پیشرفته (PSA-103)   |
| شبیه ساز جامع بررسی سیستم های قدرت (PSA-104)            | شبیه ساز تحلیل سیستم های انرژی (PSA-105)          |
| 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 های قدرت (RP-105) | ماژول مایکروکنترلر و کنترل سیستم های قدرت (RE-61) |

#### آزمایشگاه حفاظت و رله

|  |
|--|
| آموزنده رله و حفاظت پایه (RP-100)                    |
| آموزنده رله و حفاظت تکفیزی (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 مایکروکنترلر و کنترل سیستم های قدرت (RE-61)    |

#### آزمایشگاه الکترونیک قدرت

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

#### آزمایشگاه انرژی های نو

|   |                                      |  |
|---|--------------------------------------|--|
| آموزنده تولید برق خورشیدی (فتوولتایک) (RE-100)    | شبیه ساز تولید برق باد (RE-101)      | شبیه ساز تولید برق باد پیشرفته (RE-102)                    |
| شبیه ساز تولید برق باد و خورشیدی (RE-103)         | آموزنده تولید برق بیل سوختی (RE-104) | آموزنده تولید برق هایپرید (باد-خورشیدی-بیل سوختی) (RE-105) |
| ماژول مایکروکنترلر و کنترل سیستم های قدرت (RE-61) |                                      |  |

#### آزمایشگاه ریز موج و آنتن

|                                 |
|---------------------------------|
| آموزنده ریز موج و آنتن (TC-104) |
|---------------------------------|

#### آزمایشگاه پردازش سیگنال های دیجیتال

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

#### آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه گیری

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

#### آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه گیری

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

#### آزمایشگاه سیستم های دیجیتال

|                                   |                                      |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| آموزنده میکرو کنترلر ARM (DL-104) | آموزنده میکرو کنترلر PIC (DL-105)    | آموزنده سیستم های دیجیتال ۲ (DL-106) |
| آموزنده مدار منطقی (DL-101)       | آموزنده سیستم های دیجیتال ۱ (DL-102) | آموزنده میکرو کنترلر AVR (DL-103)    |

#### آزمایشگاه الکترونیک

|                                  |   |                                      |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| میز آزمایشگاه الکترونیک (CI-102) | آموزنده جامع مدارهای الکترونیک (AE-106) | آموزنده مدارهای الکترونیک ۱ (AE-102) |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|

#### آزمایشگاه الکترونیک آنالوگ

|                                      |
|--------------------------------------|
| آموزنده مدارهای الکترونیک (AE-105)   |
| آموزنده مدارهای الکترونیک ۳ (AE-104) |
| آموزنده مدارهای الکترونیک ۲ (AE-103) |

#### آزمایشگاه کارگاه الکترونیک

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

#### آزمایشگاه مدارهای پالس و دیجیتال

|                                     |
|-------------------------------------|
| آموزنده مدارهای تکنیک پالس (AE-101) |
| آموزنده مدارهای مجتمع (AE-100)      |

## آزمایشگاه های الکترونیک و مخابرات

### Electronics and Telecommunications Labs



اتصال به نرم افزار  
Matlab/Simulink

دستور کار مدرس

تعداد کاربر

اتصال به نرم افزار  
Labview

اتصال به نرم افزار

دستور کار دانشجو

ازمایشگاه های اتوماسیون صنعتی و ابزار دقیق

Industrial Automation and Instrumentation Labs



ازمایشگاه های سیستم های کنترل

Control Systems Labs



# دستور کار آزمایشگاه ماشین الکتریکی

## پیشگفتار:

در این دستور کار مطالب اساسی دروس ماشین الکتریکی در قالب ۲۴ آزمایش ارائه گردیده 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 می باشد. این دستور کار طوری طرح شده است تا دانشجو حین انجام مراحل مختلف آزمایش بخش های مختلف آن را تکمیل نماید و با تحلیل نتایج حاصل به درک عمیق تری از مفاهیم ماشین های الکتریکی 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.

پیشنهاد می شود درس آزمایشگاه با یک یا چند بازدید از مرکز کاربردی مرتبط با مطالب درس شروع شود.

هر دانشجو قبل از حضور در کلاس می بایست 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 آزمایش ها تأثیر قابل ملاحظه ای در درک عملکرد ماشین ها دارد. مسلماً گزارش حاصل همراه با نقص و کاستی هایی است که با پیشنهادهای شما مدرسین و دانشجویان عزیز در نسخه های بعدی برطرف خواهد شد.

## نکات مهم:

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <p>در هنگام انجام سیم‌بندی و یا قبل از هرگونه تغییری در مدار، دقت کنید که برق دستگاه قطع باشد.</p>  | <p>هشدار ۱ (اقدامات احتیاطی)</p>                   |    |
| <p>برای تعمیر تجهیزات از افراد واجد شرایط و با هماهنگی شرکت سازنده استفاده نمایید.</p>  | <p>هشدار ۲ (خطر آسیب به دستگاه و شوک الکتریکی)</p> |    |
| <p>هیچ‌گونه اصلاح و یا تغییری در وضعیت فعلی تجهیزات مجاز نیست.</p>  | <p>هشدار ۳ (خطر آسیب به دستگاه و شوک الکتریکی)</p> |    |
| <p>به محدوده مجاز ورودی و خروجی‌های تجهیزات توجه شود و از اعمال ورودی خارج از محدوده مجاز به تجهیز خودداری شود.</p>   | <p>هشدار ۴ (خطر آسیب به تجهیزات)</p>               |    |
| <p>به منظور حفظ جان کاربران، آموزنده‌ها به سیم‌ارت مجهز می‌باشند لذا از صحت اتصال سیم‌ارت ساختمان محل آزمایشگاه، مطمئن باشید</p>  | <p>هشدار ۵ (شوک الکتریکی)</p>                      |   |
| <p>اتصالات را به طور کامل بررسی کنید تا سیم‌ها اتصال کوتاه و یا رها شده نباشند.<br/>هر اتصال‌هایی که ممکن است دو سطح ولتاژ مختلف را به هم اتصال کوتاه کند؛ بررسی گردد.<br/>پیش از وصل کردن برق دستگاه، سیم‌بندی با حضور مدرس بررسی گردد.</p>  | <p>هشدار ۶ (اقدامات احتیاطی)</p>                   |  |
| <p>در هنگام کار با اسیلوسکوپ متوجه باشید که زمین همه پروب‌ها به هم متصل هستند.<br/>هنگامی که چند اندازه‌گیری مختلف انجام می‌دهید از ایزوله بودن پروب‌ها اطمینان حاصل نمایید.<br/>دقت کنید که مد اندازه‌گیری مولتی‌متر را به درستی انتخاب کرده باشید. هرگز از مد جریان برای سایر اندازه‌گیری‌ها استفاده نکنید.</p> | <p>هشدار ۷ (اقدامات احتیاطی)</p>                   |  |
| <p>در زمان کار کردن با مدار تنها از منابع تغذیه ایزوله استفاده کنید.</p>  | <p>هشدار ۸ (اقدامات احتیاطی)</p>                   |  |

## ادامه نکات مهم:

- 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

هشدار ۹ (خطرات مربوط  
به مدارات الکترونیک  
قدرت)



- در هنگام وصل کردن کلید مدار، ولتاژ یا توان کمی به مدار جهت تست 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.

هشدار ۱۰ (اقدامات  
احتیاطی)



- در هنگام خاموش کردن مدار؛ ابتدا ولتاژ یا توان تغذیه به طور آهسته کاهش یابد و سپس همه منابع تغذیه خاموش شود و اتصالات آنها قطع گردد.
- دقت شوید بار به خروجی مدار متصل باقی بماند تا به طور کامل انرژی‌های ذخیره در سلف و خازن‌ها تخلیه شود.

هشدار ۱۰ (اقدامات  
احتیاطی)



- در هنگام ایجاد تغییرات در مدار، ابتدا مدار مطابق موارد قسمت قبل خاموش شود. سپس تغییرات در اجزای مورد نظر ایجاد شود و دوباره مدار را بر اساس موارد احتیاطی ذکر شده به تغذیه متصل نمائید.

هشدار ۱۰ (اقدامات  
احتیاطی)



- کلیه حقوق این اثر متعلق به شرکت تجهیزات ابزار آزما خاورمیانه می‌باشد. 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 آشنایی با ساختار آزمایشگاه و تجهیزات ۱            | ۱۳ |
| ۲ آشنایی با ساختار آزمایشگاه و تجهیزات ۲            | ۱۵ |
| ۳ موتور جریان مستقیم تحریک مستقل                    | ۲۱ |
| ۴ ژنراتورهای جریان مستقیم تحریک مستقل               | ۲۷ |
| ۵ موتور سری و موتور یونیورسال                       | ۳۱ |
| ۶ ترانسفورماتور تکفاز ۱                             | ۳۵ |
| ۷ ترانسفورماتور تکفاز ۲                             | ۴۰ |
| ۸ موتور القایی سه فاز ۱                             | ۴۳ |
| ۹ موتور القایی سه فاز ۲                             | ۴۷ |
| ۱۰ ترانس سه فاز ۱                                   | ۵۰ |
| ۱۱ ترانس سه فاز ۲                                   | ۵۳ |
| ۱۲ موتور القایی روتور سیم پیچی شده                  | ۵۶ |
| ۱۳ راه‌اندازی و کنترل دور موتور القایی سه فاز ۱     | ۵۹ |
| ۱۴ راه‌اندازی و کنترل دور موتور القایی سه فاز ۲     | ۶۴ |
| ۱۵ مؤلفه‌های کیفیت توان و تصحیح ضریب قدرت           | ۶۷ |
| ۱۶ تخمین متغیرهای حالت ماشین در حالت دائمی          | ۶۹ |
| ۱۷ موتور سنکرون                                     | ۷۳ |
| ۱۸ ژنراتور سنکرون ۱                                 | ۷۷ |
| ۱۹ ژنراتور سنکرون ۲                                 | ۸۰ |
| ۲۰ موتور کمپوند                                     | ۸۲ |
| ۲۱ پروژه: دینامیک ماشین و شبیه‌سازی آن              | ۸۴ |
| ۲۲ ژنراتورهای جریان مستقیم شنت                      | ۸۵ |
| ۲۳ ژنراتورهای جریان مستقیم کمپوند                   | ۸۸ |
| ۲۴ معرفی واحد مانیتورینگ و کنترل ماشین‌های الکتریکی | ۹۰ |

۲۵ پیوست ..... ۹۱

# جدول راه‌نما

| MC-110 | MC-109 | MC-108 | MC-107 | MC-106 | MC-105 | MC-104 | MC-103 | MC-102 | MC-101 | MC-100 | شماره و عنوان آزمایش                             |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | ۱- آشنایی با ساختار آزمایشگاه و تجهیزات ۱        |
| *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | *      | ۲- آشنایی با ساختار آزمایشگاه و تجهیزات ۲        |
| *      |        | *      |        |        | *      |        |        | *      |        |        | ۳- موتور جریان مستقیم تحریک مستقل                |
| *      |        | *      |        |        | *      |        |        | *      |        |        | ۴- ژنراتورهای جریان مستقیم تحریک مستقل           |
| *      |        | *      |        |        | *      |        |        | *      |        |        | ۵- موتور سری و موتور یونیورسال                   |
| *      |        | *      |        | *      | *      |        |        |        | *      |        | ۶- ترانسفورماتور تکفاز ۱                         |
| *      |        | *      |        | *      | *      |        |        |        | *      |        | ۷- ترانسفورماتور تکفاز ۲                         |
| *      | *      | *      |        | *      | *      | *      | *      |        |        | *      | ۸- موتور القایی سه فاز ۱                         |
| *      | *      | *      |        | *      | *      |        |        |        |        | *      | ۹- موتور القایی سه فاز ۲                         |
| *      | *      | *      |        | *      | *      |        |        |        | *      |        | ۱۰- ترانس سه فاز ۱                               |
| *      | *      | *      |        |        | *      |        |        |        | *      |        | ۱۱- ترانس سه فاز ۲                               |
| *      | *      | *      |        | *      | *      | *      | *      |        |        |        | ۱۲- موتور القایی روتور سیم پیچی شده              |
| *      | *      | *      |        | *      | *      | *      | *      |        |        | *      | ۱۳- راه‌اندازی و کنترل دور موتور القایی سه فاز ۱ |
| *      |        |        |        |        |        | *      |        |        |        |        | ۱۴- راه‌اندازی و کنترل دور موتور القایی سه فاز ۲ |
| *      | *      | *      |        |        | *      | *      | *      | *      | *      | *      | ۱۵- مؤلفه‌های کیفیت توان و تصحیح ضریب قدرت       |
| *      |        |        |        |        | *      |        |        | *      |        |        | ۱۶- تخمین متغیرهای حالت ماشین در حالت دائمی      |
| *      | *      | *      |        | *      | *      |        | *      |        |        |        | ۱۷- موتور سنکرون                                 |
| *      | *      | *      |        | *      | *      |        | *      |        |        |        | ۱۸- ژنراتور سنکرون ۱                             |
| *      | *      | *      |        | *      | *      |        | *      |        |        |        | ۱۹- ژنراتور سنکرون ۲                             |

|   |  |   |  |  |   |  |  |   |  |  |  |
|---|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|--|
| * |  | * |  |  | * |  |  | * |  |  | ۲۰- موتور کمپوند                               |
| * |  |   |  |  | * |  |  |   |  |  | ۲۱- پروژه: دینامیک ماشین و شبیه‌سازی آن        |
| * |  | * |  |  | * |  |  | * |  |  | ۲۲- ژنراتورهای جریان مستقیم شنت                |
| * |  | * |  |  | * |  |  | * |  |  | ۲۳- ژنراتورهای جریان مستقیم کمپوند             |
| * |  |   |  |  |   |  |  |   |  |  | ۲۴- معرفی واحد مانتورینگ و کنترل مبدل‌های توان |

جدول مشخصات ماژول‌های موجود در هر دستگاه آموخته ماشین‌های الکتریکی:

|        | MC-02 | MC-10 | MC-11 | MC-12 | MC-13 | MC-14 | MC-20 | MC-21 | MC-30 | MC-31 | MC-32 | MC-33 | MC-35 | MC-36 | MC-37 | MC-38 | MC-39 | MC-40 | MC-41 | MC-42 | MC-50 | MC-60 | MC-61 | MC-80 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MC-100 | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| MC-101 | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| MC-102 | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| MC-103 | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| MC-104 | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| MC-105 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     |
| MC-106 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| MC-107 | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| MC-108 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| MC-109 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| MC-110 | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |

|        | M-80 | M-82 | M-83 | M-84 | M-85 | M-86 | M-90 | M-91 | M-92 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| MC-100 | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| MC-102 | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| MC-103 | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| MC-104 | 0    | 0    | 0    | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| MC-105 | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    |
| MC-106 | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| MC-107 | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    |
| MC-108 | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    |
| MC-109 | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| MC-110 | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    |

## ۱ آشنایی با ساختار آزمایشگاه و تجهیزات ۱

هدف: آشنایی با ساختار آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی و تجهیزات مربوطه

### ۱-۱ مقدمه

آموزنده‌های مجموعه ماشین‌های الکتریکی ساخت شرکت تجهیزات ابزار آزما خاورمیانه جهت آموزش عملی مفاهیم اساسی ماشین‌های الکتریکی و ترانسفورماتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند. آزمایشگاه‌های ماشین‌های الکتریکی یک، دو و مخصوص قابل ارائه توسط این محصولات می‌باشند.

منابع تغذیه متنوع و متغیر، بارهای الکتریکی، بار مکانیکی و وسایل اندازه‌گیری معمول و نرم‌افزاری بر روی این آموزنده‌ها تعبیه شده‌اند. آزمایش‌های (۱) ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم شامل تحریک مستقل، شنت، سری و کمپوند، (۲) ماشین‌های الکتریکی القایی سه‌فاز قفس سنجابی و روتور سیم پیچی شده، (۳) ماشین‌های الکتریکی سنکرون سه‌فاز با تحریک جریان مستقیم، (۴) ترانس‌های سه‌فاز و تک‌فاز و (۵) ماشین‌های خاص شامل آسنکرون تک‌فاز، سنکرون با آهنربای دائم و ... در قالب دستورالعمل‌های طرح شده در دستور کار قابل انجام و تحلیل می‌باشند.

### ۲-۱ آزمایش و تحلیل

در این آزمایش معرفی و آشنایی با تجهیزات آزمایشگاه و ساختار کلی انجام آزمایش‌ها فراهم می‌گردد. که در ۴ بخش شامل: ۱- ماشین‌های الکتریکی، ۲- منابع تغذیه توان، ۳- بارهای الکتریکی و مکانیکی و ۴- تجهیزات اندازه‌گیری و مانیتورینگ کامپیوتری صورت می‌گیرد. به جز بخش شماره ۴ که به تفصیل در آزمایش شماره ۲ بررسی می‌گردد، مابقی بخش‌ها در این آزمایش معرفی می‌گردند.

#### ۱-۲-۱ ماشین‌های الکتریکی

تجهیزات این بخش شامل: ماشین‌های الکتریکی AC چند کاره، ماشین‌های الکتریکی DC چند کاره، ماشین‌های الکتریکی القایی و ترانسفورماتور سه فاز می‌باشد.

برای موتورهای AC و DC، یک ماشین القایی قفس سنجابی در مد ترمزی با موتورهای کوپل شده و جهت اعمال بار مکانیکی استفاده می‌گردد. همچنین برای ژنراتورهای AC و DC، یک ماشین القایی قفس سنجابی در مد موتوری با آنها کوپل شده و به عنوان گرداننده استفاده می‌گردد. ماشین‌های الکتریکی چند کاره AC با تغییر سربندی ماشین قابل تبدیل به ماشین‌های الکتریکی: القایی روتور قفسی، القایی روتور سیم پیچی و سنکرون می‌باشد.

ترانس سه فاز موجود در آزمایشگاه دارای مشخصاتی مطابق شکل زیر می‌باشد. هر سیم پیچ اولیه ۳۸۰ ولت بوده و دو سیم پیچ ثانویه مستقل از هم ۱۹۰ ولت می‌باشند. توان کلی ترانس نیز ۵۰۰ وات می‌باشد.

#### ۲-۲-۱ منابع تغذیه توان

این مجموعه آزمایشگاهی دارای سه نوع منبع تغذیه با توان‌های متفاوت می‌باشد که عبارتند از: اتوترانس سه فاز با ولتاژ AC متغیر، منبع تغذیه DC متغیر و اینورتر سه فاز با ویژگی تغییر ولتاژ و فرکانس متغیر. به خاطر حفاظت از تجهیزات، اتوترانس سه فاز و منبع تغذیه DC هر یک به ترتیب بر روی مقدار ۱۵۰ ولت خط و ۴۰ ولت محدود شده‌اند. همه این تجهیزات با فیوزهای محافظ تجهیز شده‌اند. همچنین پل‌های دیودی سه فاز و تک‌فاز نیز بر روی مجموعه جهت تبدیل نوع توان تعبیه شده‌اند.

جهت ساختن تغذیه DC متغیر در محدوده ۰ تا ۴۰ ولت از ماژول منبع تغذیه DC استفاده می‌گردد. همچنین برای ساختن تغذیه DC متغیر در محدوده ۰ تا ۱۱۰ ولت از ماژول اتوترانس به همراه پل دیودی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که به دلیل محدود شدن ولتاژ خط اتوترانس در مقدار ۱۱۰ ولت، ضرورت دارد ورودی پل دیودی از دو فاز (بجای فاز و نول) تامین شود.

### ۳-۲-۱ بارهای الکتریکی و مکانیکی

بارهای الکتریکی شامل بارهای مقاومتی، سلفی و خازنی می‌باشند. بار مکانیکی نیز در همه موارد یک ماشین الکتریکی می‌باشد که در مد ترمزی عمل می‌نماید. در تصویر زیر بارهای الکتریکی نشان داده شده‌اند.



شکل ۱-۱ بارهای الکتریکی مورد استفاده در آزمایش‌ها

## ۲ آشنایی با ساختار آزمایشگاه و تجهیزات ۲

هدف: آشنایی با تجهیزات اندازه‌گیری الکتریکی و مکانیکی مورد استفاده در آزمایشگاه ماشین الکتریکی

### ۲-۱ مقدمه

در ادامه آزمایش قبل، به آشنایی با سایر تجهیزات آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی پرداخته می‌شود. در این آزمایش، تجهیزات اندازه‌گیری و مانیتورینگ، معرفی می‌شوند و آزمایش‌های ساده‌ای برای دستیابی به هدف مورد نظر، انجام می‌گردد.

### ۱-۱-۲ مانیتورینگ کامپیوتری

با توجه به اهمیت روز افزون ارتباط با سیستم‌های کامپیوتری در این مجموعه آزمایشگاهی، اجزای زیر، در ماژول واسط AC و DC، شکل زیر، جهت مانیتورینگ کامپیوتری مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

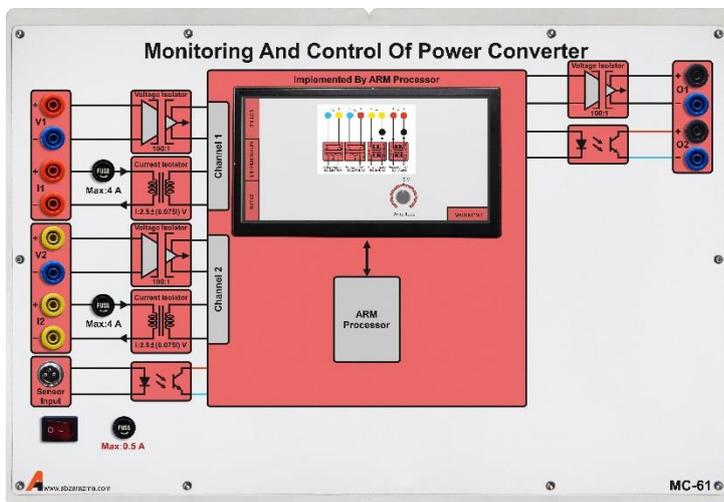
۱- بردهای ایزولاتور ولتاژ جهت اندازه‌گیری ولتاژ

۲- بردهای ایزولاتور جریان جهت اندازه‌گیری جریان

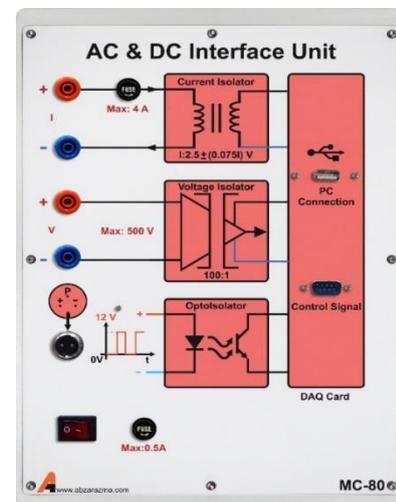
۳- سنسور حساس به فلز به همراه برد شمارنده جهت اندازه‌گیری سرعت چرخش روتور ماشین‌ها و انتقال اطلاعات به کارت ارتباط داده

همچنین در شرکت تجهیزات ابزار آزما، ماژول پیشرفته‌ای تحت عنوان «ماژول مانیتورینگ و کنترل ماشین‌های الکتریکی»، MCPC طراحی و ساخته شده است که نیاز به استفاده از کامپیوتر را برای مانیتورینگ و کنترل مرتفع نموده است و به تنهایی تمام فعالیتها و پردازشهای لازم را انجام می‌دهد.

در شکل زیر نمایی از تجهیزات یاد شده، نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این آزمایش از این تجهیزات استفاده نمی‌گردد.



(ب)



(الف)

شکل ۱-۲ (الف) مدار واسط AC و DC (ب) ماژول مانیتورینگ و کنترل ماشین‌های الکتریکی

## ۲-۱-۲ اندازه‌گیری کمیت به روش معمول

یکی از مباحث اساسی در یادگیری آزمایشگاه استفاده صحیح و بهینه از تجهیزات آزمایشگاه به خصوص تجهیزات اندازه‌گیری می‌باشد. آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی شامل تجهیزات اندازه‌گیری الکتریکی و مکانیکی می‌باشد که می‌توانند بر اساس مکانیسم عملکردشان به دو نوع دیجیتال و آنالوگ دسته‌بندی شوند. حرکت کلی در صنعت به سمت تجهیزات اندازه‌گیری مدرن دیجیتال می‌باشد. تجهیزات اندازه‌گیری الکتریکی بر اساس نوع کمیتی که اندازه‌گیری می‌نمایند به دو نوع جریان مستقیم (DC) و جریان متناوب (AC) دسته‌بندی می‌شوند.

- ولت متر و آمپرترهای آزمایشگاه در دو نوع آنالوگ و دیجیتال می‌باشند. انواع دیجیتال دارای دقت اندازه‌گیری بالاتری هستند و در مقابل انواع آنالوگ دارای محدوده اندازه‌گیری بزرگ‌تری می‌باشند. آمپرترهای آنالوگ دارای تجهیز حفاظتی اضافی نیستند. از مقاومت شنت یا ترانس جریان برای اندازه‌گیری مطمئن‌تر استفاده می‌شود. آمپرترهای دیجیتال DC از مقاومت شنت به مقدار ۷۵ میلی اهم استفاده می‌نمایند تا جریان، به طور مستقیم از آن‌ها عبور ننماید. آمپرترهای دیجیتال AC از ترانس جریان ۵ به ۱ آمپر استفاده می‌نمایند و لازم است که مقدار مشاهده شده بر روی آن‌ها در عدد ۵ ضرب شود تا مقدار واقعی کمیت اندازه‌گیری شده بدست آید. در مورد سایر ولت‌متر و آمپرترها مقیاس بندی اطلاعات قرائت‌شده مورد نیاز نمی‌باشد.

نکته مهم در کاربرد آمپرترها سری قرار گرفتن آن‌ها در مدار می‌باشد. در صورت اتصال اشتباه آمپرتر احتمال آسیب رسیدن به دانشجو، آمپرتر و تجهیزات مورد بررسی وجود دارد. از این رو همیشه پس از بستن مدار و قبل از راه‌اندازی آزمایش می‌بایست مدار مورد نظر توسط مدرس یا دستیار آزمایشگاه چک شود. در مورد ولت‌متر نیز اتصال موازی آن صحیح می‌باشد.

- در مورد مولتی فانکشن متر که قابلیت اندازه‌گیری ولتاژ، جریان، توان، ضریب توان و ... را در حالت سه فاز و تک‌فاز دارا می‌باشد، توجه به نکات زیر ضروری است:
  - این وسیله برای اندازه‌گیری مطمئن‌تر جریان از ترانس‌های جریان ۵ به ۱ آمپر استفاده می‌نماید.
  - کمیت‌های دیجیتال اندازه‌گیری شده توسط این وسیله فقط برای حالت AC معتبر می‌باشند زیرا این وسیله از ترانس جریان استفاده می‌نماید.
- سرعت‌سنج نوری جهت اندازه‌گیری کمیت مکانیکی سرعت در آزمایشگاه فراهم شده است که از نوع سنسورهای مجاورتی حساس به فلز می‌باشد. دور موتور در حال دوران بر حسب واحد دور بر دقیقه (rpm) بر روی ماژول پالس متر نمایش داده می‌شود.

## ۲-۲ آزمایش و تحلیل

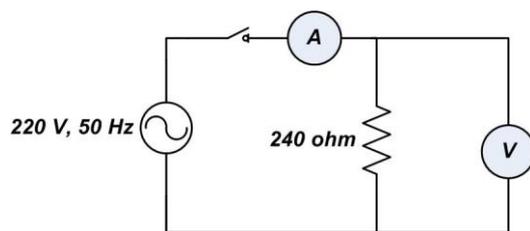
در ادامه آزمایش‌های متعددی جهت استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری در حالت‌های مختلف طرح شده است.

## ۱-۲-۲ اندازه‌گیری ولتاژ و جریان AC مدار مقاومتی

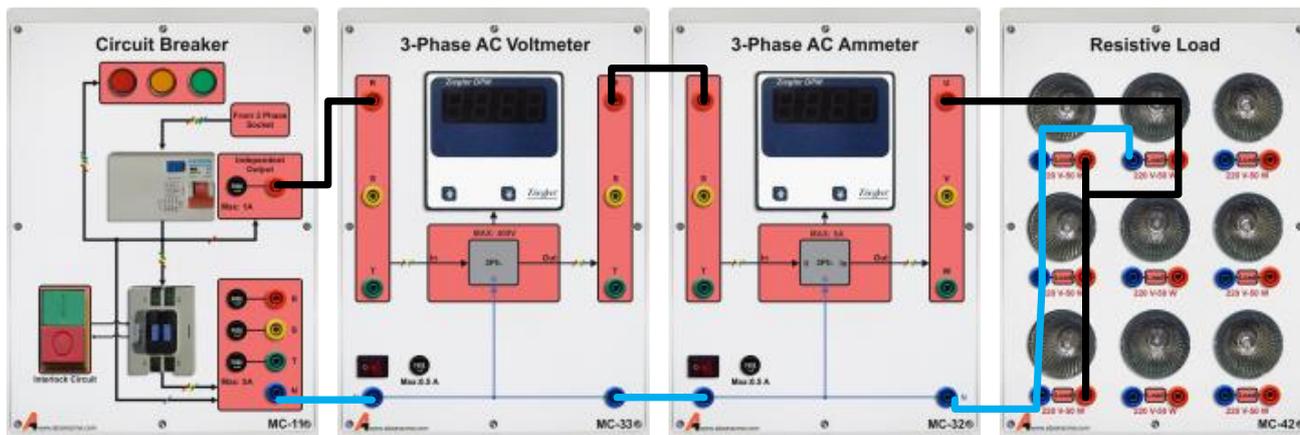
یک منبع AC ۲۲۰ ولت را مطابق مدار زیر به بار مقاومتی ۲۴۰ اهم متصل نمایید. جهت ساختن مقاومت ۲۴۰ اهم، ۴ عدد بار مقاومتی را با هم موازی نمائید.

نکته مورد توجه در مورد محاسبات تئوری این است که در همه متن، محاسبات آن‌ها می‌بایست در هنگام تنظیم گزارش صورت گیرد. همچنین ارائه محاسبات صورت گرفته همراه با تحویل گزارش الزامی می‌باشد.

همچنین مقدار صحیح مقاومت بار را در آزمایش محاسبه کنید و محاسبات آزمایش را بر مبنای همان عدد انجام دهید.



شکل ۲-۲ مدار آزمایش اندازه‌گیری ولتاژ و جریان AC



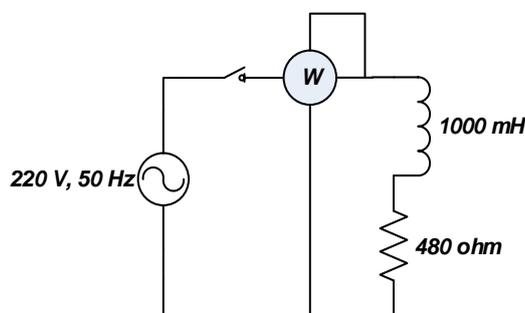
شکل ۲-۳ نحوه اتصال ماژول‌ها برای مدار آزمایش اندازه‌گیری ولتاژ و جریان AC

مقدار ولتاژ و جریان‌های اندازه‌گیری شده توسط ولت‌متر و آمپر متر را در جدول زیر وارد نمایید.

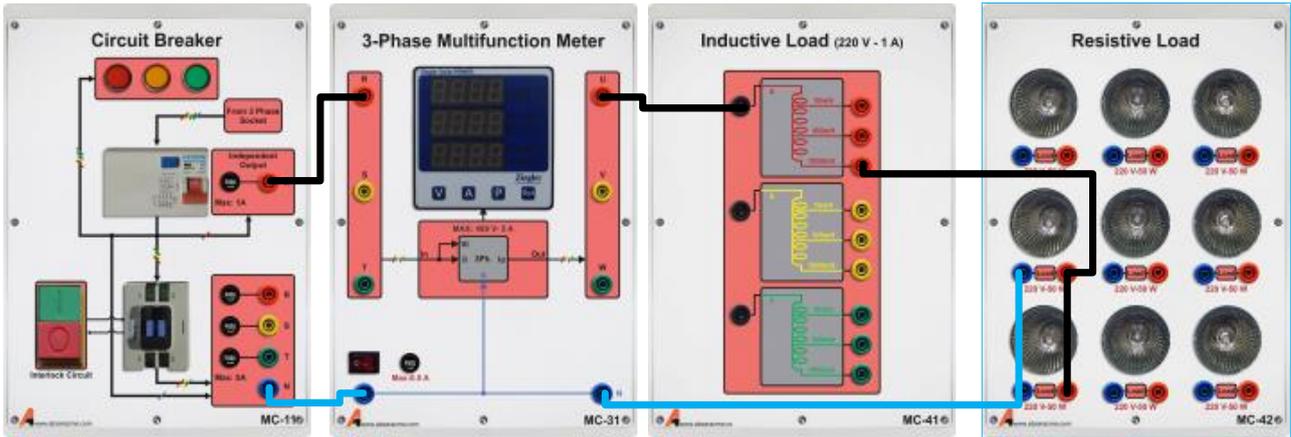
| عملی | تئوری | کمیت / نوع وسیله اندازه‌گیری |
|------|-------|------------------------------|
|      |       | ولت‌متر (V)                  |
|      |       | آمپر متر (A)                 |

### ۲-۲-۲ اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار سلفی-مقاومتی

یک منبع AC ۲۲۰ ولت را مطابق مدار زیر به بار مقاومتی ۴۸۰ اهم و سلفی ۱۰۰۰ میلی هانری متصل نمایید. به کمک مولتی فانکشن متر، کمیت‌های الکتریکی مشخص شده در جدول زیر را اندازه‌گیری نمایید. همچنین مقادیر تئوری را در هنگام تنظیم گزارش محاسبه و وارد نمایید.



شکل ۲-۴ مدار آزمایش اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار سلفی-مقاومتی



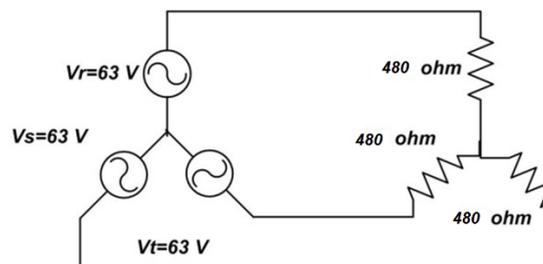
شکل ۲-۵ نحوه اتصال ماژول‌ها برای مدار آزمایش اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار سلفی-مقاومتی

| تئوری | عملی | واحد | کمیت / نوع      |
|-------|------|------|-----------------|
|       |      |      | ولتاژ           |
|       |      |      | جریان           |
|       |      |      | توان حقیقی (P)  |
|       |      |      | توان موهومی (Q) |
|       |      |      | توان ظاهری (S)  |
|       |      |      | ضریب توان (PF)  |

### ۲-۳ اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار سه فاز

یک منبع AC ۱۱۰ ولت سه فاز را مطابق مدار زیر به بار مقاومتی ۴۸۰ اهم سه فاز متصل نمایید. برای ساختن تغذیه ۱۱۰ ولت از اتوترانس سه فاز استفاده نمایید. محل قرارگیری ولت‌متر و آمپر‌متر را بر روی شکل مشخص نمایید. کمیت‌های الکتریکی مشخص شده در جدول زیر را اندازه‌گیری نمایید. همچنین مقادیر تئوری را در هنگام تنظیم گزارش محاسبه و وارد نمایید.

در همه مدارات سه فاز در صورتی که نوع کمیت ذکر نگردد به طور پیش فرض منظور از نوع کمیت برای ولتاژ و جریان، مقدار موثر ولتاژ و جریان خط و برای توان، توان سه فاز می‌باشد.



شکل ۲-۶ مدار آزمایش اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار سه فاز

| تئوری | عملی | واحد | کمیت / نوع      |
|-------|------|------|-----------------|
|       |      |      | ولتاژ           |
|       |      |      | جریان           |
|       |      |      | توان واقعی (P)  |
|       |      |      | توان موهومی (Q) |
|       |      |      | توان ظاهری (S)  |
|       |      |      | ضریب توان (PF)  |

### ۴-۲-۲ اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار DC

منبع تحریک DC (DC Exciter) را در ولتاژ ۱۱۰ ولت DC تنظیم و یک بار ۲۴۰ اهمی را تغذیه نمایید. مدار مناسب را همراه با ولت‌متر و آمپر‌متر رسم نمایید. کمیت‌های الکتریکی مشخص شده در جدول را اندازه‌گیری و مقادیر تئوری را در هنگام تنظیم گزارش محاسبه و وارد نمایید.

شکل ۴-۲-۷ مدار آزمایش اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار DC (توسط دانشجو پیشنهاد و سپس پیاده‌سازی گردد)

| تئوری | عملی | واحد | کمیت / نوع |
|-------|------|------|------------|
|       |      |      | ولتاژ      |
|       |      |      | جریان      |
|       |      |      | توان       |

## ۳-۲ سوالات آزمایش

- ۱- در بخش اول مقدار امپدانس مدار را از روی کمیت‌های اندازه‌گیری شده محاسبه و با تئوری مقایسه نمایید.
- ۲- رابطه ولتاژ و جریان آرایش ستاره را با توجه به مدار بسته شده در آزمایش ۳-۲-۲ و نتایج اندازه‌گیری شده به دست آورید.
- ۳- در صورتی که در آزمایش ۴-۲-۲ برای اندازه‌گیری توان DC بخواهید از مولتی فانکشن متر سه فاز استفاده کنید، روشی برای این امر پیشنهاد نمایید.

## ۴-۲ نتیجه‌گیری

نکته مورد نظر در این بخش جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از تمام بندهای آزمایش توسط دانشجو می‌باشد و در هنگام تحویل گزارش می‌بایست تکمیل گردد. در آزمایش‌های بعدی این بخش دیگر تکرار نمی‌گردد.

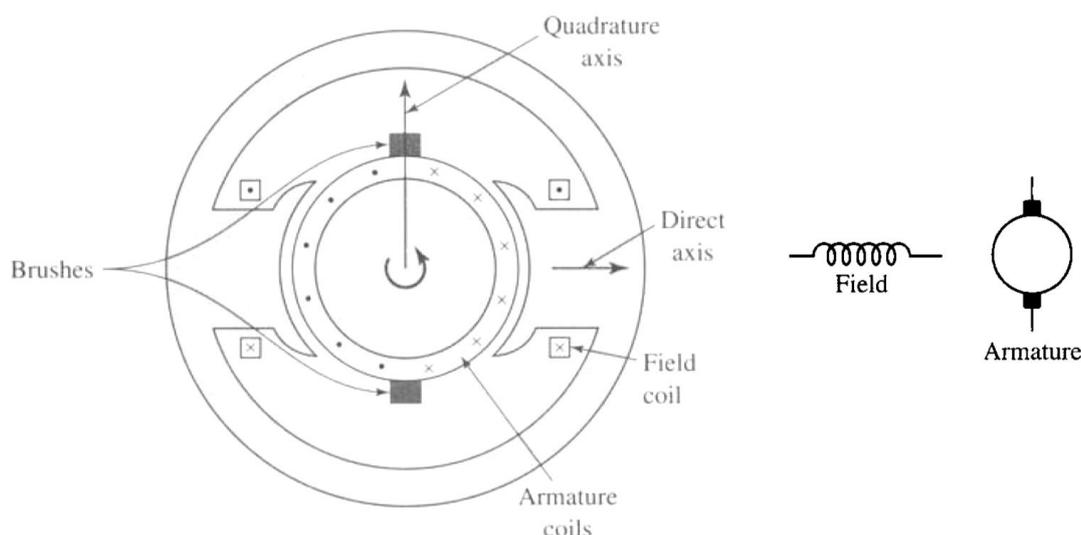
### ۳ موتور جریان مستقیم تحریک مستقل

هدف: بررسی رفتار موتور DC تحریک مستقل در شرایط بی‌باری و بارداری

#### ۱-۳ مقدمه

موتورهای تحریک مستقل و شنت دارای رابطه خطی بین سرعت و گشتاور هستند. از این رو برای کاربردهای کنترل سرعت گزینه‌های مناسبی می‌باشند. امروزه در صنعت از این موتورها به دلیل سادگی کنترل استفاده می‌گردد.

موتورهای جریان مستقیم با ولتاژ DC تغذیه می‌شوند و دارای دو سیم‌پیچ آرمیچر و میدان می‌باشند. سیم‌پیچ آرمیچر توان اصلی جهت چرخش موتور را از تغذیه ورودی به شکل انرژی الکتریکی دریافت می‌نماید. این توان الکتریکی در سیم‌پیچ آرمیچر تبدیل به انرژی الکترومغناطیسی می‌شود و در نهایت انرژی تبدیل به فرم مکانیکی می‌شود. برای چرخش موتور احتیاج به یک میدان الکترومغناطیسی یکنواخت می‌باشد که این میدان یکنواخت توسط سیم‌پیچ تحریک ایجاد می‌گردد. سیم‌پیچ تحریک بر روی استاتور و سیم‌پیچ آرمیچر بر روی روتور قرار دارد. در شکل زیر ساختار داخلی موتور و نماد مداری مورد استفاده جهت نمایش موتور جریان مستقیم نشان داده شده است.



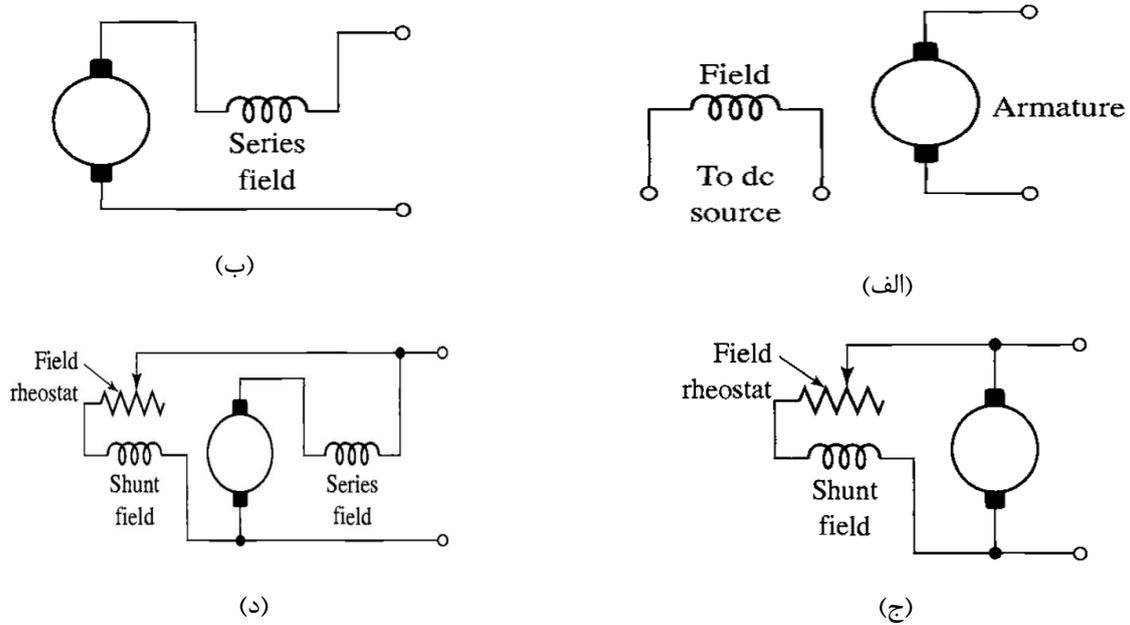
شکل ۱-۳ نماد مداری موتور جریان مستقیم شامل سیم‌پیچ‌های میدان و آرمیچر به همراه ساختار درونی موتور

موتورهای جریان مستقیم دارای انواع متفاوتی می‌باشند و بسته به نحوه اتصال سیم‌پیچی آرمیچر به سیم‌پیچی میدان به چهار دسته کلی تحریک مستقل، شنت، سری و کمپوند دسته‌بندی می‌شوند. در موتور جریان مستقیم تحریک مستقل، سیم‌پیچی آرمیچر و میدان به صورت مستقل از هم تحریک می‌شوند. دسته‌بندی این موتورها در شکل نشان داده شده است.

#### ۲-۳ آزمایش و تحلیل

در ادامه موتور جریان مستقیم تحریک مستقل در شرایط بی‌باری و بارداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

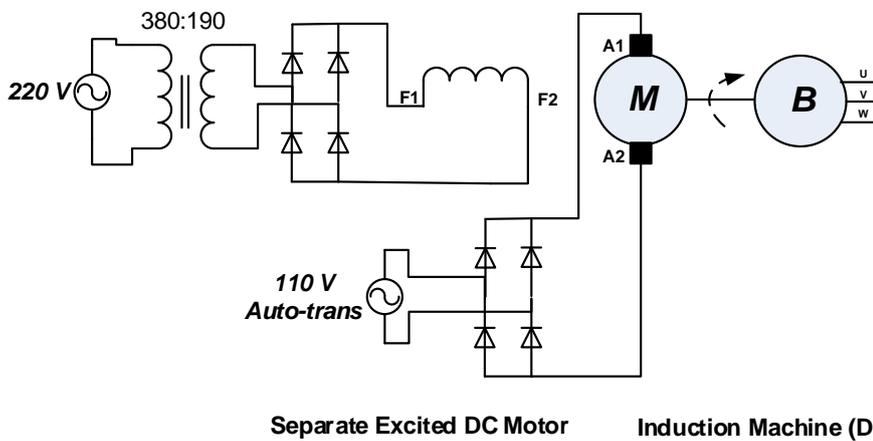
جهت انجام آزمایش‌های مختلف از واژه مقدار نامی در طول متن استفاده می‌گردد. جهت تعیین مقدار نامی پارامترها، در مرحله اول می‌توان از اطلاعات ارائه شده توسط شرکت سازنده در پلاک ماشین‌های الکتریکی استفاده نمود. در مواردی که مقدار نامی بر روی پلاک ذکر نشده باشد به کمک روابط تئوری یا اندازه‌گیری می‌توان این مقادیر را محاسبه نمود.



شکل ۳-۲ نماد مدارهای موتورهای جریان مستقیم (الف) تحریک مستقل، (ب) سری، (ج) شنت و (د) کمپوند

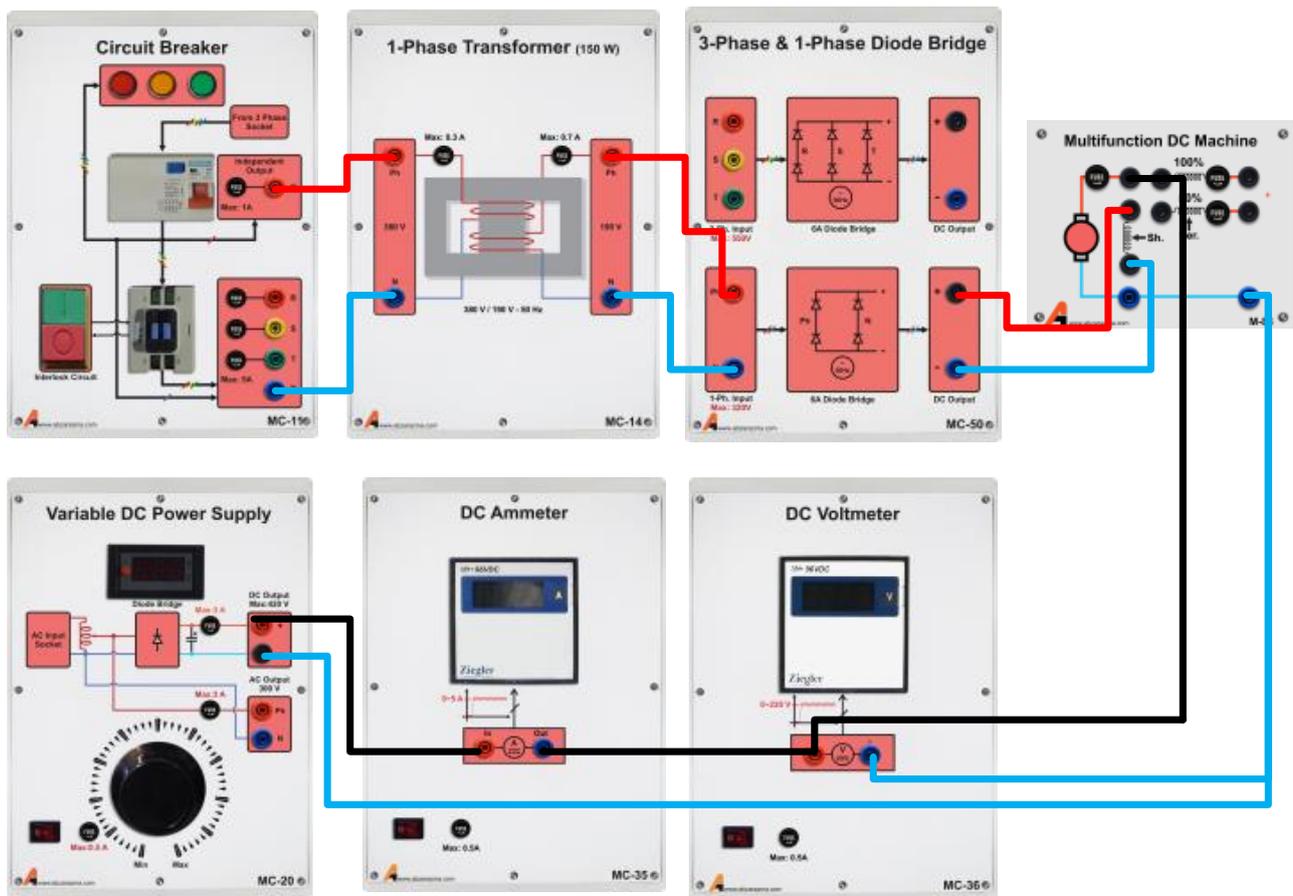
### ۱-۲-۳ بی‌باری موتور جریان مستقل

در شرایط بی‌باری هیچ بار مکانیکی بر روی موتور قرار ندارد و توان تحویلی به موتور فقط صرف گردش روتور می‌شود. در ابتدا مقدار ولتاژ تحریک روی مقدار نامی قرار می‌گیرد و با تغییر ولتاژ آرمیچر، تغییر رفتار موتور در این شرایط ثبت می‌گردد. مدار مورد نظر جهت این آزمایش به صورت شکل زیر می‌باشد.



Separate Excited DC Motor      Induction Machine (DC Brake)

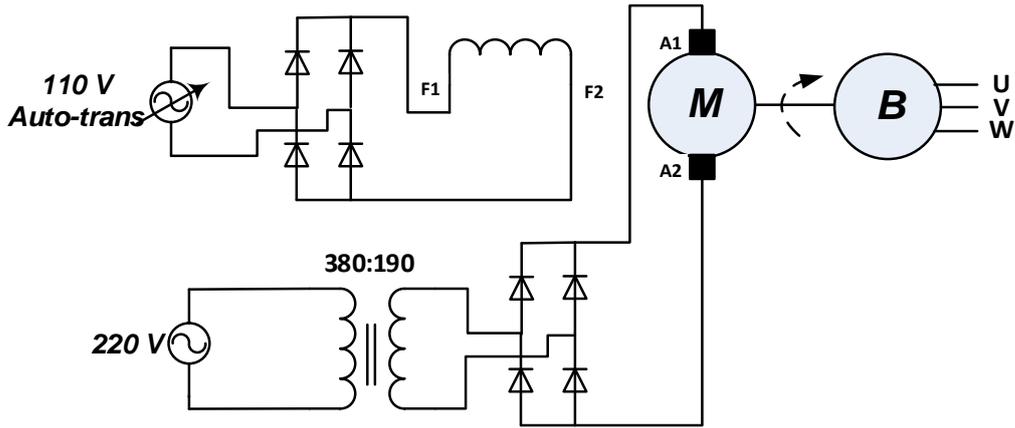
شکل ۳-۳ شماتیک نحوه اتصال موتور جریان مستقیم تحریک مستقل جهت بررسی مشخصات عملکردی در شرایط بی‌باری



شکل ۳-۴ نحوه اتصال ماژول‌ها جهت بررسی مشخصات عملکردی موتور جریان مستقیم مستقل در شرایط بی‌باری

| ولتاژ منبع تحریک<br>آرمیچر (V) | ۱۵ | ۳۰ | ۴۵ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ | ۹۰ | ۱۰۰ | ۱۱۰ |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| جریان آرمیچر (A)               |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
| سرعت موتور<br>(rpm)            |    |    |    |    |    |    |    |     |     |

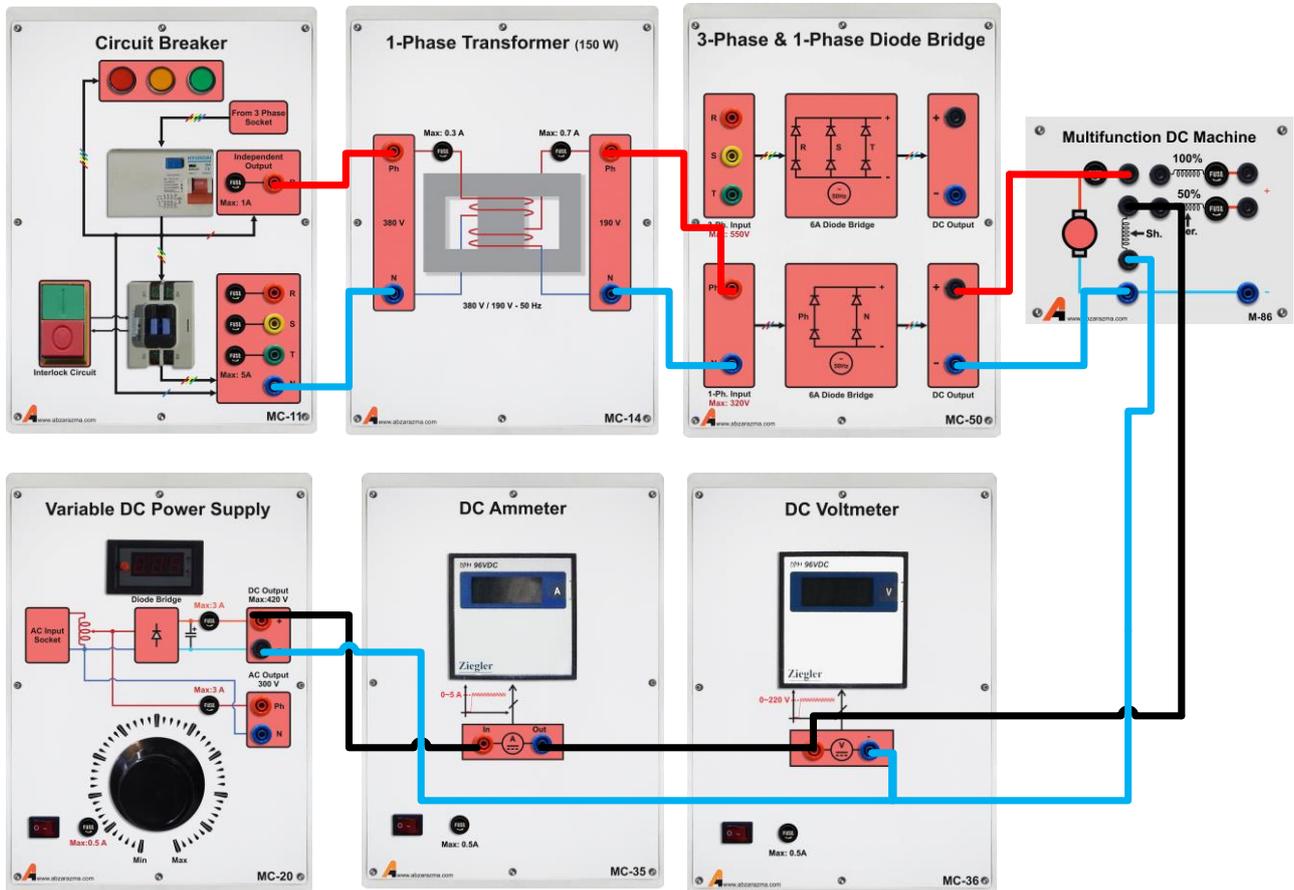
در ادامه، فرآیند فوق به ازای تغییر جریان میدان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این شرایط ولتاژ آرمیچر بر روی ۴۰ ولت تنظیم می‌شود و فقط جریان تحریک تغییر می‌نماید. ولتاژ تحریک را از ۰ تا مقدار نامی به آرامی و با توجه به جدول افزایش دهید. جدول زیر را تکمیل نمایید.



Separate Excited DC Motor

Induction Machine (DC Brake)

شکل ۳-۵ نحوه اتصال موتور جریان مستقیم جهت بررسی اثر جریان تحریک بر رفتار ماشین

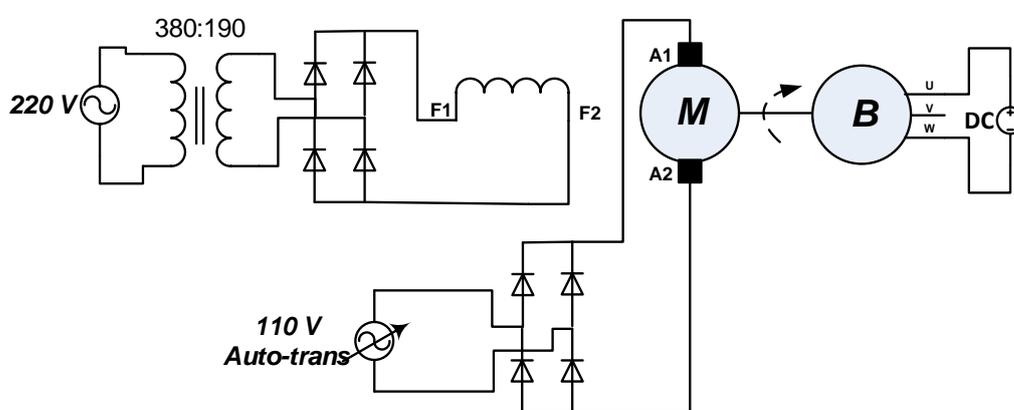


شکل ۳-۶ راهنمای اتصال ماژول‌ها جهت بررسی اثر جریان تحریک بر رفتار ماشین جریان مستقیم

|     |  |  |  |   |                  |
|-----|--|--|--|---|------------------|
| ۱۲۰ |  |  |  | ۰ | ولتاژ تحریک (V)  |
|     |  |  |  |   | جریان تحریک (A)  |
|     |  |  |  |   | سرعت موتور (rpm) |

### ۲-۲-۳ بارداری موتور جریان مستقل

در ابتدا مقدار ولتاژ تحریک روی مقدار نامی قرار می‌گیرد و با تغییر ولتاژ آرمیچر از صفر تا مقدار نامی موتور به صورت نرم راه‌اندازی می‌شود. در این شرایط بار مکانیکی بر روی موتور تغییر نمی‌نماید و ولتاژ آرمیچر و جریان تحریک ثابت نگه داشته می‌شوند. مدار مورد نظر جهت این آزمایش به صورت شکل زیر بوده و مقدار ولتاژ منبع DC به صورت پیوسته تغییر می‌نماید. همچنین نتایج اندازه‌گیری در جدول داده‌شده ثبت و نمودار مربوط به آن رسم شود. در این شرایط ولتاژ آرمیچر را ۷۰ ولت برای همه حالات در نظر بگیرید.

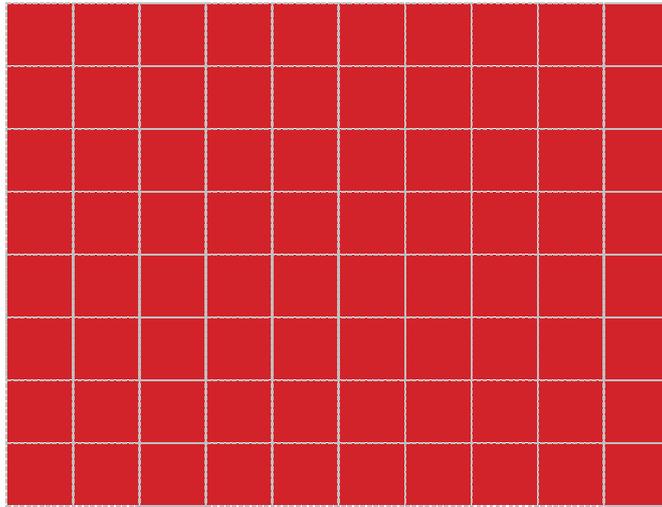


Separate Excited DC Motor

Induction Machine (DC Brake)

شکل ۳-۷ نحوه اتصال موتور جریان مستقیم تحریک مستقل جهت بررسی رفتار بارداری موتور

|    |    |    |    |    |   |   |                   |
|----|----|----|----|----|---|---|-------------------|
| ۳۰ | ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | ۰ | ولتاژ منبع DC (V) |
|    |    |    |    |    |   |   | جریان منبع DC (A) |
|    |    |    |    |    |   |   | توان منبع DC (W)  |
|    |    |    |    |    |   |   | سرعت موتور (rpm)  |
|    |    |    |    |    |   |   | گشتاور (N.m)      |



شکل ۳-۸ نمودار تغییرات ولتاژ آرمیچر-سرعت در موتور DC تحریک مستقل

### ۱-۳ سوالات آزمایش

- ۱- در آزمایش بارداری، روشی جهت تخمین منحنی گشتاور سرعت با توجه به داده‌های جدول پیشنهاد نمایید.
- ۲- با توجه به اطلاعات آزمایش بی‌باری و رابطه  $E_a = K_a \phi_a \omega$  مقدار  $K_a \phi_a$  را برای ماشین مورد آزمایش به صورت تقریبی به دست آورید.
- ۳- چگونه می‌توان در یک ماشین تحریک مستقل جریان مستقیم، سیم‌پیچ‌های میدان و آرمیچر را تشخیص داد.

#### ۴ ژنراتورهای جریان مستقیم تحریک مستقل

هدف: بررسی رفتار پارامترهای ماشین بر رفتار ژنراتورهای DC تحریک مستقل

##### ۱-۴ مقدمه

ژنراتورهای جریان مستقیم جهت تولید برق مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. رفتار ژنراتور از نوع تحریک مستقل در این آزمایش مورد مطالعه قرار گرفته است.

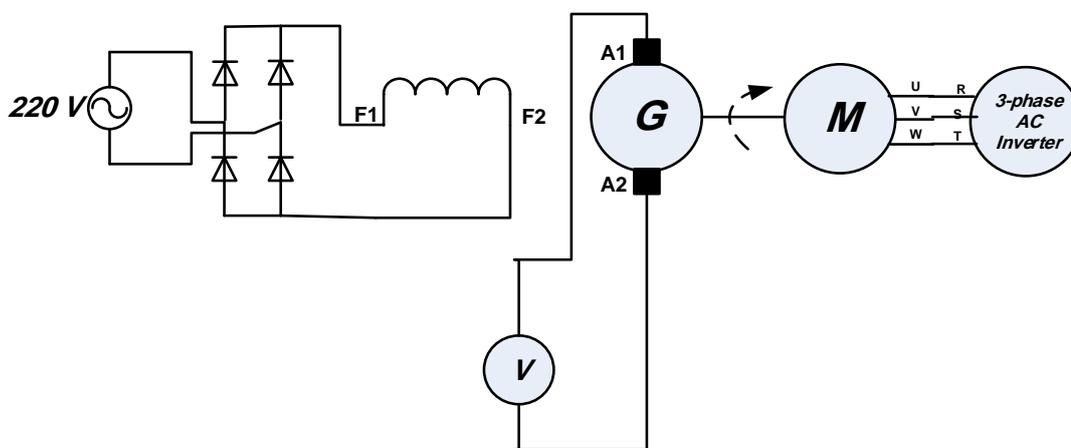
##### ۲-۴ آزمایش و تحلیل

در ادامه ژنراتور جریان مستقیم تحریک مستقل در شرایط بی‌باری و بارداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

##### ۱-۲-۴ بی‌باری ژنراتور تحریک مستقل

در این بخش ولتاژ تولیدی توسط ژنراتور تحریک مستقل در شرایط تغییر جریان تحریک و سرعت ژنراتور بررسی می‌شود. جهت راه‌اندازی ژنراتور از یک موتور القایی که با آن کوپل شده است، استفاده می‌گردد. همچنین تغییر دور موتور در مقادیر نزدیک به ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و بالاتر از آن از یک اینورتر جهت تغذیه موتور القایی بهره ببرید.

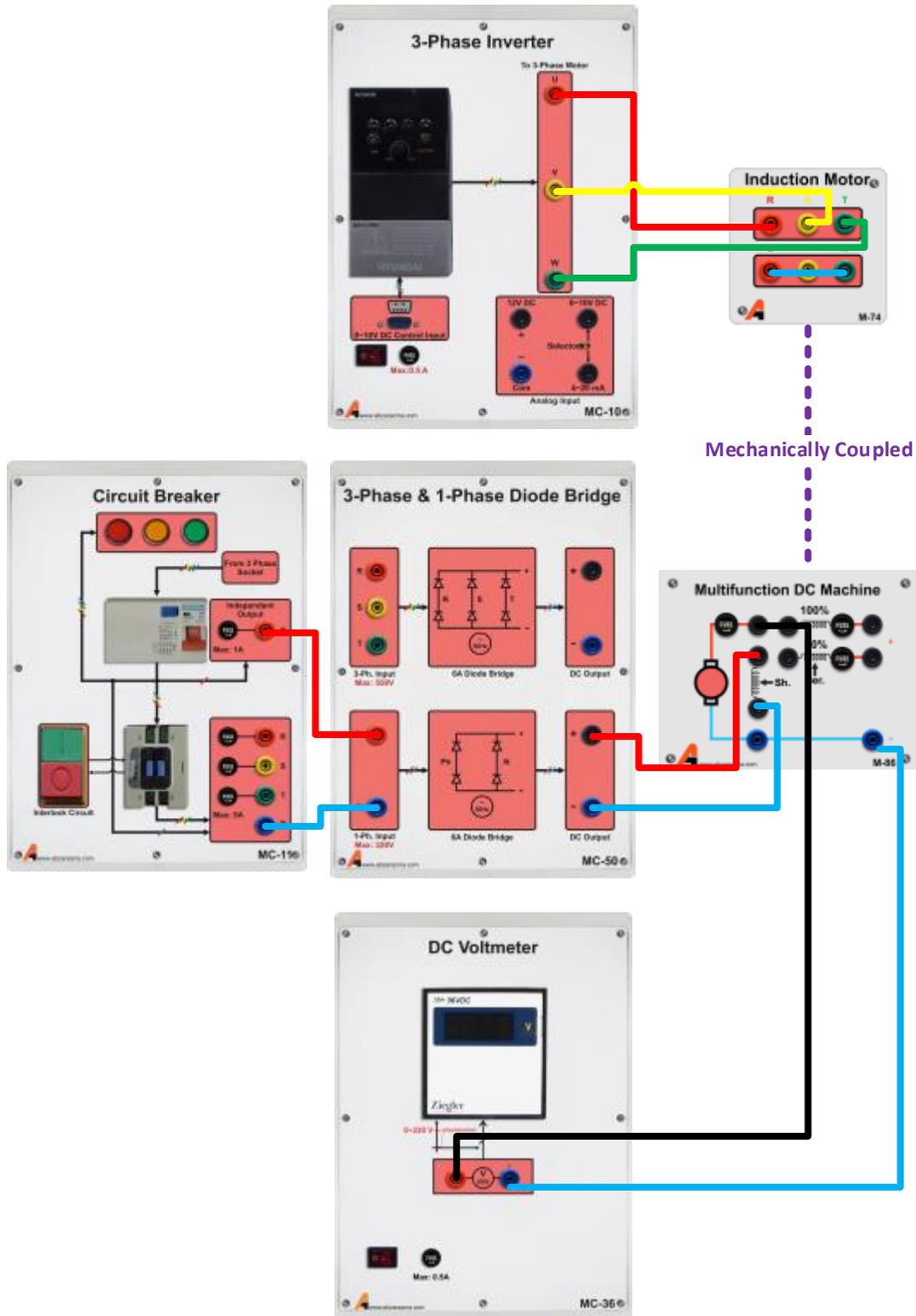
در ابتدا جریان تحریک را بر روی مقدار نامی تنظیم و با تغییر ولتاژ اعمالی به موتور، دور ژنراتور را از ۰ تا دور نامی افزایش دهید. همچنین نتایج اندازه‌گیری در جدول داده‌شده ثبت و در نمودار رسم گردد. نحوه سیم‌بندی مدار در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.



Separately Excited DC Generator

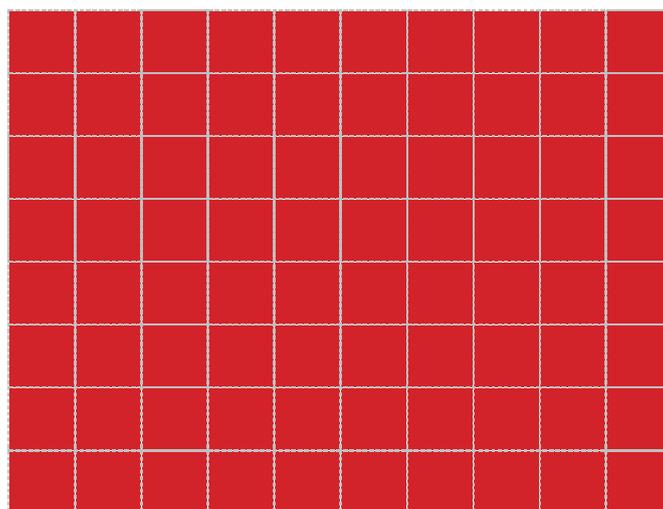
Induction Motor

شکل ۲-۴ نحوه اتصال ژنراتور جریان مستقیم تحریک مستقل جهت بررسی مشخصه بی‌باری به ازای سرعت‌های چرخش مختلف



شکل ۴-۲ راهنمای اتصال ماژول‌ها برای ژنراتور جریان مستقیم تحریک مستقل جهت بررسی بی‌باری به ازای سرعت‌های چرخش مختلف

| ۶۷.۵ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ۳۵ | ۳۰ | ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | فرکانس اینورتر<br>(Hz)      |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|-----------------------------|
|      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   | ولتاژ آرمیچر<br>ژنراتور (V) |
|      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   | سرعت موتور<br>(rpm)         |



شکل ۳-۴ نمودار تغییرات ولتاژ آرمیچر-سرعت در ژنراتور DC تحریک مستقل

در ادامه فرآیند فوق به ازای تغییر جریان، میدان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این شرایط سرعت موتور بر روی مقدار نامی تنظیم و ثابت نگه داشته می‌شود. با تغییر جریان تحریک مقدار ولتاژ تولیدی در پایانه‌های ژنراتور را اندازه‌گیری نموده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

| ۱۲۰ |  |  |  | ۰ | ولتاژ تحریک (V)             |
|-----|--|--|--|---|-----------------------------|
|     |  |  |  |   | جریان تحریک ژنراتور<br>(mA) |
|     |  |  |  |   | ولتاژ آرمیچر ژنراتور (V)    |

#### ۲-۲-۴ بارداری ژنراتور تحریک مستقل

در این بخش سرعت موتور توسط موتور القایی کوپل شده با ژنراتور تحریک مستقل در مقدار ۹۰ درصد نامی ثابت نگه داشته می‌شود. مقدار جریان تحریک ژنراتور نیز در مقدار نامی ثابت بوده و تغییری نمی‌نماید. به ازای بارهای مختلف در ترمینال آرمیچر ژنراتور مشخصه ولتاژ جریان پایانه آرمیچر ژنراتور ثبت می‌گردد. مدار مشابه شکل ۱-۴ می‌باشد و تنها تفاوت، اضافه شدن بار در ترمینال آرمیچر می‌باشد.

| ۱۰۵ | ۱۲۰ | ۱۴۰ | ۱۶۰ | ۱۹۵ | ۲۴۰ | ۳۲۰ | مقاومت موازی<br>( $\Omega$ ) |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------|
|     |     |     |     |     |     |     | ولتاژ آرمیچر<br>ژنراتور (V)  |
|     |     |     |     |     |     |     | جریان آرمیچر<br>ژنراتور (A)  |
|     |     |     |     |     |     |     | توان ژنراتور<br>(W)          |

### ۳-۴ سوالات

۱- با توجه به اندازه‌گیری توان موتور و ژنراتور، میزان راندمان مجموعه موتور ژنراتور شنت را به دست آورید. عوامل عمده تلفات را نیز برشمارید.

۲- نمودار تغییرات ولتاژ ترمینال-جریان ترمینال ماشین تحریک مستقل را تحلیل نمائید و با روابط تئوری مقایسه نمائید.

## ۵ موتور سری و موتور یونیورسال

هدف: کارکرد موتور سری با تغذیه های DC و AC

## ۱-۵ مقدمه

ماشین سری دارای گشتاور راه‌اندازی بالایی می‌باشد و از این رو برای راه‌اندازی بارهای مکانیکی با گشتاور راه‌اندازی بالا چون قطارهای برقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با رسم مدار معادل موتور سری و استفاده از روابط گشتاور و نیرومحرکه داخلی ماشین‌های جریان مستقیم می‌توان رابطه گشتاور-جریان این موتورها را به دست آورد. این رابطه را برای موتور سری به دست آورده و در مورد کارکرد این ماشین با تغذیه متناوب اظهارنظر نمایید.

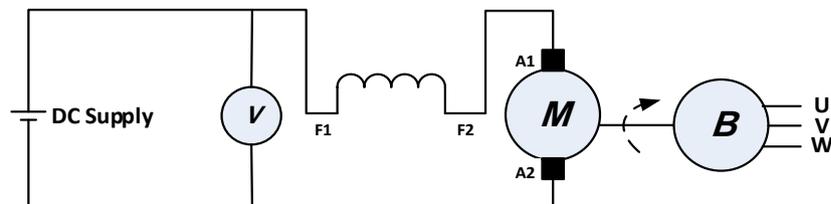
موتور یونیورسال در واقع یک ماشین جریان مستقیم سری می‌باشد که با تغذیه‌های مستقیم و متناوب کار می‌نماید و از این رو به آن موتور یونیورسال می‌گویند. این موتورها به طور معمول با توجه به منحنی گشتاور سرعت آنها با سرعت‌های بالا به چرخش در می‌آیند و برای کاربردهای لوازم خانگی و ابزار سوراخ‌کاری به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## ۲-۵ آزمایش و تحلیل

در ادامه موتور سری تحت تغذیه مستقیم و موتور یونیورسال تحت تغذیه‌های مستقیم و متناوب مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۱-۲-۵ موتور سری

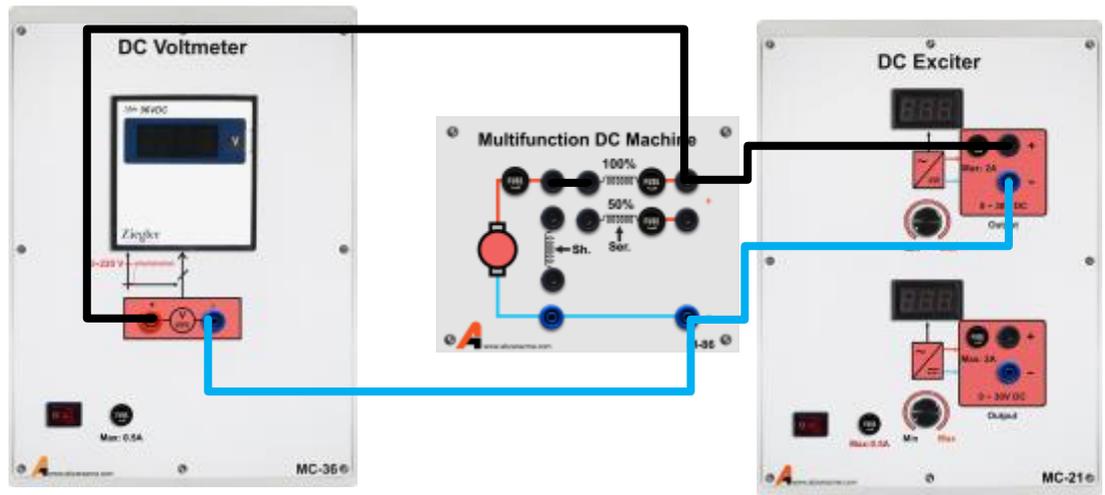
مطابق شکل زیر موتور سری را راه‌اندازی نمایید. در این بخش رابطه ولتاژ و جریان اعمالی به موتور سری با تغییرات بار و به طبع آن سرعت بررسی شده است. جهت ایجاد بار مکانیکی از یک موتور القایی که در شرایط ترمز کار می‌نماید، استفاده شده است. در ابتدا با تغییر ولتاژ اعمالی به موتور و در شرایطی که موتور القایی مدار باز است، دور آن را از ۰ تا مقدار نامی افزایش دهید. در این شرایط باری به ماشین متصل نیست. نتایج اندازه‌گیری در جدول داده شده ثبت گردد. نحوه اتصال سیم‌پیچ‌های ماشین‌ها در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



Series Excited DC Motor

Induction Motor

شکل ۱-۵ نحوه اتصال موتور جریان مستقیم تحریک سری جهت بررسی مشخصه بی‌باری به ازای سرعت‌های چرخش مختلف

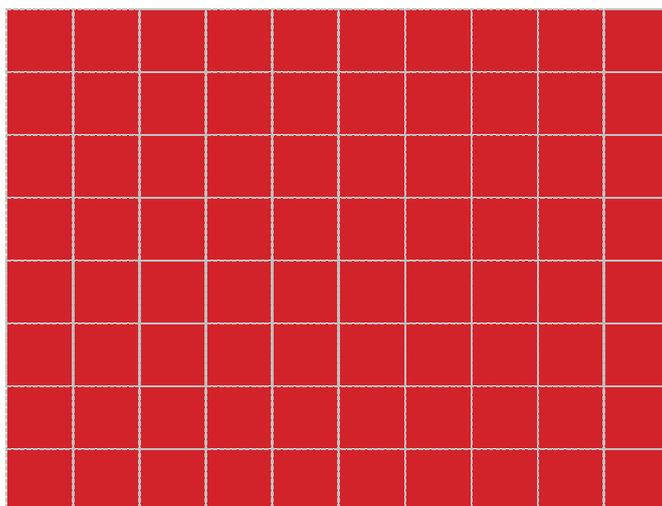


شکل ۵-۲ نحوه راهنمای اتصال مازول‌ها جهت بررسی مشخصه بی‌باری موتور جریان مستقیم تحریک سری در سرعت‌های مختلف

| ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ۲۵ | ۱۵ | ولتاژ اتوترانس (V)     |
|----|----|----|----|----|------------------------|
|    |    |    |    |    | ولتاژ آرمیچر موتور (V) |
|    |    |    |    |    | سرعت موتور (rpm)       |

در ادامه فرآیند فوق را به ازای تغییرات بار در سرعت ثابت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه تکرار نمایید و جدول زیر را تکمیل نمایید. در این شرایط لازم است یک منبع DC به طور مستقیم به دو ترمینال ماشین القایی نصب گردد تا ترمز روی دهد. نمودار مربوط را نیز رسم نمایید

| ۱۵ | ۱۰ | ۵ | ۰ | ولتاژ منبع DC               |
|----|----|---|---|-----------------------------|
|    |    |   |   | ولتاژ ترمینال موتور سری (V) |
|    |    |   |   | جریان موتور سری (A)         |



شکل ۳-۵ نمودار تغییرات ولتاژ ترمینال-جریان ترمینال در موتور سری به ازای مقادیر اندازه‌گیری شده در این بخش مدار معادل ماشین سری را رسم نمایید و مقادیر پارامترهای مدار را محاسبه نمایید.

شکل ۴-۵ مدار معادل ماشین سری به همراه مقادیر مدار معادل (محاسبه)

#### ۲-۲-۵ موتور یونیورسال

در این بخش از آزمایش، رفتار موتور یونیورسال به ازای تغذیه متناوب تحقیق می‌گردد. در ابتدا موتور با تغذیه متناوب متغیر از ۰ تا ۱۰۰ ولت تغذیه می‌گردد. در این شرایط تغییرات ولتاژ، جریان و سرعت موتور ثبت می‌گردد. مدار پیشنهادی مشابه شکل ۱-۵ می‌باشد و تنها تفاوت، تغذیه موتور با برق AC می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری را در شرایط تحریک متناوب در جدول زیر وارد نمایید.

| ولتاژ ترمینال (V) | ۲۵ | ۳۵ | ۴۵ | ۵۵ |
|-------------------|----|----|----|----|
| جریان موتور (A)   |    |    |    |    |
| سرعت چرخش (rpm)   |    |    |    |    |

### ۳-۵ سؤالات آزمایش

۱- با توجه به اندازه‌گیری‌های ژنراتور سری منحنی گشتاور-سرعت ژنراتور سری را رسم نمایید و نتیجه را با تئوری مقایسه نمایید.

۲- منحنی ولتاژ ترمینال-جریان ترمینال ماشین سری را تحلیل نمایید.

## ۶ ترانسفورماتور تکفاز ۱

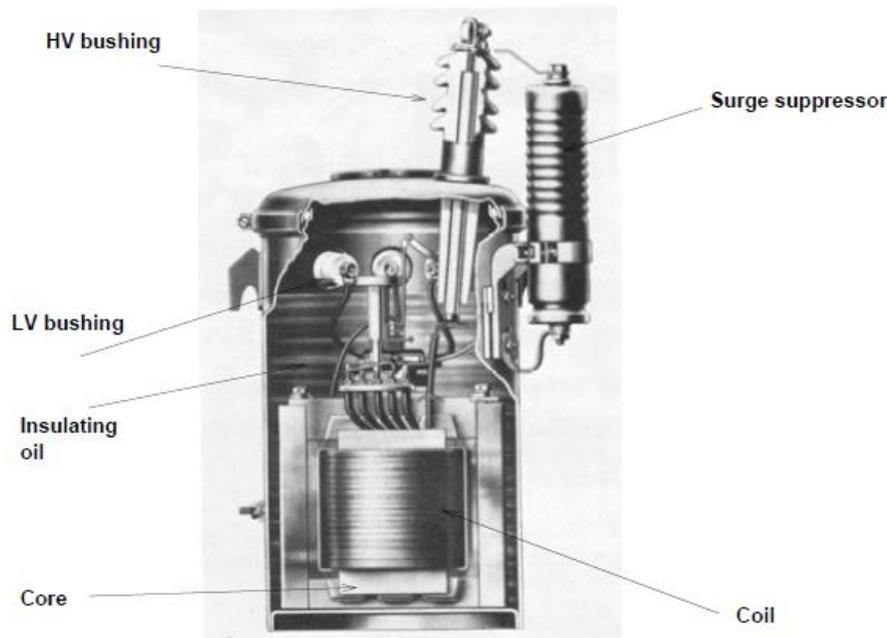
هدف: بررسی مشخصات ترانسفورماتور تکفاز

### ۱-۶ مقدمه

خطوط انتقال انرژی الکتریکی که به آنها خطوط انتقال قدرت نیز گفته می‌شود، به دلیل وجود فاصله بین محل تولید و مصرف انرژی مورد نیاز هستند. به دلیل ابعاد بزرگ این خطوط انتقال، بررسی و تحلیل آزمایشگاهی آنها با استفاده از مدل‌های مداری صورت می‌گیرد. ترانس تکفاز جهت تبدیل توان الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت تبدیل در شرایط کاری مختلف و رگولاسیون ولتاژ حائز اهمیت می‌باشند. بر اساس قانون القای فارادی در شرایطی که سیم‌پیچ با ولتاژ سینوسی تغذیه می‌گردد رابطه زیر برقرار است:

$$E_{rms} = 4.44 N f \phi_{max}$$

که در این رابطه  $E_{rms}$ ،  $N$ ،  $f$  و  $\phi_{max}$  به ترتیب عبارت‌اند از ولتاژ موثر سیم‌پیچ، تعداد دور سیم‌پیچ، فرکانس تغذیه سینوسی و شار ماکزیمم داخل هسته سیم‌پیچ. با استفاده از این رابطه اساسی، امکان تحلیل بسیاری از پدیده‌های ماشین‌های الکتریکی فراهم می‌گردد. در این آزمایش مشخصات ترانس در شرایط بی‌باری و بارداری و تحت تغییر ولتاژ ورودی و بار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

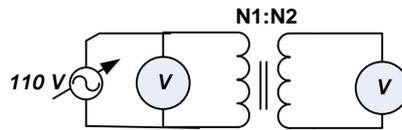


شکل ۱-۶ تصویری از یک ترانس تکفاز شبکه توزیع همراه با نام گذاری اجزای آن

## ۶-۲ تحلیل و شرح آزمایش

### ۱-۲-۶ ترانس تکفاز در شرایط بی‌باری

در این بخش رفتار ترانس تکفاز در شرایط بی‌باری و تحت تغییر ولتاژ ورودی بررسی می‌گردد. بدین منظور شکل زیر را در نظر گرفته و به ازای تغییر ولتاژ ورودی جدول داده‌شده را تکمیل نمایید. جهت انجام این آزمایش از یکی از سه ترانس موجود در ماژول ترانس سه فاز استفاده نمایید.

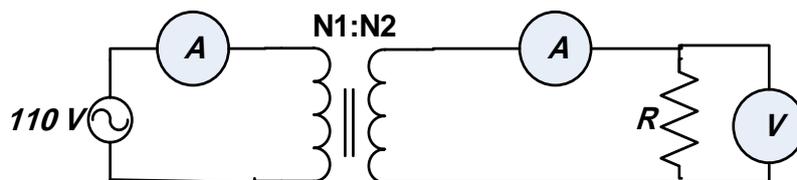


شکل ۲-۶ مدار آزمایش بررسی ترانس تکفاز در شرایط بی‌باری

| ولتاژ اولیه (V)  | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| ولتاژ ثانویه (V) |    |    |    |    |    |    |    |
| نسبت تبدیل       |    |    |    |    |    |    |    |

### ۲-۲-۶ ترانس تکفاز در شرایط بارداری

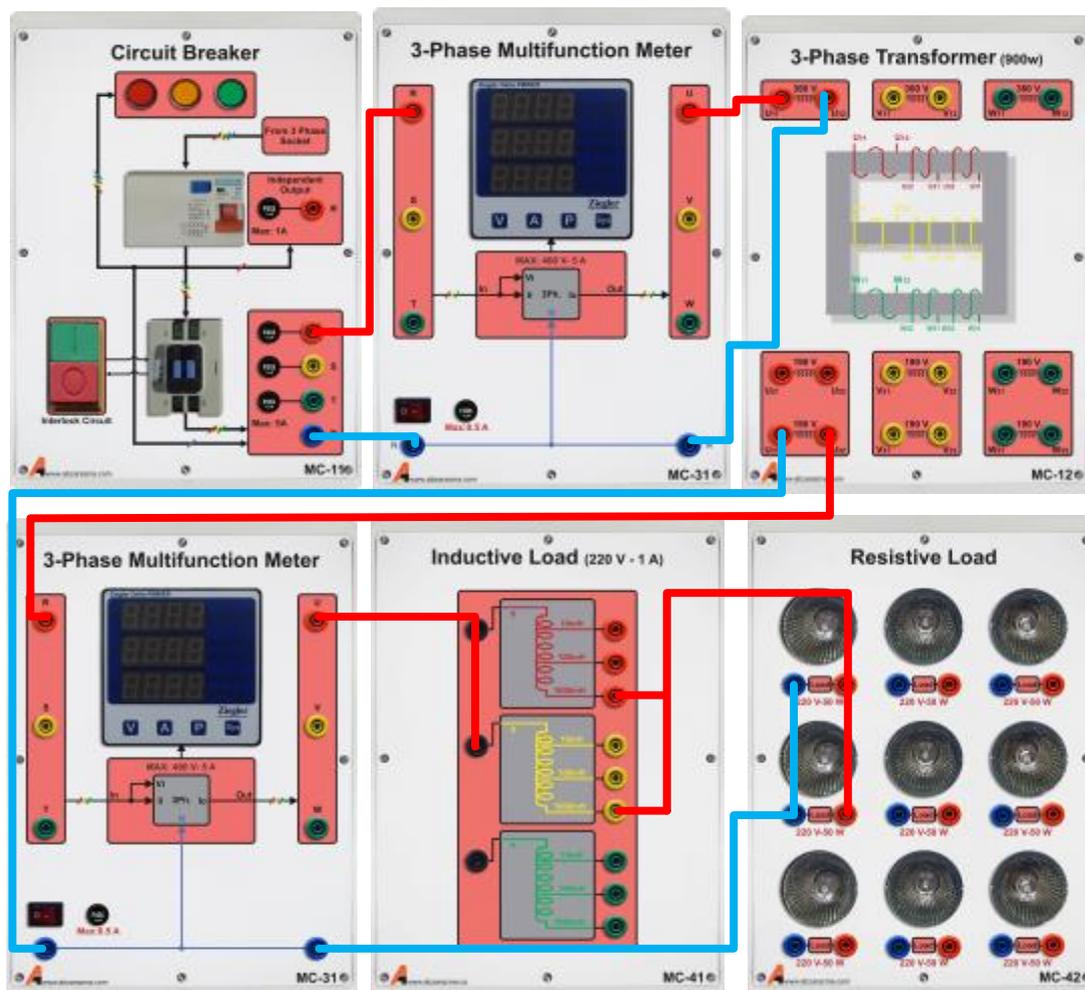
در این شرایط با تغییر بار اهمی و ثابت نگه‌داشتن ورودی در مقدار ثابت آزمایش صورت می‌گیرد. به ازای تغییر بار جدول داده‌شده را تکمیل نمایید.



شکل ۳-۶ مدار آزمایش بررسی ترانس تکفاز در شرایط بارداری به ازای یک بار ۱۲۰۰ اهم

| مقاومت بار (Ω)      | ۳۲۰ | ۲۴۰ | ۱۹۵ | ۱۶۰ | ۱۴۰ | ۱۲۰ | ۱۰۵ |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ولتاژ ثانویه (V)    |     |     |     |     |     |     |     |
| جریان اولیه (A)     |     |     |     |     |     |     |     |
| جریان ثانویه (A)    |     |     |     |     |     |     |     |
| نسبت تبدیل جریان    |     |     |     |     |     |     |     |
| رگولاسیون ولتاژ (%) |     |     |     |     |     |     |     |

در ادامه رفتار ترانس در شرایط بارداری برای بار سلفی-اهمی سری تحقیق می‌گردد.



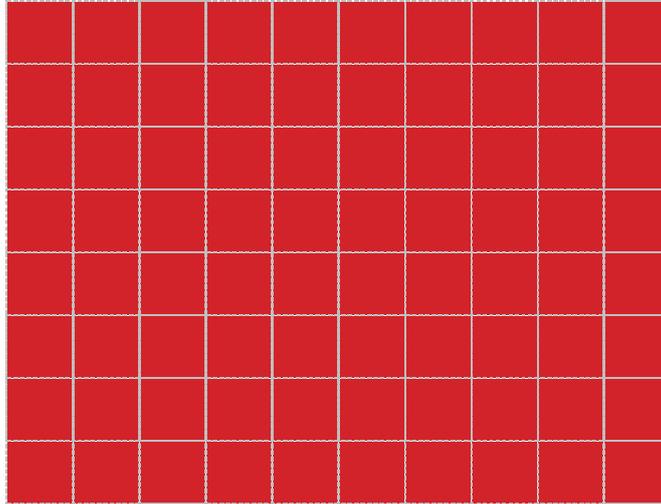
شکل ۴-۶ راهنمای اتصال ترانس به بار اهمی سلفی برای  $L=500\text{mH}$  و  $R=480\Omega$

به ازای تغییر مقادیر سلف و مقاومت جدول زیر را تکمیل نمایید. در این شرایط مولتی فانکشن در ورودی و خروجی مدار به نحوی قرار گیرد که امکان اندازه‌گیری همزمان توان، ولتاژ، جریان و ضریب قدرت ورودی و خروجی ترانس فراهم گردد. در این شرایط نیز ولتاژ ورودی بر روی مقدار نامی تنظیم شده است.

|  |  |  |     |     |     |     |     |                         |
|--|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
|  |  |  | ۱۲۰ | ۱۲۰ | ۱۹۵ | ۱۲۰ | ۱۹۵ | مقاومت بار ( $\Omega$ ) |
|  |  |  | ۱۰۰ | ۱۰  | ۱۰  | ۰   | ۰   | مقدار سلف (mH)          |
|  |  |  |     |     |     |     |     | جریان اولیه (A)         |
|  |  |  |     |     |     |     |     | جریان ثانویه (A)        |
|  |  |  |     |     |     |     |     | ولتاژ ثانویه (V)        |
|  |  |  |     |     |     |     |     | توان اولیه (W)          |
|  |  |  |     |     |     |     |     | توان ثانویه (W)         |
|  |  |  |     |     |     |     |     | راندمان (%)             |
|  |  |  |     |     |     |     |     | ضریب قدرت اولیه         |

### ۳-۶ سؤالات آزمایش

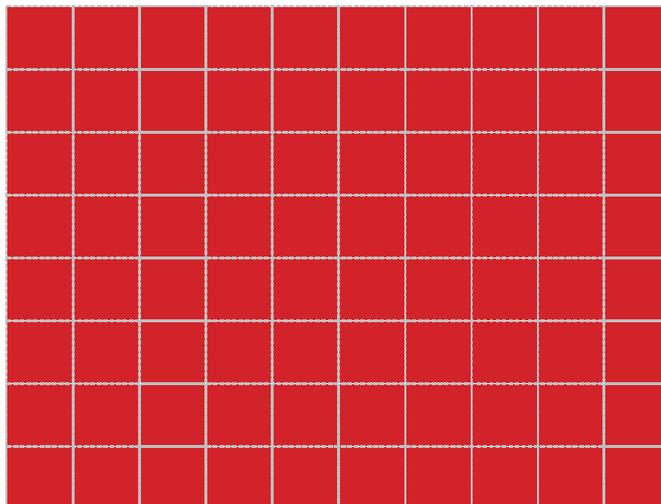
۱- در چه باری راندمان ترانس بیشتر به دست آمده است. چرا؟ جهت تحلیل، نمودار تغییرات بار-راندمان را رسم نمایید.



شکل ۵-۶ نمودار تغییرات بار-راندمان در ترانس تکفاز

۲- با سلفی شدن بار ظرفیت توانی ترانس‌ها کاهش می‌یابد. این مسئله را به کمک نتایج آزمایش‌های صورت گرفته تحقیق نمایید.

۳- نسبت تبدیل بی‌باری را بر حسب تغییرات ولتاژ ورودی رسم کرده و نسبت تبدیل ترانس را به صورت یک عدد واحد محاسبه نمایید.



شکل ۶-۶ نمودار تغییرات نسبت تبدیل بی‌باری-ولتاژ ورودی در ترانس تکفاز

۴- رگولاسیون ولتاژ چه اهمیت و کاربردی برای ترانس‌ها دارد. رابطه تغییرات آن با بار را بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته، تحقیق نمایید.

۵- دامنه شار مغناطیسی داخل هسته را برای شرایط نامی محاسبه نمایید و به کمک آن مقدار چگالی شار نامی را محاسبه نمایید.

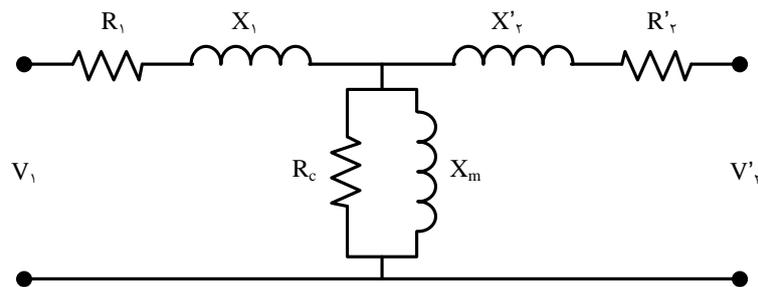
## ۷ ترانسفورماتور تکفاز ۲

هدف: یافتن پارامترهای مدار معادل ترانس و تایید مدل حاصل

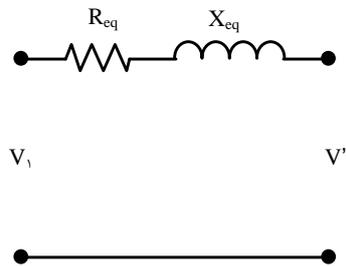
### ۱-۷ مقدمه

یافتن یک مدل ریاضی برای ترانس امکان پیش‌بینی رفتار ترانس و شبیه‌سازی آن را فراهم می‌نماید. در این آزمایش به کمک آزمایش‌های مدار باز و اتصال کوتاه مقادیر پارامترهای مدار معادل را محاسبه می‌نماییم. به منظور تأیید مدل حاصل برای یک شرایط نامی رفتار ترانس به کمک مدار معادل پیش‌بینی و با نتیجه آزمایش مقایسه می‌گردد تا صحت مدل به دست آمده تأیید گردد. مدار معادل ترانس تکفاز برای حالت دقیق و تقریبی در شکل زیر رسم شده است.

ترانس مورد بررسی در این آزمایش دارای توان ۳۵۰ وات برای هر فاز و ولتاژ نامی ۳۸۰ ولت می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل ۱-۷ (الف) مدار معادل دقیق و (ب) مدار معادل تقریبی ترانسفورماتور تکفاز

## ۲-۷ شرح آزمایش

## ۱-۲-۷ آزمایش مدار باز و اتصال کوتاه

در این بخش جهت یافتن پارامترهای مدار معادل دو آزمایش مشهور ترانس، یعنی بی‌باری و اتصال کوتاه صورت می‌گیرند. جهت آزمایش بی‌باری، ولتاژ ترانس در مقدار نامی تنظیم می‌گردد. سپس در حالتی که باری به ثانویه وصل نیست، ولتاژ خروجی، توان ورودی و جریان ورودی ثبت می‌گردند. به کمک اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، نسبت تبدیل ترانس، مقاومت معادل مدل تلفات هسته و راکتانس مغناطیس‌کنندگی ترانس حاصل می‌شوند. برای انجام محاسبات از محل مشخص شده زیر استفاده کنید.

در این آزمایش از یکی از ترانس‌های ماژول ترانس سه فاز و جهت اعمال ولتاژ نامی ۳۸۰ ولت از ولتاژ خط سه فاز در ماژول تغذیه ثابت استفاده می‌شود.

محل انجام محاسبات ۱:

در شرایط اتصال کوتاه همه سیم پیچ‌ها به جز اولیه، جریان در مقدار نامی تنظیم گردد. در این شرایط ولتاژ ورودی مدار از صفر به تدریج افزایش می‌یابد تا زمانی که جریان اتصال کوتاه ثانویه به مقدار جریان نامی برسد. در این شرایط جریان ثانویه، جریان و ولتاژ اولیه و توان اولیه ثبت می‌گردند. به کمک محاسبات پارامترهای مقاومت و راکتانس پراکندگی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه به دست می‌آیند. محاسبات را در محل مشخص شده انجام دهید.

محل انجام محاسبات ۲:

## ۲-۲-۷ تأیید مدل به دست آمده

جهت تأیید مدل به دست آمده ترانس در شرایط ولتاژ نامی و توان نصف بار نامی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج محاسبه تئوری و اندازه‌گیری آزمایشگاهی در این مورد مقایسه می‌گردند تا صحت مدل به دست آمده در مرحله قبل مشخص گردد. به این منظور ابتدا با توجه به توان ترانس مقاومت بار مورد نیاز را محاسبه نمایید. مقدار جریان ورودی ترانس را در شرایط نصف بار نامی از دو روش تئوری و آزمایشگاهی مقایسه نمایید.

محل انجام محاسبات ۳:

### ۳-۷ سؤالات آزمایش

- ۱- در صورتی که در ترانس در شرایط تغییر فرکانس مورد استفاده قرار گیرد، مدار معادل بازنویسی شده را رسم نمایید.
- ۲- مدار معادل به دست آمده را در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی و صحت نتایج شبیه‌سازی را با نتایج اندازه‌گیری مقایسه نمایید.
- ۳- یافتن منحنی مشخصه هسته در ترانس چه کاربردی دارد؟

## ۸ موتور القایی سه فاز ۱

هدف: بررسی بارداری و بی باری موتور القایی قفس سنجابی

### ۱-۸ مقدمه

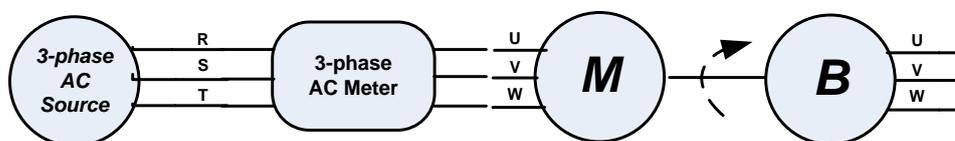
موتور القایی سه فاز پرکاربردترین موتور در صنعت می‌باشد. این موتورها بر اساس ساختار روتور آن‌ها به دو نوع قفس سنجابی و روتور سیم‌پیچی شده دسته‌بندی می‌شوند. نوع قفس سنجابی مرسوم‌تر بوده و به دلیل قیمت، استحکام و قابلیت اطمینان قابل توجه در اکثر حیطه‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوع روتور سیم‌پیچی شده نیز در برخی کاربردها چون، تولید برق از انرژی باد مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این سری آزمایش‌ها، موتور القایی سه فاز قفس سنجابی مورد بررسی و آزمایش قرار می‌گیرد.

در این آزمایش رفتار موتور القایی سه فاز تحت شرایط بی‌باری و بارداری و تحت سربندی‌های مختلف استاتور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۲-۸ آزمایش و تحلیل

#### ۱-۲-۸ موتور القایی سه فاز در شرایط بی‌باری

در این بخش موتور القایی سه فاز توسط ولتاژ متغیر سه فاز تولیدی توسط اتو ترانس از سرعت صفر تا دور نامی به چرخش در می‌آید. اطلاعات نامی موتور را از روی پلاک آن یادداشت نموده، بر مبنای آن بخش‌های مختلف آزمایش را انجام دهید. مدار شکل زیر را ببینید و در شرایطی که سربندی استاتور ستاره است، جدول داده‌شده را تکمیل نمایید.



Induction Motor Induction Brake

شکل ۱-۸ مدار آزمایش بررسی موتور القایی سه فاز در شرایط بی‌باری

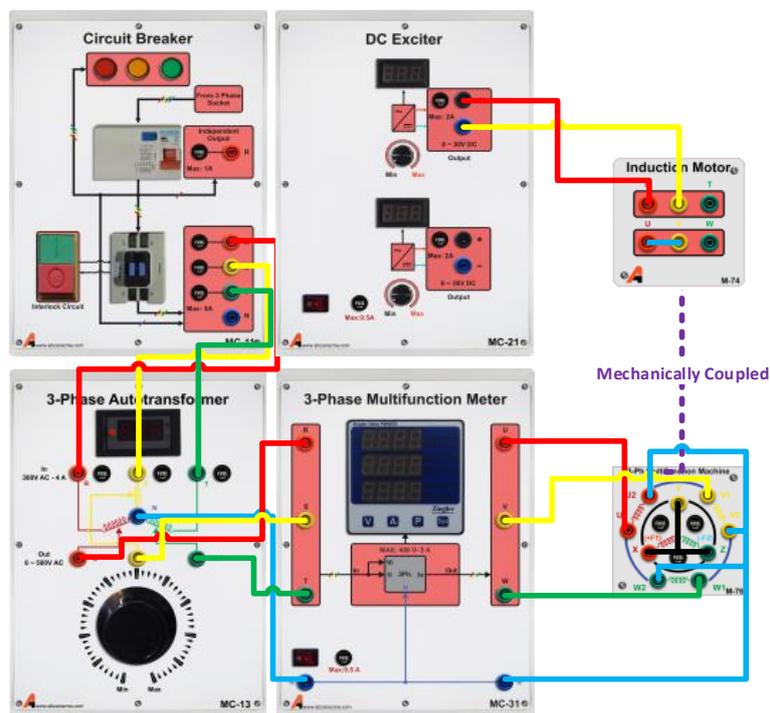
| ۱۱۰ | ۱۰۰ | ۹۰ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ولتاژ خط (V)    |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-----------------|
|     |     |    |    |    |    |    |    | جریان خط (A)    |
|     |     |    |    |    |    |    |    | توان واقعی (W)  |
|     |     |    |    |    |    |    |    | ضریب توان       |
|     |     |    |    |    |    |    |    | سرعت چرخش (rpm) |

همچنین با تغییر سربندی از ستاره به مثلث دوباره جدول را تکمیل نمایید. مقایسه رفتار موتور برای دو حالت سربندی صورت گیرد.

| ۱۱۰ | ۱۰۰ | ۹۰ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ولتاژ خط (V)    |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-----------------|
|     |     |    |    |    |    |    |    | جریان خط (A)    |
|     |     |    |    |    |    |    |    | توان واقعی (W)  |
|     |     |    |    |    |    |    |    | ضریب توان       |
|     |     |    |    |    |    |    |    | سرعت چرخش (rpm) |

### ۲-۲-۸ موتور القایی سه فاز در شرایط بارداری

در این بخش موتور القایی سه فاز از سرعت صفر به وسیله اتو ترانس راه‌اندازی می‌شود و پس از این تا پایان آزمایش به ازای ولتاژ خط استاتور ۲۲۰ ولت ثابت، آزمایش صورت می‌گیرد. مدار مورد بررسی مطابق شکل قبلی بوده منتها با این تفاوت که ماشین القایی کوپل شده با موتور القایی در مد ترمزی عمل می‌نماید. در شرایط مختلف اعمال ترمز مغناطیسی، جدول زیر را تکمیل نمایید. سربندی موتور را ستاره در نظر بگیرید. برای تخمین گشتاور نیز از روابط ماشین القایی بهره بگیرید. روش‌های مختلفی جهت تخمین گشتاور ارائه شده است. با بررسی راندمان مجموعه راجع به سرعت کارکرد بهینه مجموعه بحث نمایید. با تغییر سربندی و تکرار آزمایش جدول دوم را تکمیل نمایید.



شکل ۲-۸ راهنمای اتصال ماژول‌ها برای بررسی موتور القایی سه فاز در شرایط بارداری

سربندی ستاره:

| ۳۰ | ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | ۰ | ولتاژ ترمز ماشین القایی (V) |
|----|----|----|----|----|---|---|-----------------------------|
|    |    |    |    |    |   |   | جریان خط (A)                |
|    |    |    |    |    |   |   | ضریب توان                   |
|    |    |    |    |    |   |   | سرعت چرخش (rpm)             |
|    |    |    |    |    |   |   | توان واقعی موتور (W)        |
|    |    |    |    |    |   |   | تخمین گشتاور موتور          |

و سربندی مثلث:

| ۳۰ | ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | ۰ | ولتاژ ترمز ماشین القایی (V) |
|----|----|----|----|----|---|---|-----------------------------|
|    |    |    |    |    |   |   | جریان خط (A)                |
|    |    |    |    |    |   |   | ضریب توان                   |
|    |    |    |    |    |   |   | سرعت چرخش (rpm)             |
|    |    |    |    |    |   |   | توان واقعی موتور (W)        |
|    |    |    |    |    |   |   | تخمین گشتاور موتور          |

جهت چرخش موتور القایی را با تغییر سربندی آن تغییر دهید و مشاهده نمایید.

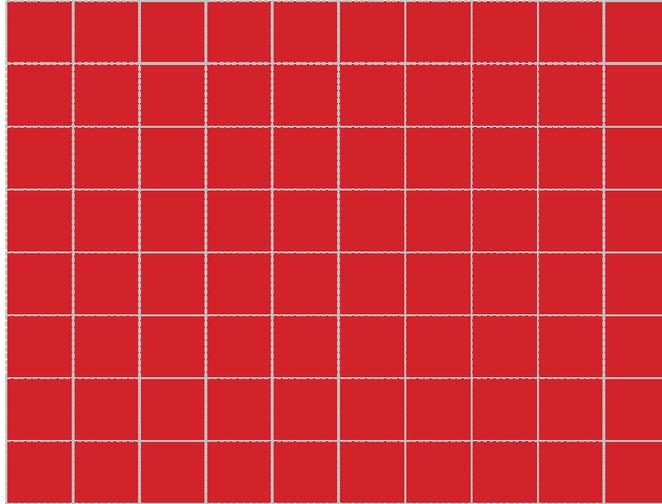
### ۳-۸ سوالات آزمایش

۱- با بررسی مجموعه گشتاورهای تخمینی، مقدار لغزشی که در آن گشتاور حداکثر موتور اتفاق می‌افتد محاسبه نمایید. یک کاربرد این لغزش محاسبه‌شده را بیان نمایید.

۲- چرا در سرعت‌های پایین جریان استاتور بزرگ‌تر از مقدار آن در سرعت‌های بالا می‌باشد.

۳- راندمان مجموعه به دلیل تلفات الکتریکی و مکانیکی کمتر از ۱۰۰ درصد می‌باشد. روشی جهت تفکیک تلفات صورت گرفته به دو بخش الکتریکی و مکانیکی پیشنهاد نمایید.

۴- منحنی تغییرات سرعت-گشتاور ماشین القایی مورد بررسی را رسم نمائید.



شکل ۸-۳ نمودار تغییرات سرعت-گشتاور در موتور القایی

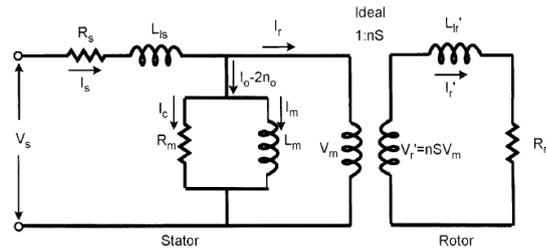
۵- به کمک محاسبات تئوری، مشاهده روی داده در آزمایش تغییر جهت چرخش موتور را ثابت نمائید.

## ۹ موتور القایی سه فاز ۲

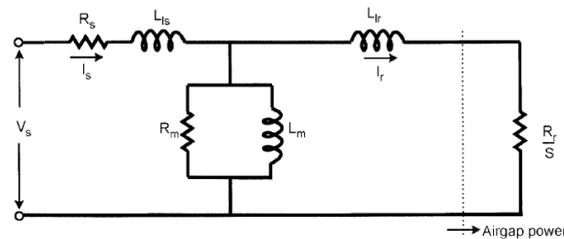
هدف: یافتن مدار معادل موتور القایی سه فاز و تایید آن

### ۱-۹ مقدمه

به دلیل اهمیت قابل توجه مدل ریاضی در فرآیند تحلیل و طراحی سیستم‌ها، در این آزمایش مدل ماشین القایی سه فاز به کمک یک سری آزمایش استخراج و اعتبار آن سنجیده می‌شود. همچنین راه‌اندازی موتور با برق تکفاز به عنوان کاربردی خاص ارائه گردیده است. در شکل زیر مدار معادل موتور نمایش داده شده است.



(الف)



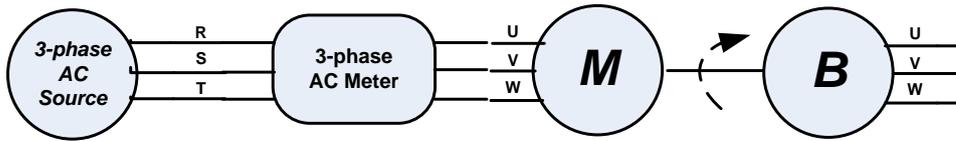
(ب)

شکل ۱-۹ الف) مدار معادل تکفاز موتور القایی سه فاز، ب) مدار معادل تکفاز موتور القایی در شرایط انتقال پارامترهای روتور به طرف استاتور

### ۲-۹ آزمایش و تحلیل

#### ۱-۲-۹ آزمایش‌های یافتن مدار معادل

در بخش اول به کمک مولتی متر، مقدار مقاومت DC سیم پیچ استاتور اندازه گیری می‌گردد. در ادامه دو آزمایش بی باری و روتور قفل شده می‌بایست صورت گیرند. مدار شکل زیر را ببینید و در شرایطی که سربندی استاتور ستاره است، آزمایش را انجام دهید.



### Induction Motor Induction Brake

شکل ۹-۲ مدار آزمایش بررسی موتور القایی سه فاز در شرایط بی‌باری جهت یافتن پارامترهای مدار معادل  
نتایج اندازه‌گیری آزمایش بی‌باری:

جهت آزمایش روتور قفل شده، روتور موتور را با دست نگهدارید و سپس مقدار ولتاژ استاتور را به کمک اتو ترانس سه فاز از صفر تا مقدار نامی تغییر دهید. در شرایطی که جریان موتور به مقدار نامی رسید، ولتاژ، جریان، ضریب توان و توان استاتور را قرائت نمایید.  
نتایج اندازه‌گیری آزمایش روتور قفل شده:

به کمک اطلاعات سه آزمایش صورت گرفته، پارامترهای مدار معادل را محاسبه نمایید:

## ۳-۹ تایید مدل به دست آمده

در این بخش به منظور تایید مدل به دست آمده در بخش قبلی یک سری محاسبه و اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. به این منظور شرایط کاری موتور القایی سه فاز را با تغییر مقدار ترمز ماشین القایی متصل به آن تغییر می‌دهیم. با تکمیل جدول زیر درستی مدل به دست آمده تایید می‌گردد. در انجام این آزمایش ولتاژ ترمینال موتور القایی ثابت و ۲۲۰ ولت و سربندی آن ستاره است.

| ولتاژ ترمز ماشین القایی (V)     | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---------------------------------|---|----|----|----|----|
| جریان خط به روش اندازه‌گیری (A) |   |    |    |    |    |
| سرعت چرخش (rpm)                 |   |    |    |    |    |
| جریان خط به روش تئوری (A)       |   |    |    |    |    |

## ۴-۹ سؤالات آزمایش

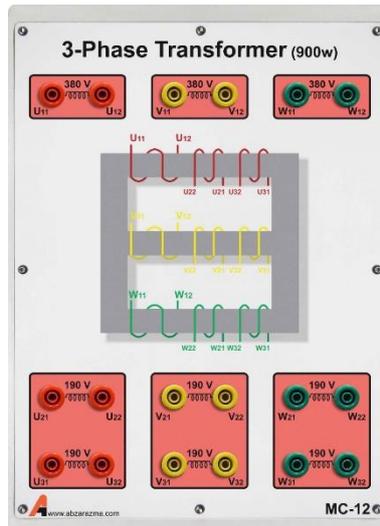
- ۱- دلایل ایجاد خطا بین مقادیر تئوری و اندازه‌گیری شده در آزمایش تایید مدل به دست آمده بیان نمائید.
- ۲- مواردی وجود دارد که دسترسی به برق سه فاز فراهم نیست. در این موارد می‌توان با استفاده از خازن و برق تکفاز موتور سه فاز را راه اندازی نمود. مدار مربوطه را طرح نمائید و مقدار خازن مورد نیاز را نیز محاسبه نمائید.

## ۱۰ ترانس سه فاز ۱

هدف: بررسی ترانس سه فاز در شرایط مختلف کاری و تعیین سرهای سیم پیچ‌های ترانس‌ها

### ۱-۱۰ مقدمه

جهت تبدیل توان سه فاز از یک فرم به فرم دیگر می‌توان از ترانس سه فاز استفاده نمود. در این آزمایش نحوه اتصالات مختلف ترانس بررسی می‌گردد.



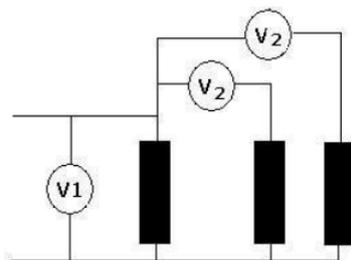
شکل ۱-۱۰ سربندی ترانس برای اولیه و ثانویه‌ها

## ۲-۱۰ تحلیل و شرح آزمایش

### ۱-۲-۱۰ نحوه بستن اتصالات اولیه و ثانویه

با فرض اینکه سرهای اولیه و ثانویه مشخص نباشند و تنها ۶ سرسیم مجزا در دسترس باشد، برای شناسایی سرهای سیم پیچ اولیه می‌توان از توضیحاتی که در ادامه می‌آید استفاده نمود. ابتدا با اهم متر در حالت اندازه‌گیری اهم یا تست بوق، سرهای اول و آخر هر زوج سیم را مشخص می‌نماییم. سیم پیچی که دارای ولتاژ تحمل بالاتری است دارای مقاومت سیم پیچ بالاتری نیز می‌باشد. بدین وسیله سیم پیچ ولتاژ بالا و به طبع آن سیم پیچ ولتاژ پایین شناسایی می‌گردد.

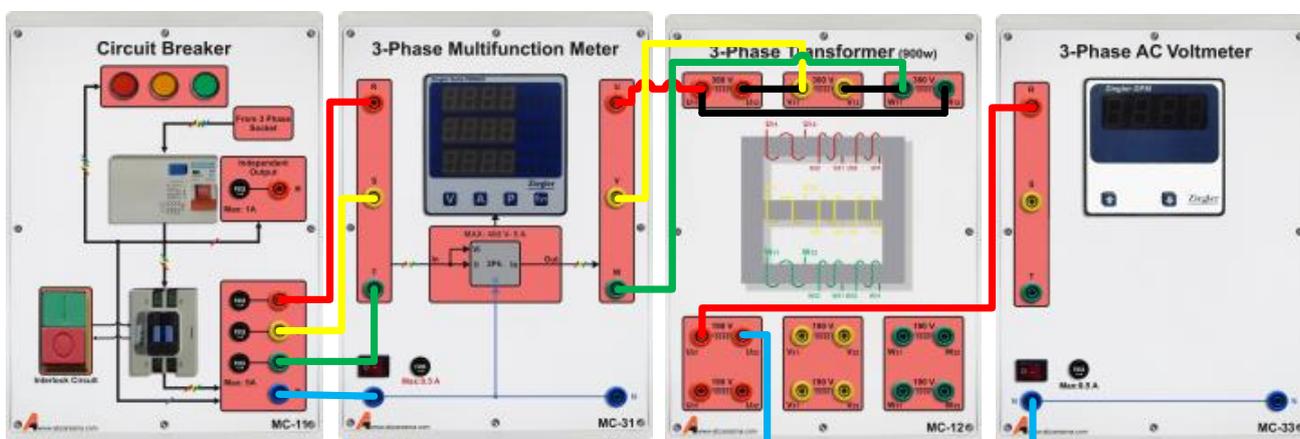
پس از این مرحله تشخیص سر نقطه دار یا بدون نقطه هر سیم پیچ مطرح می‌گردد. برای این منظور سه سر سیم پیچ اولیه را به دلخواه با هم مشترک می‌نماییم. در این شرایط به یکی از سیم پیچ‌ها یک ولتاژ تغذیه پایین (مثلاً ۲۰ ولت) اعمال می‌نماییم. چنانچه ولتاژ القاء شده بین هر یک از دو سر دیگر با سری که به آن ولتاژ اعمال شده است، ۲۰ ولت بیشتر باشد ( $V_2 > V_1$ ) در این صورت، آن سیم پیچ نسبت به سیم پیچ متصل به منبع ولتاژ، معکوس بسته شده است و سرهای نقطه دار آنها بر خلاف یکدیگر است.



شکل ۱۰-۲ نحوه تعیین سرهای نقطه دار ترانس

۱۰-۲-۲ رفتار ترانس در بی باری و تغییر سربندی اولیه

در این بخش رفتار ترانس در شرایط بی‌باری و تحت تغییر ولتاژ ورودی محاسبه می‌گردد. ابتدا سربندی اولیه ترانس مثلث بسته شود و به ازای ولتاژهای ورودی مختلف، ولتاژهای خروجی سه فاز قرائت گردند.



شکل ۱۰-۳ راهنمای اتصال ماژولها برای آزمایش بی باری ترانسفورماتور

| ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ۳۰ | ۲۰ | ولتاژ اولیه فاز (V)          |
|----|----|----|----|----|----|------------------------------|
|    |    |    |    |    |    | ولتاژ ثانویه فاز ۱ (V)       |
|    |    |    |    |    |    | نسبت تبدیل اولیه به ثانویه ۱ |
|    |    |    |    |    |    | ولتاژ ثالثیه فاز ۱ (V)       |

با تغییر سربندی اولیه از مثلث به ستاره جدول زیر را تکمیل نمایید.

| ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ۳۰ | ۲۰ | ولتاژ اولیه فاز (V)          |
|----|----|----|----|----|----|------------------------------|
|    |    |    |    |    |    | ولتاژ ثانویه فاز ۱ (V)       |
|    |    |    |    |    |    | نسبت تبدیل اولیه به ثانویه ۱ |

سربندی مثلث باز و زیگزاگ نیز در برخی موارد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۱۰-۳ سوالات آزمایش

۱- با تغییر سربندی اولیه از مثلث به ستاره، خروجی‌های ترانس چه تغییری می‌نمایند.

۲- یک مورد استفاده برای سربندی مثلث باز و یک مورد برای زیگزاگ ذکر نمائید.

## ۱۱ ترانس سه فاز ۲

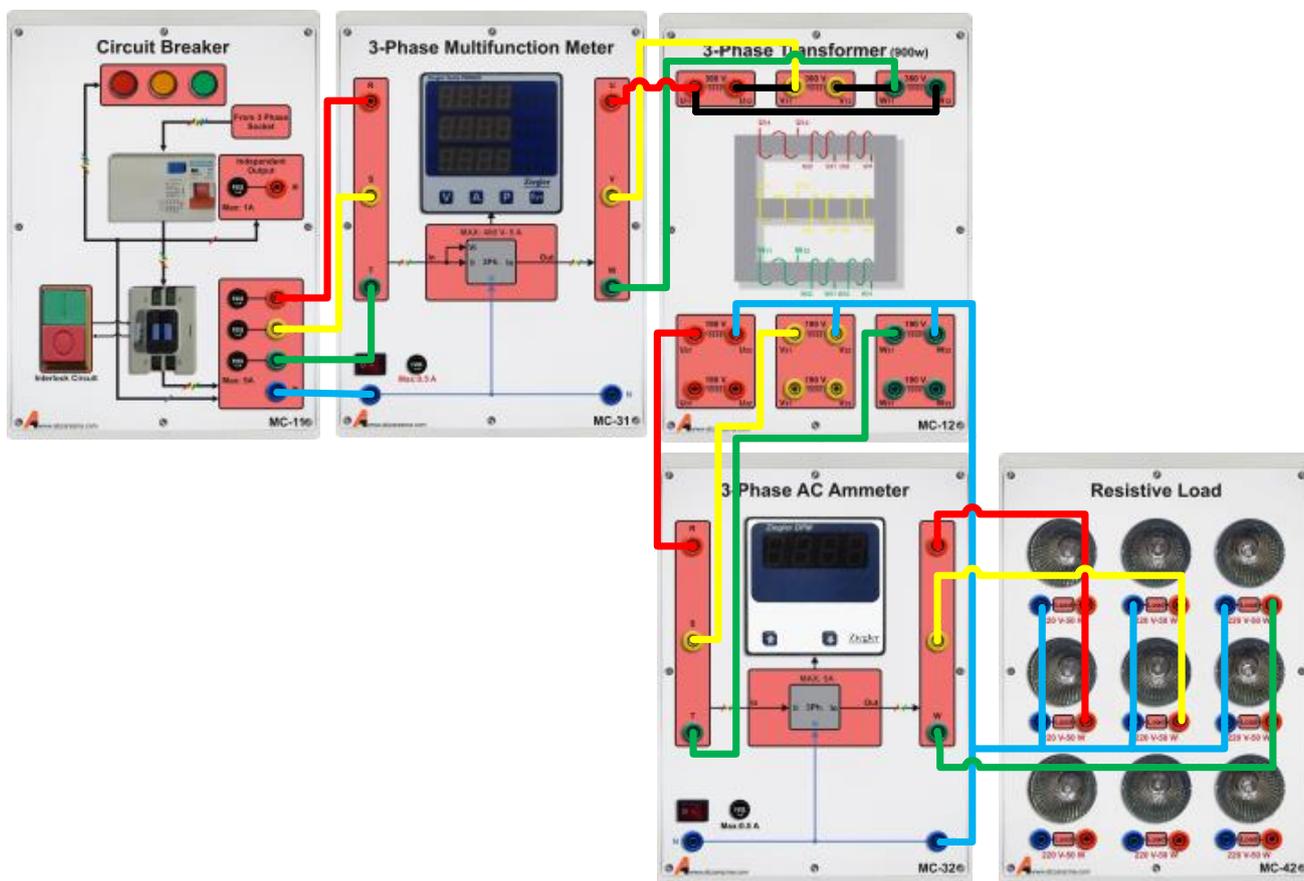
هدف: بررسی رفتار ترانس تحت تغذیه بارهای مختلف

### ۱-۱-۱ مقدمه

در این آزمایش ترانس سه فاز تحت بارهای متعادل خطی و غیرخطی بررسی می‌گردد و اثر سربندی بر میزان آلودگی هارمونیکی ایجاد شده نیز بررسی می‌گردد. توصیه می‌شود در این آزمایش به دلیل تعداد زیاد قرائت‌ها و راحتی کار حتماً از سیستم مانیتورینگ کامپیوتری استفاده گردد. جهت قرائت جریان و ولتاژ مورد نظر، سیگنال مربوطه را از طریق ایزولاتورهای ولتاژ و جریان اندازه‌گیری نمایید.

### ۲-۱-۱ تحلیل و شرح آزمایش

در این بخش رفتار ترانس در شرایط کاری متعادل بررسی می‌گردد. مطابق جدول زیر آرایش‌های مختلف اولیه و ثانویه را ببینید و رفتار ترانس را ثبت نمایید. در همه آزمایش‌های این بخش ولتاژ اولیه ترانس را ۳۸۰ ولت و بار ترانس را برای هر فاز بار خطی ۴۸۰ اهم بگذارید. همچنین بار را در آرایش ستاره مورد استفاده قرار دهید. در همه موارد فقط از سیم پیچ ثانویه ۱ استفاده نمایید.



شکل ۱-۱-۱ راهنمای اتصال ماژولها برای آزمایش بارداری ترانسفورماتور سه فاز در اتصال بار ستاره و اتصال D-Y ترانس

| D-Y | Y-D | Y-Y | سربندی‌ها (primary-secondary)    |
|-----|-----|-----|----------------------------------|
|     |     |     | جریان خط اولیه                   |
|     |     |     | جریان نول اولیه (در صورت وجود)*  |
|     |     |     | جریان خط ثانویه                  |
|     |     |     | جریان نول ثانویه (در صورت وجود)* |

\* برای اندازه‌گیری جریان نول، از مولتی‌متر استفاده کنید.

در ادامه یک پل دیودی سه فاز بین بار ۴۸۰ اهم و خروجی سه فاز ترانس قرار می‌دهیم و آزمایش قبلی را تکرار می‌کنیم. لازم به ذکر است در این حالت بار دیگر سه فاز نیست و یک بار DC محسوب می‌شود و فقط یک مقاومت به عنوان بار در خروجی پل دیودی قرار می‌گیرد.

| D-D | Y-D | Y-Y | سربندی‌ها (primary-secondary)   |
|-----|-----|-----|---------------------------------|
|     |     |     | جریان خط اولیه                  |
|     |     |     | جریان نول اولیه (در صورت وجود)  |
|     |     |     | جریان خط ثانویه                 |
|     |     |     | جریان نول ثانویه (در صورت وجود) |

### ۱۱-۳ سوالات آزمایش

۱- با مقایسه نتایج حاصل از جدول عملکرد بار متعادل غیرخطی، بهترین آرایش کدام است؟

۲- آزمایشی جهت تعیین منحنی هیستریزیس هسته پیشنهاد نمائید.

۳- جریان نول در ترانس به چه دلیل ایجاد می‌گردد؟ در بار خطی تأثیر سربندی بر جریان‌های نول را تحلیل نمائید.

## ۱۲ موتور القایی روتور سیم پیچی شده

هدف: تحقیق رابطه فرکانس های کاری موتور القایی روتور سیم پیچی شده اعم از الکتریکی و مکانیکی

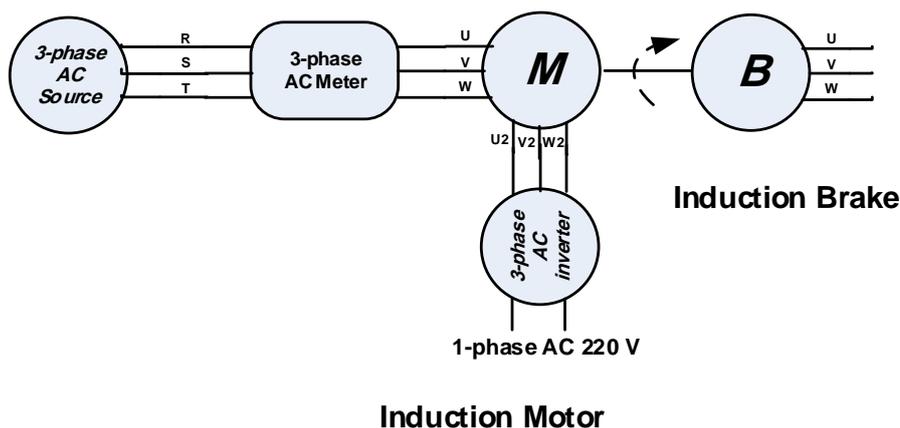
### ۱-۱۲ مقدمه

موتور القایی روتور سیم پیچی شده نسبت به موتور القایی قفس سنجابی دارای قابلیت دسترسی به سیم پیچی های روتور می باشد. امروزه از این ماشین ها جهت ساخت ژنراتور القایی تغذیه دوگانه (DFIG) در توربینهای بادی استفاده می شود. در این آزمایش ساخت تغذیه AC با فرکانس متغیر از طریق ترمینال های روتور و بررسی رابطه فرکانس های کاری موتور القایی مد نظر است.

### ۲-۱۲ آزمایش و تحلیل

#### ۱-۲-۱۲ موتور القایی سه فاز در شرایط تغذیه روتور با اینورتر

در این بخش، استاتور موتور القایی سه فاز با تغذیه AC ۳۸۰ ولت و فرکانس ثابت ۵۰ هرتز تغذیه می شود. روتور نیز از طریق اینورتر در محدوده فرکانسی ۰ تا ۵ هرتز تغذیه می گردد. در این شرایط موتور دارای تغذیه دوگانه است و تغییرات سرعت مورد بررسی قرار می گیرند. سربندی استاتور نیز ستاره در نظر گرفته می شود.



شکل ۱-۱۲ مدار آزمایش بررسی موتور القایی سه فاز روتور سیم پیچی شده در شرایط تغذیه دوگانه

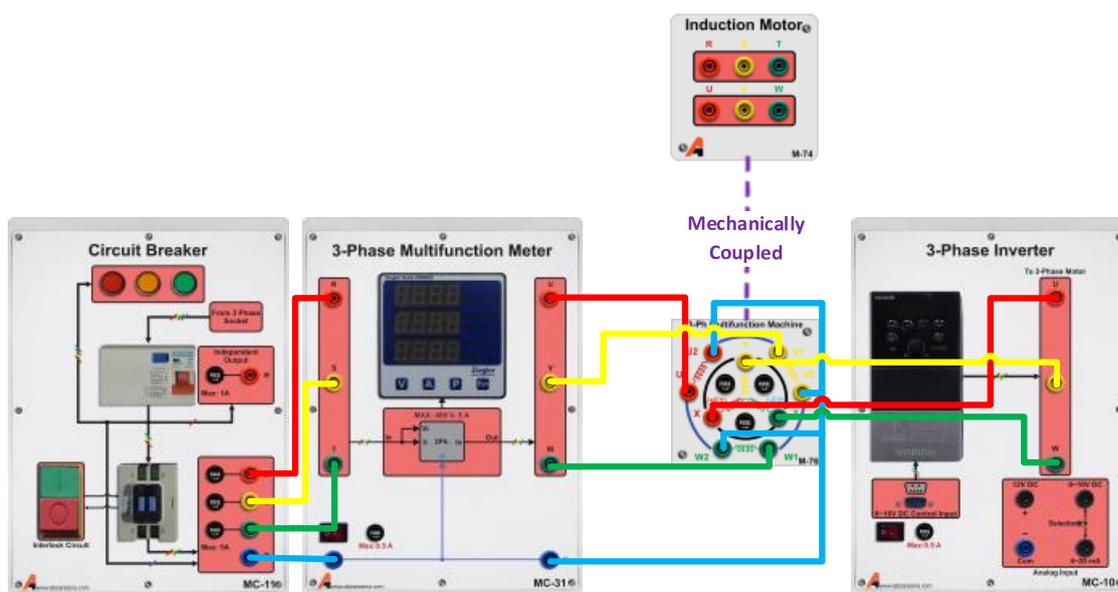
در این شرایط بسته به این که جهت میدان ایجاد شده توسط روتور و استاتور هم جهت باشند یا نه، سرعت مکانیکی موتور کمتر یا بیشتر از سرعت سنکرون (۱۵۰۰ دور بر دقیقه) می باشد. برای دو حالت کاری سرعت مکانیکی زیر سنکرون و بالای سنکرون دو جدول زیر را تکمیل نمایید. برای تغییر جهت نیز تنها لازم است جای دو سیم پیچ روتور را تعویض نمایید.

- حالت اول: سرعت مکانیکی زیر سنکرون

| فرکانس اینورتر یا روتور (Hz)         | ۱ | ۱,۵ | ۲ | ۲,۵ | ۳ | ۳,۵ | ۴ | ۴,۵ | ۵ | ۵,۵ |
|--------------------------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| اختلاف فرکانس تغذیه استاتور با روتور |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| سرعت مکانیکی موتور (rpm)             |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |

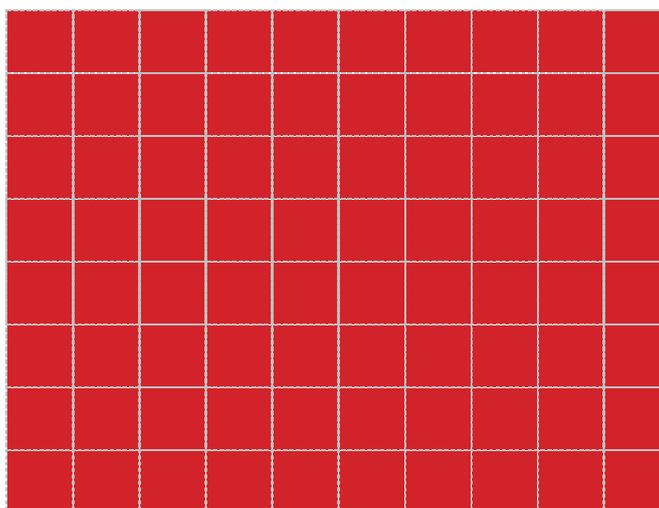
- حالت دوم: برای سرعت مکانیکی بالای سنکرون

| ۵,۵ | ۵ | ۴,۵ | ۴ | ۳,۵ | ۳ | ۲,۵ | ۲ | ۱,۵ | ۱ | فرکانس اینورتر یا روتور (Hz)         |
|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|--------------------------------------|
|     |   |     |   |     |   |     |   |     |   | اختلاف فرکانس تغذیه استاتور با روتور |
|     |   |     |   |     |   |     |   |     |   | سرعت مکانیکی موتور (rpm)             |



شکل ۱۲-۲ راهنمای اتصال ماژولها برای بررسی موتور القایی سه فاز روتور سیم پیچی شده در شرایط تغذیه دوگانه

در شکل زیر نمودار تغییرات اختلاف فرکانس استاتور با روتور بر حسب سرعت مکانیکی را برای دو حالت فوق رسم نمائید. شیب خط را نیز در هر حالت محاسبه نمائید.



شکل ۱۲-۳ نمودار تغییرات اختلاف فرکانس استاتور با روتور-سرعت مکانیکی

## ۳-۱۲ سوالات آزمایش

۱- بر اساس نتایج آزمایشات یک راه ساختن تغذیه AC سه فاز با فرکانس متغیر استفاده از موتور القایی روتور سیم پیچی شده می باشد. رابطه فرکانس AC تولیدی توسط روتور با سرعت چرخش مکانیکی را بیان نمائید.

۲- اگر سرعت باد متغیر باشد و از یک ژنراتور القایی سه فاز روتور سیم پیچی شده جهت تولید توان استفاده گردد و همچنین فرکانس شبکه (یا استاتور) در مقدار ثابت ۵۰ هرتز ثابت باشد، روش پایدار نگه داشتن ژنراتور کنترل چه پارامتری است؟

### ۱۳ راه‌اندازی و کنترل دور موتور القایی سه فاز ۱

هدف: بررسی مساله راه‌اندازی نرم موتور القایی و راه حل‌های آن

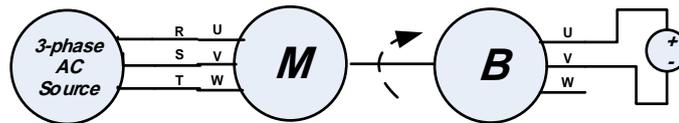
#### ۱-۱۳ مقدمه

مساله راه‌اندازی نرم یا soft start در موتورهای القایی حائز اهمیت می‌باشد. کاهش تنش‌های الکتریکی و مکانیکی زمان راه‌اندازی بسیار مهم می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت راه‌اندازی نرم این موتورها پیشنهاد شده‌اند و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این آزمایش راه‌اندازی با دامنه ولتاژ متغیر (توسط اتوترانس) و راه‌اندازی با فرکانس و ولتاژ متغیر (توسط اینورتر) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۲-۱۳ آزمایش و تحلیل

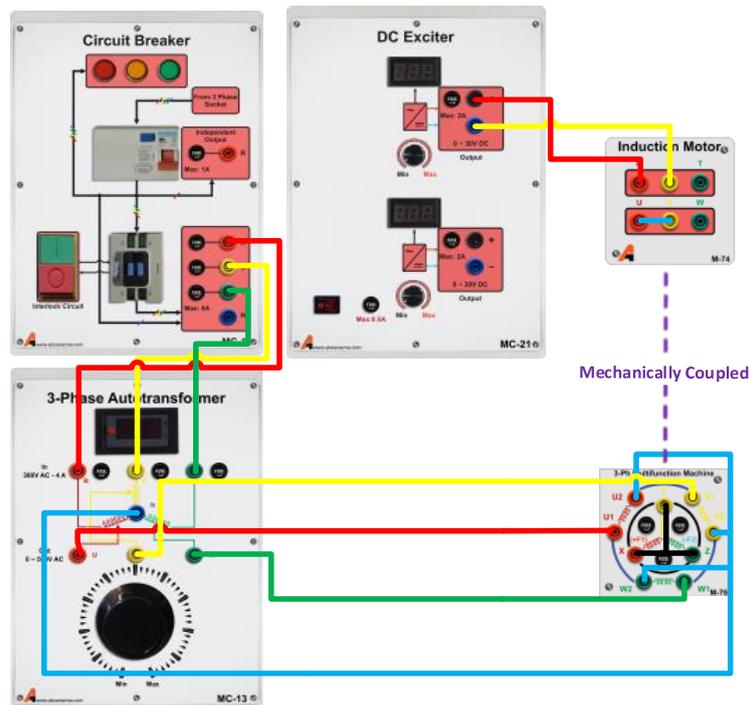
##### ۱-۲-۱۳ راه‌اندازی نرم با اتوترانس

ابتدا موتور را به طور مستقیم و بدون هیچ مدار راه‌اندازی به تغذیه ۱۱۰ ولت متصل می‌نمائیم. در این شرایط به کمک نرم افزار مانیتورینگ ماشین یا مولتی متر حداکثر جریان قرائت شده در راه‌اندازی را ثبت می‌نمائیم. به منظور بررسی دقیق‌تر این موضوع پس از بستن مدار پیشنهادی زیر جدول خواسته شده را تکمیل نمائید.



#### Induction Motor Induction Brake

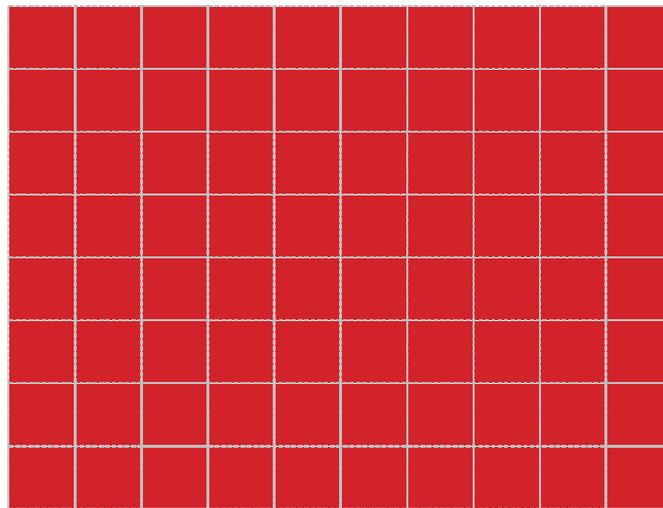
شکل ۱-۱۳ مدار آزمایش بررسی جریان راه‌اندازی موتور القایی سه فاز



شکل ۱۳-۲ راهنمای اتصال ماژولها برای بررسی جریان راه اندازی موتور القایی سه فاز

| ۳۰ | ۲۰ | ۱۰ | ۰ | ولتاژ ترمز ماشین القایی                           |
|----|----|----|---|---|
|    |    |    |   | جریان حداکثر راه اندازی در شرایط سربندی مثلث (A)  |
|    |    |    |   | جریان حداکثر راه اندازی در شرایط سربندی ستاره (A) |

در شکل زیر نمودار تغییرات جریان حداکثر راه اندازی بر حسب بار مکانیکی موتور را برای دو سربندی ستاره و مثلث رسم نمائید و نتایج را مقایسه نمائید.

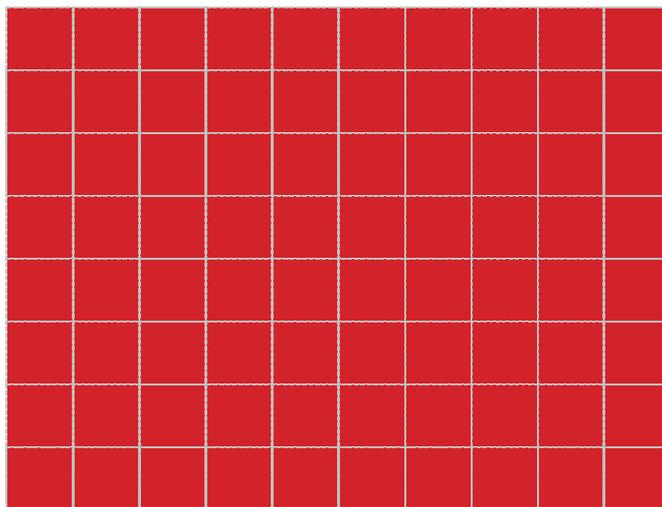


شکل ۱۳-۳ نمودار تغییرات جریان حداکثر راه اندازی بر حسب بار مکانیکی موتور برای دو سربندی ستاره و مثلث

در ادامه با تنظیم مقدار اتوترانس مطابق با مقادیر مشخص شده و تنظیم مقدار ولتاژ ترمز ماشین القایی در ۳۰ ولت، آزمایش قبلی را تکرار و جدول را تکمیل نمائید.

|  | ۳۰ | ۵۰ | ۷۰ | ۹۰ | ۱۱۰ | مقدار تنظیم اتوترانس                              |
|--|----|----|----|----|-----|---|
|  |    |    |    |    |     | جریان حداکثر راه اندازی در شرایط سربندی مثلث (A)  |
|  |    |    |    |    |     | جریان حداکثر راه اندازی در شرایط سربندی ستاره (A) |

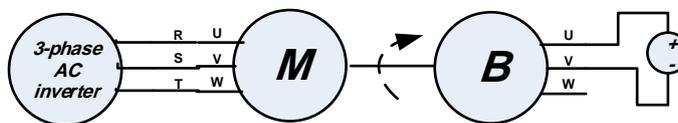
در شکل زیر نمودار تغییرات جریان حداکثر راه اندازی بر حسب مقدار تنظیم اتوترانس را رسم نمائید و نتیجه حاصل را تحلیل نمائید.



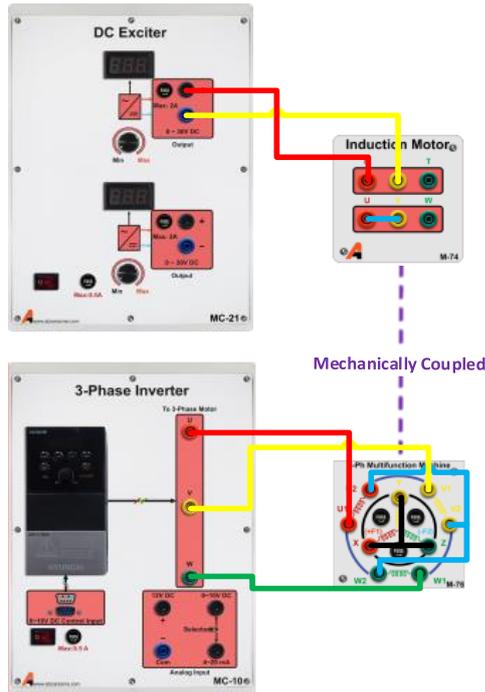
شکل ۱۳-۴ نمودار تغییرات جریان حداکثر راه اندازی بر حسب تنظیم ولتاژ اتوترانس

### ۱۳-۲-۲ موتور القایی سه فاز در شرایط تغذیه موتور با اینورتر

موتور را در این شرایط با اینورتر سه فاز تغذیه نمائید. در این شرایط به کمک نرم افزار مانیتورینگ ماشین یا مولتی متر حداکثر جریان راه اندازی را ثبت می نمائیم. به منظور بررسی دقیق تر این موضوع پس از بستن مدار پیشنهادی زیر جدول خواسته شده را تکمیل نمائید. در این آزمایش سربندی موتور را نیز ستاره قرار دهید. تنظیم مقدار ولتاژ ترمز ماشین القایی در ۳۰ ولت صورت گیرد. لازم به ذکر است که اینورترها تنظیم دامنه و فرکانس را به طور توأم انجام می دهند و معمولاً نسبت ولتاژ به فرکانس را ثابت نگه می دارند.



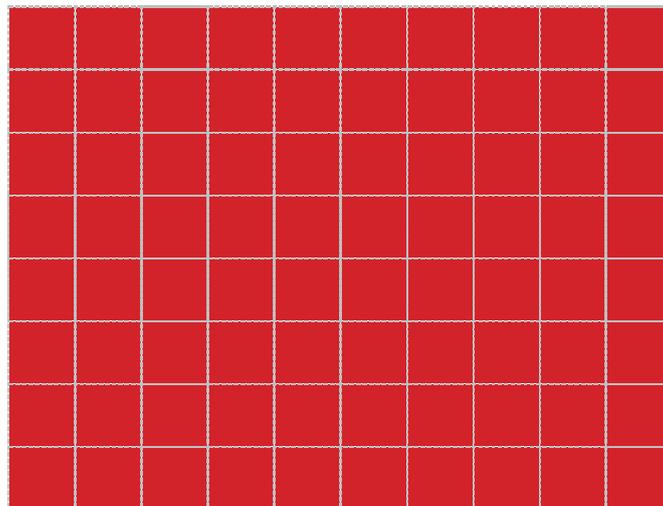
شکل ۱۳-۵ مدار آزمایش بررسی جریان راه اندازی موتور القایی سه فاز در شرایط تغییر فرکانس ورودی



شکل ۱۳-۶ راهنمای اتصال مازول‌ها بررسی جریان راه اندازی موتور القایی سه فاز در شرایط تغییر فرکانس ورودی

| ۵۰ | ۴۵ | ۴۰ | ۳۵ | ۳۰ | ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | فرکانس اینورتر (Hz)                               |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |   | جریان حداکثر راه اندازی در شرایط سربندی ستاره (A) |
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |   | جریان حداکثر راه اندازی در شرایط سربندی مثلث (A)  |

در شکل زیر نمودار تغییرات جریان حداکثر راه اندازی بر حسب بار مکانیکی موتور را برای دو سربندی ستاره و مثلث رسم نمائید و نتایج را مقایسه نمائید.



شکل ۱۳-۷ نمودار تغییرات جریان حداکثر راه اندازی بر حسب فرکانس تغذیه استاتور

### ۳-۱۳ سوالات آزمایش

۱- بر اساس نتایج آزمایشات رابطه ای تحلیلی بین جریان راه اندازی با ولتاژ و فرکانس ورودی طرح نمائید.

یکی از روش‌های راه اندازی نرم در گذشته استفاده از مقاومت پله ای در استاتور یا روتور بوده است، راجع به عملکرد مقاومت در این دو روش بحث نمائید

## ۱۴ راه‌اندازی و کنترل دور موتور القایی سه فاز ۲

هدف: کنترل حلقه بسته موتور القایی سه فاز

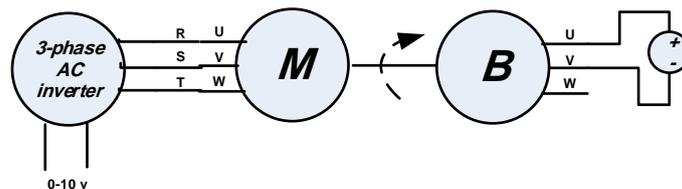
### ۱-۱۴ مقدمه

با توجه به مزایای فوق العاده زیاد موتور القایی سه فاز و کاربردهای متعدد مرتبط با کنترل دور موتور، کنترل دقیق دور موتور حائز اهمیت می‌باشد. در این آزمایش کنترل حلقه بسته موتور با استفاده از سنسور حساس به فلز، مبدل فرکانس به ولتاژ، ماژول کنترل PID و اینورتر صورت می‌گیرد.

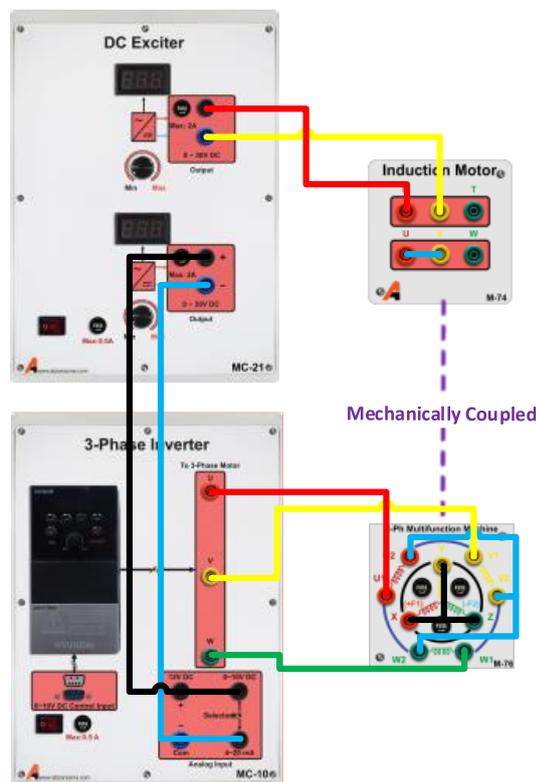
### ۲-۱۴ آزمایش و تحلیل

#### ۱-۲-۱۴ کنترل حلقه باز

در این قسمت ابتدا با توجه به دفترچه راهنمای اینورتر، تنظیم فرکانس اینورتر را در حالت دریافت فرمان از طریق ترمینال ورودی تنظیم می‌نمائیم. سپس با تغییر ولتاژ اعمالی به ترمینال فرمان، تغییرات جدول را تکمیل نمائید. جهت انجام آزمایش مدار زیر را ببندید. در این آزمایش ژنراتور تحریک مستقل را در شرایط بی باری قرار دهید.



شکل ۱-۱۴ مدار آزمایش بررسی کنترل دور موتور در شرایط کنترل حلقه باز

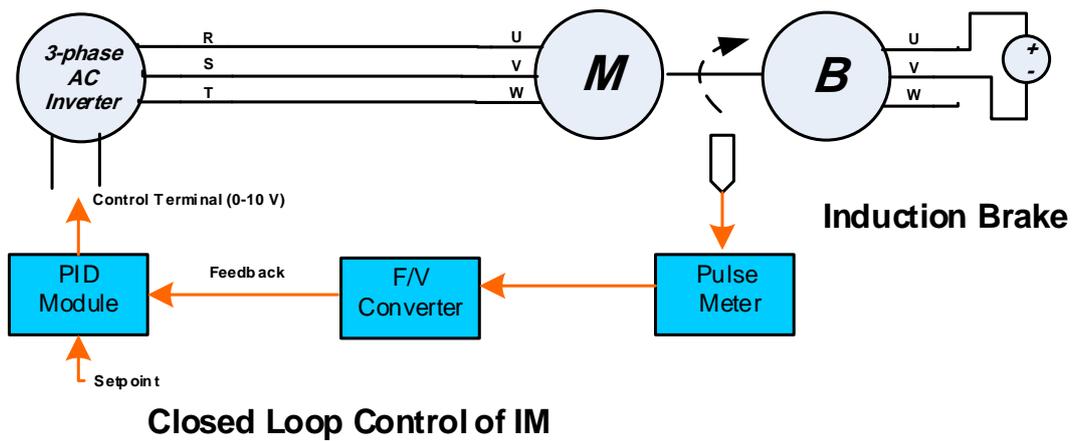


شکل ۱۴-۲ اتصال ماژول‌ها در کنترل دور حلقه باز موتور

| ۱۰ | ۸ | ۶ | ۴ | ۲ | ۰ | ولتاژ اعمالی به ترمینال کنترل (V)   |
|----|---|---|---|---|---|-------------------------------------|
|    |   |   |   |   |   | سرعت موتور به ازای 10VDC بر حسب rpm |
|    |   |   |   |   |   | سرعت موتور به ازای 20VDC بر حسب rpm |

۱۴-۲-۲ کنترل حلقه بسته

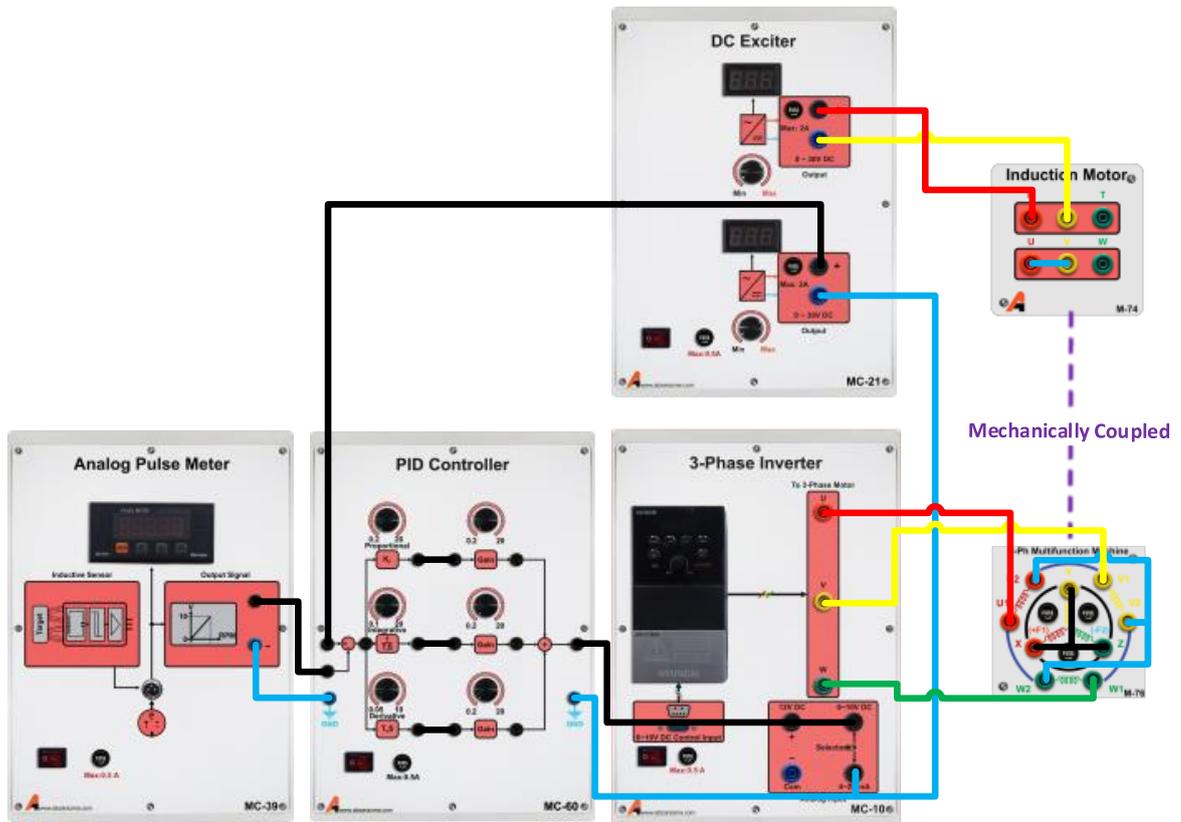
سنسور حساس به فلز نصب شده بر روی میز آزمایشگاهی از نوع القایی بوده و دارای خروجی پالسی می باشد. در زمان هایی که سنسور حساس به فلز در مقابل فلز نصب شده بر روی شفت می باشد، خروجی سنسور صفر می باشد و در بقیه زمان ها خروجی ۱۲ ولت تولید می نماید. این پالس های تولیدی به ماژول مبدل فرکانس به ولتاژ اعمال می گردد. نتیجه حاصل سیگنال پیوسته ۰ تا ۵ ولت جهت اعمال به ماژول کنترل PID می باشد. این ماژول مبتنی بر مدارات op-amp ای بوده و سیگنال سرعت مطلوب را از طریق پتانسیومتر نصب شده بر روی ماژول مبدل فرکانس به ولتاژ دریافت می نماید. خروجی این ماژول در محدوده ۰ تا ۱۰ ولت می باشد و جهت انجام عملیات کنترل، این خروجی به ورودی فرمان اینورتر اعمال می گردد. برای تنظیم ضرایب کنترل کننده PID نیز از روش سعی و خطا استفاده نمائید. در این آزمایش ژنراتور تحریک مستقل را در شرایط بی باری قرار دهید.



شکل ۱۴-۳ مدار آزمایش بررسی کنترل دور موتور در شرایط کنترل حلقه بسته

| ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۰ | ولتاژ اعمالی به ترمینال Setpoint (V) |
|---|---|---|---|---|---|--------------------------------------|
|   |   |   |   |   |   | ولتاژ تولیدی در ترمینال Feedback     |
|   |   |   |   |   |   | خطا در ماژول PID                     |
|   |   |   |   |   |   | سرعت موتور (rpm)                     |

رابطه سرعت مطلوب با ولتاژ Setpoint خطی می باشد و این ضریب  $\frac{1500 \text{ rpm}}{5V}$  میباشد.



شکل ۱۴-۴ راهنمای اتصال مازول‌ها برای کنترل حلقه بسته دور موتور القایی

### ۳-۱۴ سوالات آزمایش

۱- آزمایشی جهت به دست آوردن ضریب خطی  $\frac{1500 \text{ rpm}}{5V}$  پیشنهاد نمایید.

۲- از لحاظ کنترل یک سیستم حلقه بسته مقاوم بودن سیستم حلقه بسته به تغییرات اغتشاش بسیار مهم می‌باشد. با توجه به آزمایش صورت گرفته مهم‌ترین اغتشاش در سیستم‌های کنترل دور موتور چه می‌باشد؟

۳-

## ۱۵ مؤلفه‌های کیفیت توان و تصحیح ضریب قدرت

هدف آزمایش: تصحیح ضریب توان با استفاده از خازن گذاری

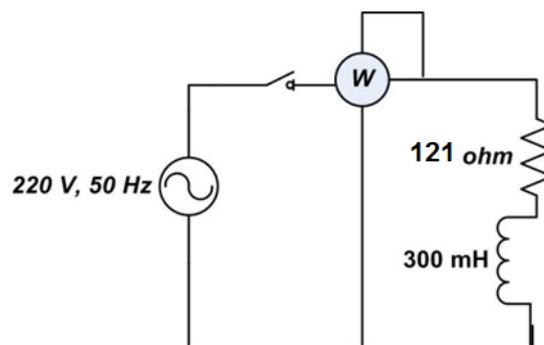
### ۱-۱۵ مقدمه و تئوری

ضریب قدرت اکثر بارهای الکتریکی کمتر از یک و معمولاً سلفی می‌باشد. از این رو به دلیل کاهش تلفات و کاهش هزینه‌ها، اصلاح ضریب توان از طریق روش معمول خازن گذاری ضروری می‌باشد.

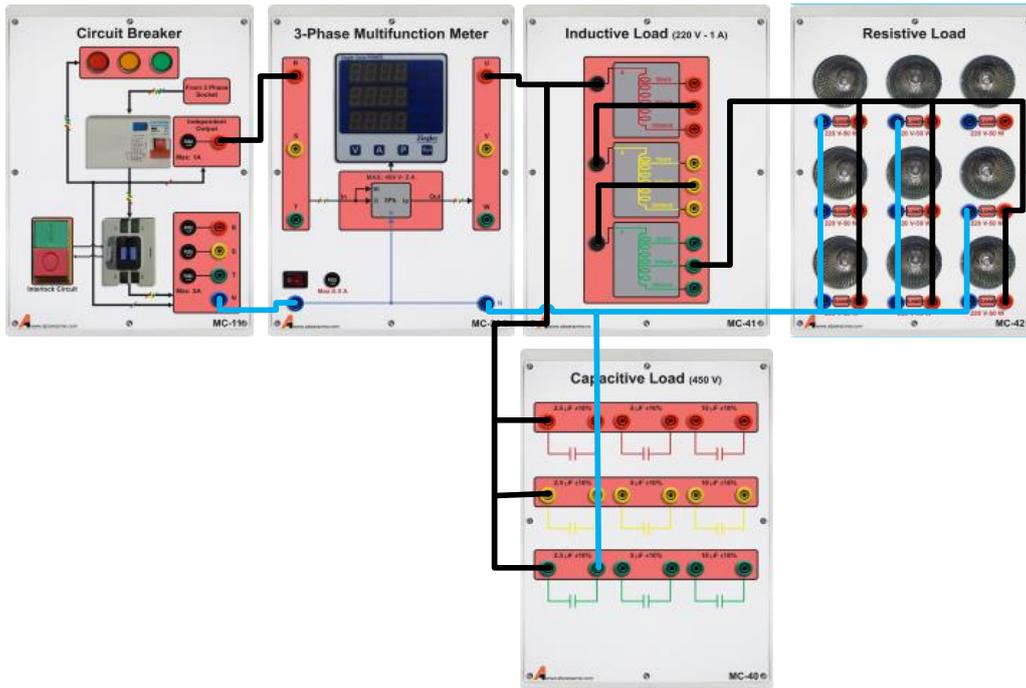
### ۲-۱۵ آزمایش و تحلیل

#### ۱۵-۲-۱ اصلاح ضریب توان برای بار اهمی-سلفی

یک منبع AC ۲۲۰ ولت را مطابق مدار زیر به بار مقاومتی ۱۲۱ اهم و سلفی ۳۰۰ میلی‌هنری متصل نمایید. به کمک مولتی‌فانکشن متر کمیت‌های الکتریکی مشخص شده در جدول زیر را اندازه‌گیری نمایید. مقادیر تئوری را در هنگام تنظیم گزارش محاسبه و وارد نمایید. مقدار خازن جبران ساز را برای دستیابی به ضریب توان ۰/۹ پس‌فاز محاسبه نمایید. پس از قرار دادن خازن محاسبه شده مجدداً مدار را ببندید و ضریب توان را قرائت نمایید.



شکل ۱-۱۵ مدار آزمایش اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی مدار سلفی-مقاومتی



شکل ۱۵-۲ راهنمای اتصال ماژولها در جبران سازی خازنی به ازاء یک خازن نمونه

| بعد از خازن گذاری |        | قبل از خازن گذاری |        | واحد | کمیت /نوع                                 |
|-------------------|--------|-------------------|--------|------|---|
| اندازه گیری       | محاسبه | اندازه گیری       | محاسبه |      |   |
|                   |        |                   |        |      | توان واقعی (P)                            |
|                   |        |                   |        |      | توان موهومی (Q)                           |
|                   |        |                   |        |      | ضریب توان (PF)                            |
| -                 | -      |                   |        |      | توان موهومی مورد نیاز جهت جبران ضریب توان |
|                   | -      | -                 |        |      | مقدار خازن موازی جهت اصلاح ضریب توان      |

### ۳-۱۵ سوالات آزمایش

- با توجه به نتایج آزمایش های صورت گرفته رابطه ای تحلیلی برای مقدار خازن مورد نیاز جهت اصلاح ضریب قدرت یک بار سلفی استخراج نمائید.

۲- یک نمونه بار خازنی در شبکه مثال بزنید. راه حل اصلاح ضریب قدرت در این شرایط چیست؟

## ۱۶ تخمین متغیرهای حالت ماشین در حالت دائمی

هدف: اندازه‌گیری سرعت بدون استفاده از سنسور سرعت

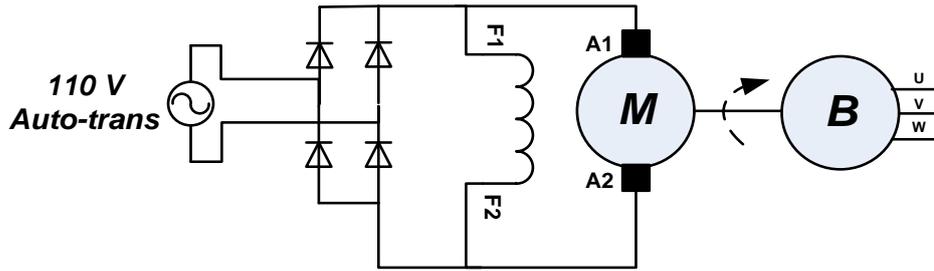
### ۱-۱۶ مقدمه

یک مساله مهم در زمینه کنترل ماشین‌های الکتریکی، مبحث اندازه‌گیری بدون سنسور (Sensorless) می‌باشد. منظور از اندازه‌گیری بدون سنسور، تخمین برخی متغیرهای ماشین به وسیله اندازه‌گیری یک سری دیگر از متغیرها می‌باشد. برخی متغیرهای حالت ماشین دارای سنسور اندازه‌گیری گران قیمت یا سنسور اندازه‌گیری با قابلیت اطمینان پایین می‌باشند، در این موارد اندازه‌گیری بدون سنسور اهمیت می‌یابد.

در این آزمایش برای موتور شنت DC، فرآیند تخمین سرعت موتور از روی ولتاژ و جریان آن بررسی می‌گردد.

### ۲-۱۶ آزمایش و تحلیل

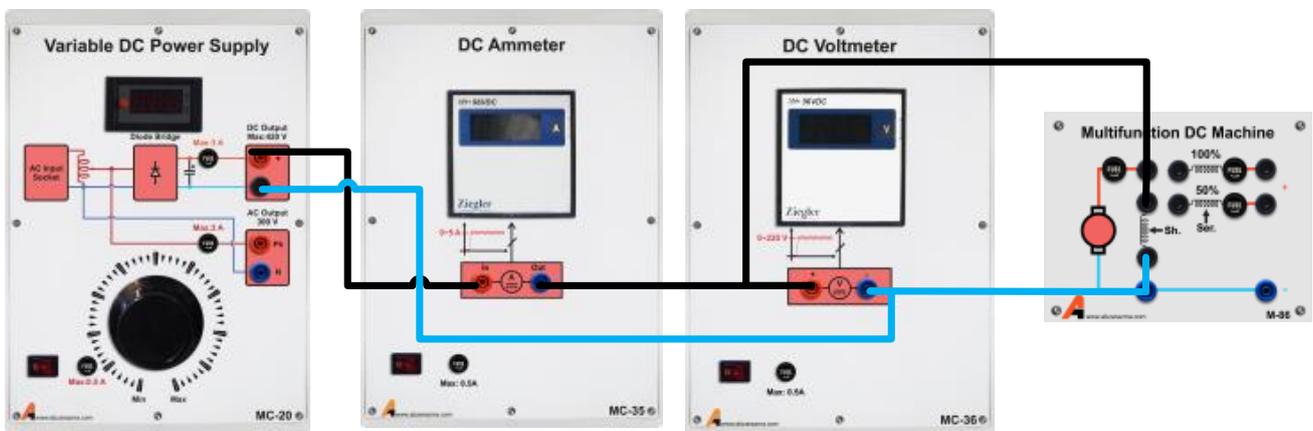
در ادامه موتور جریان مستقیم شنت در شرایط بی‌باری مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج اندازه‌گیری در جدول داده‌شده ثبت گردد. نحوه اتصال سیم‌پیچ‌های ماشین‌ها در شکل نشان داده شده است.



Shunt Excited DC Motor

Induction Machine (DC Brake)

شکل ۱۶-۱ نحوه اتصال موتور جریان مستقیم شنت جهت تخمین سرعت در شرایط بی باری



شکل ۱۶-۲ راهنمای اتصال مازولها در تخمین سرعت موتور جریان مستقیم شنت در شرایط بی باری

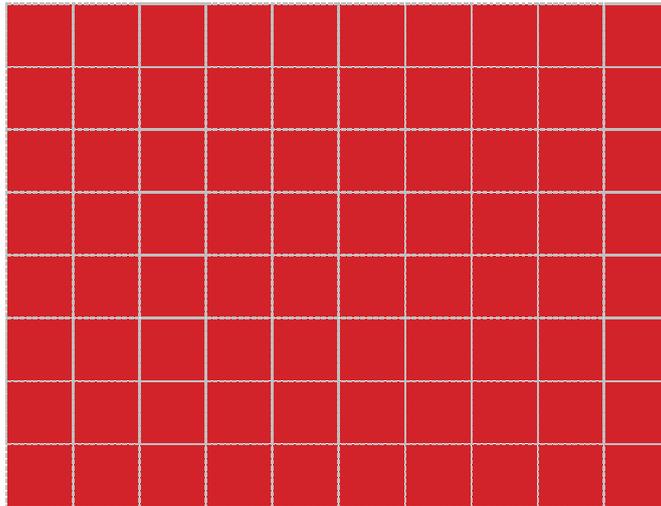
| ۹۰ | ۸۰ | ۶۰ | ۴۰ | ۲۰ | ولتاژ تحریک (V)  |
|----|----|----|----|----|------------------|
|    |    |    |    |    | جریان آرمیچر (A) |
|    |    |    |    |    | سرعت موتور (rpm) |

هدف یافتن یک رابطه استاتیکی به صورت زیر می باشد:

$$\omega_m = f(I_m, V_m)$$

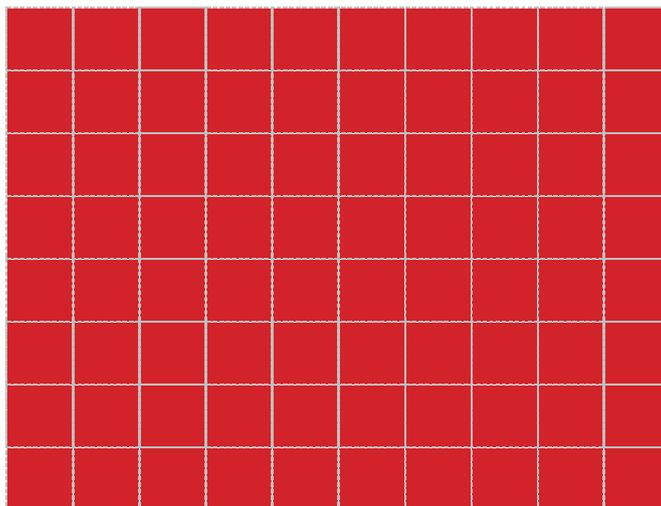
جهت انجام این کار انواع و اقسام روش‌های محاسبات عددی مطرح شده اند. در ادامه به کمک جعبه ابزار CFTool یا برازش منحنی نرم افزار MATLAB رابطه ای خطی بین ولتاژ و جریان موتور با سرعت آن به دست آورید. رابطه حاصل به صورت زیر به دست می‌آید:

در شکل زیر تغییرات توأم سرعت واقعی با سرعت تخمینی را بر حسب ولتاژ رسم نمائید.



شکل ۱۶-۳ نمودار تغییرات سرعت واقعی و سرعت تخمینی بر حسب ولتاژ آرمیچر

در ادامه یک رابطه غیرخطی جهت برازش منحنی پیشنهاد دهید و به کمک روش‌های محاسبات عددی یا جعبه ابزار برازش منحنی عملیات قبلی را تکرار نمائید. برای رابطه جدید نیز نمودار زیر را رسم نمائید. پیشنهاد می‌گردد رابطه غیرخطی از روابط تقریبی ماشین استخراج گردد.



شکل ۱۶-۴ نمودار تغییرات سرعت واقعی و سرعت تخمینی بر حسب ولتاژ آرمیچر

### ۳-۱۶ سؤال

۱- دلایل ایجاد خطا بین سرعت تخمینی و سرعت واقعی را بیان نمائید.

۲- در صورت تغییر بار مکانیکی مساله تخمین سرعت مشکل‌تر می‌گردد. راه حلی برای رابطه غیرخطی پیشنهادی در این شرایط ارائه نمائید.

## ۱۷ موتور سنکرون

**هدف:** بررسی رفتار موتور سنکرون به ازای بارهای مختلف و جریان تحریک متغیر

### ۱-۱۷ مقدمه

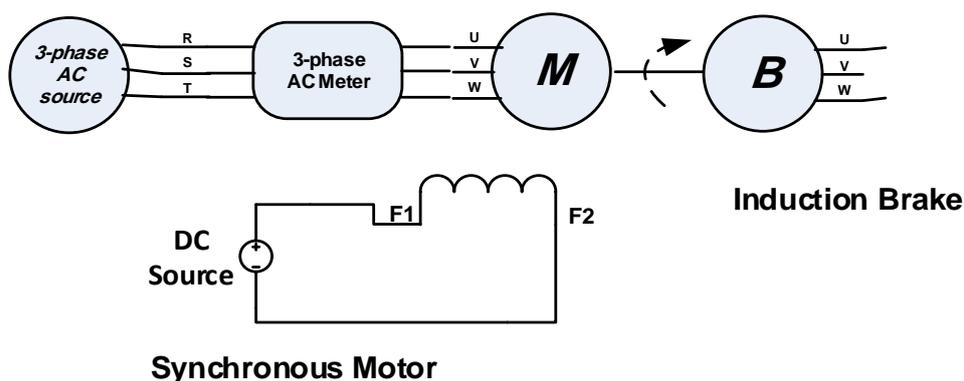
در کاربردهای توان بالا و سرعت ثابت استفاده از موتورهای سنکرون مقرون به صرفه می‌باشد. در این آزمایش موتور سنکرون مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

### ۲-۱۷ آزمایش و تحلیل

در ادامه موتور سنکرون در شرایط بی‌باری و بارداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

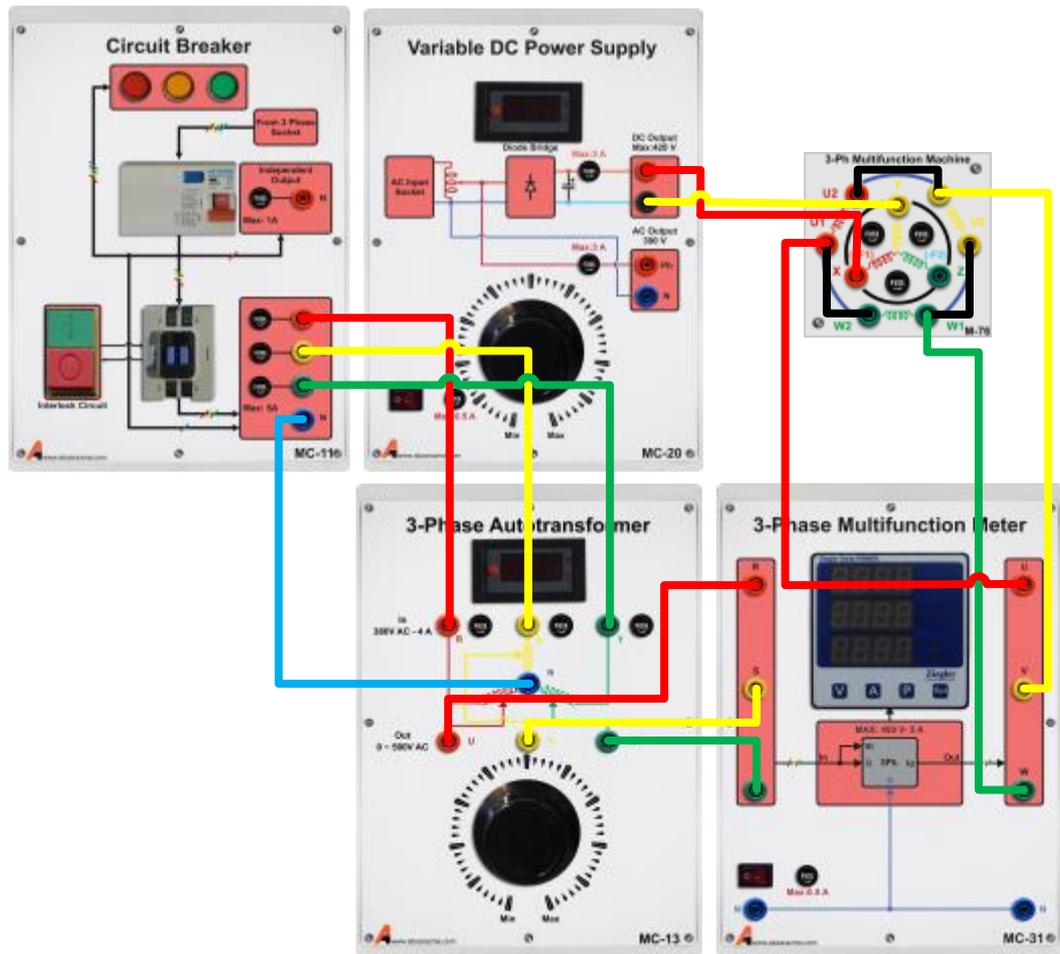
#### ۱-۲-۱۷ بی‌باری موتور سنکرون

در شرایط بی‌باری هیچ بار مکانیکی بر روی موتور قرار ندارد و توان تحویلی به موتور فقط صرف گردش روتور می‌شود. در ابتدا مقدار جریان تحریک روی مقدار نامی قرار می‌گیرد و با تغییر ولتاژ استاتور، تغییر رفتار موتور در این شرایط ثبت می‌گردد. مدار مورد نظر جهت این آزمایش به صورت شکل زیر می‌باشد. سربندی موتور را نیز در حالت مثلث قرار دهید. نتایج اندازه‌گیری را در جدول داده شده ثبت نمایید. منبع AC سه فاز در این شکل ۱۵۰ ولت تنظیم گردد.



شکل ۱-۱۷ نحوه اتصال موتور سنکرون جهت بررسی مشخصات عملکردی در شرایط بی‌باری

| ۶۰ | ۴۰ | ۲۰ | ولتاژ اتوترانس (V) |
|----|----|----|--------------------|
|    |    |    | جریان موتور (A)    |
|    |    |    | سرعت موتور (rpm)   |



شکل ۱۷-۲ راهنمای اتصال ماژولها جهت بررسی مشخصات عملکردی موتور سنکرون در شرایط بی باری

در ادامه، فرآیند فوق به ازای تغییر جریان تحریک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این شرایط همه پارامترها ثابت و فقط جریان تحریک تغییر می‌نماید. مدار مناسب جهت این آزمایش را طرح نموده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

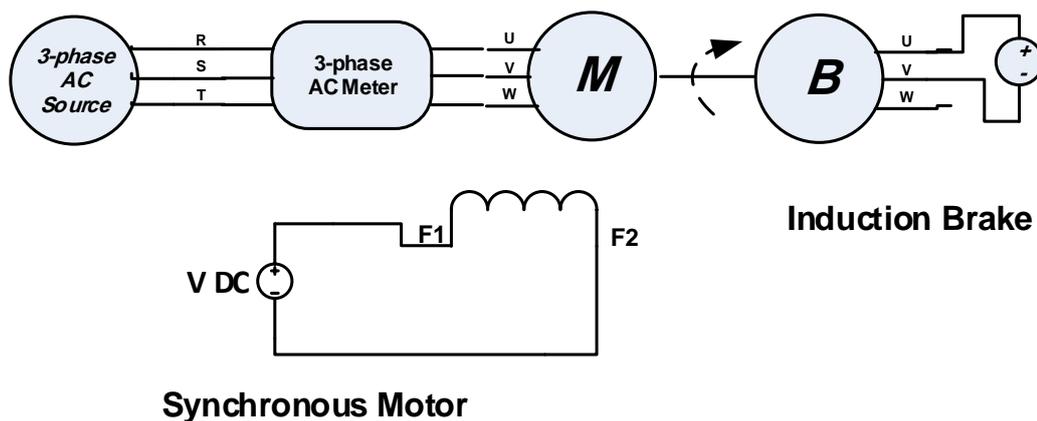
|  |
|--|
|  |
|--|

شکل ۱۷-۳ نحوه اتصال موتور سنکرون جهت بررسی اثر جریان تحریک بر رفتار ماشین (طراحی)

|    |    |    |    |    |   |                         |
|----|----|----|----|----|---|-------------------------|
| 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0 | مقاومت سری ( $\Omega$ ) |
|    |    |    |    |    |   | جریان تحریک (V)         |
|    |    |    |    |    |   | سرعت موتور (rpm)        |

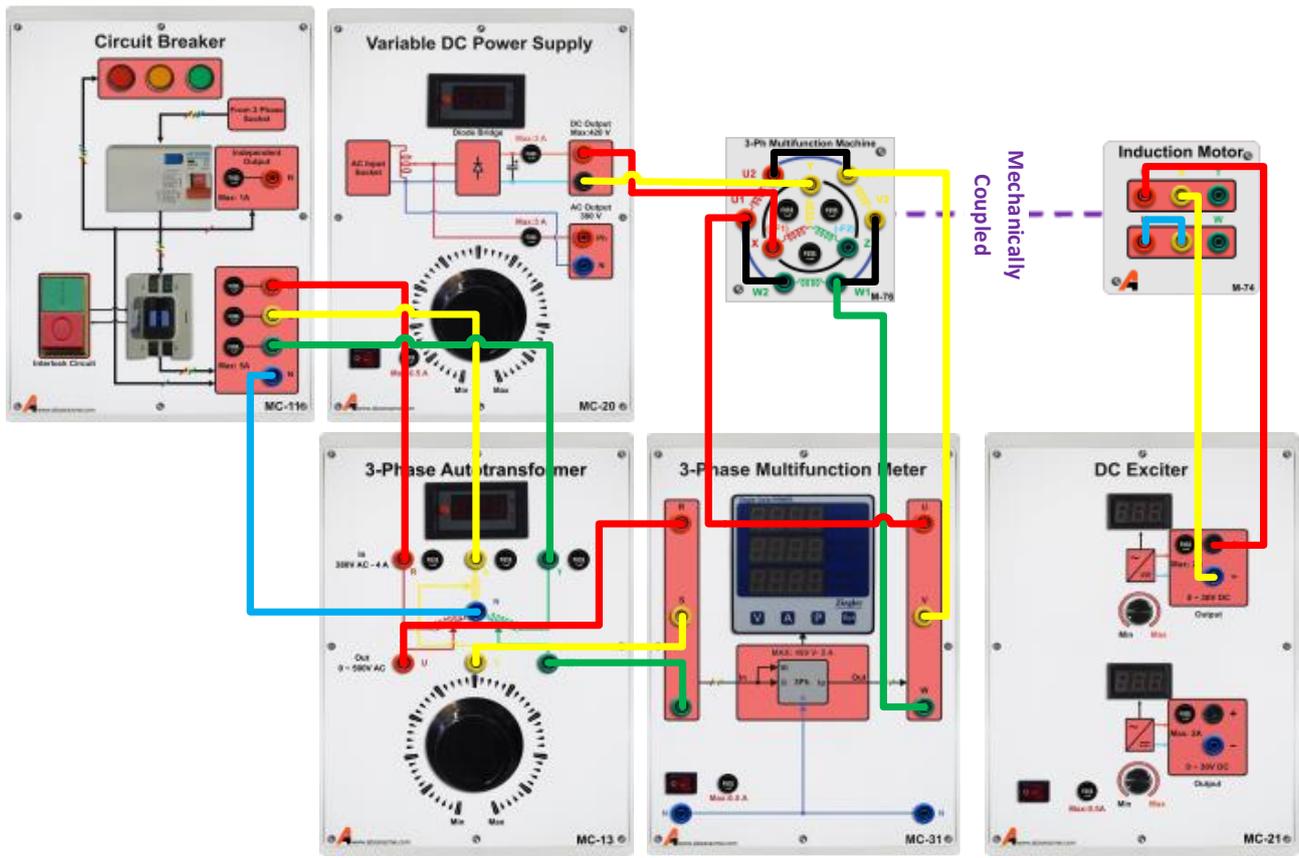
۱۷-۲-۲ بارداری موتور سنکرون

در این شرایط بار مکانیکی بر روی موتور تغییر می‌نماید و ولتاژ استاتور موتور و جریان تحریک ثابت نگه داشته می‌شوند. در ابتدا مقدار ولتاژ تحریک روی مقدار نامی قرار می‌گیرد و با تغییر ولتاژ استاتور از صفر تا مقدار نامی موتور به صورت نرم راه‌اندازی می‌شود. تغییر رفتار موتور در این شرایط ثبت می‌گردد. مدار مورد نظر جهت این آزمایش به صورت شکل زیر بوده و مقدار مقاومت به صورت پیوسته تغییر می‌نماید. همچنین نتایج اندازه‌گیری در جدول داده‌شده ثبت گردد. سربندی موتور را نیز ستاره قرار دهید و منبع AC سه فاز در این شکل ۲۲۰ ولت تنظیم گردد.



شکل ۱۷-۴ نحوه اتصال موتور سنکرون جهت بررسی رفتار بارداری موتور

|    |    |    |    |    |   |   |                            |
|----|----|----|----|----|---|---|----------------------------|
| 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | • | $V_{dc}$                   |
|    |    |    |    |    |   |   | جریان استاتور<br>موتور (A) |
|    |    |    |    |    |   |   | سرعت موتور<br>(rpm)        |
|    |    |    |    |    |   |   | توان ورودی<br>موتور (W)    |



شکل ۱۷-۵ اتصال مازولها جهت بررسی رفتار موتور سنکرون در شرایط بارداری

### ۱۷-۳ سوالات آزمایش

۱- در آزمایش بارداری، روشی جهت تخمین منحنی گشتاور سرعت با توجه به داده‌های جدول پیشنهاد نمایید.

## ۱۸ ژنراتور سنکرون ۱

هدف: بررسی رفتار ژنراتور سنکرون

### ۱-۱۸ مقدمه

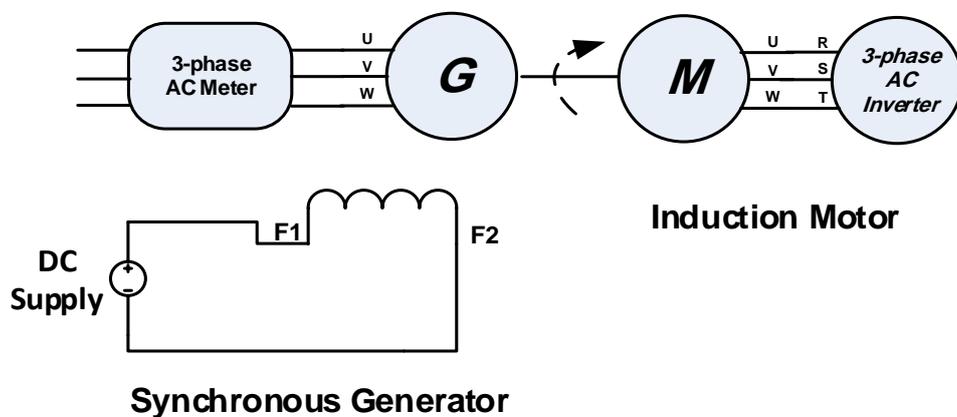
ژنراتور سنکرون متداول‌ترین نوع ماشین جهت تولید توان الکتریکی در ابعاد توان بالا می‌باشد. راندمان بالای این ماشین دلیل عمده استفاده از آن می‌باشد. همچنین در این ماشین‌ها کنترل توان حقیقی با کنترل توان مکانیکی ورودی به ژنراتور و کنترل توان مجازی با کنترل میزان جریان تحریک صورت می‌گیرد. در این آزمایش رفتار ژنراتور سنکرون بررسی گردیده است.

### ۲-۱۸ آزمایش و تحلیل

#### ۱-۲-۱۸ بی‌باری ژنراتور سنکرون

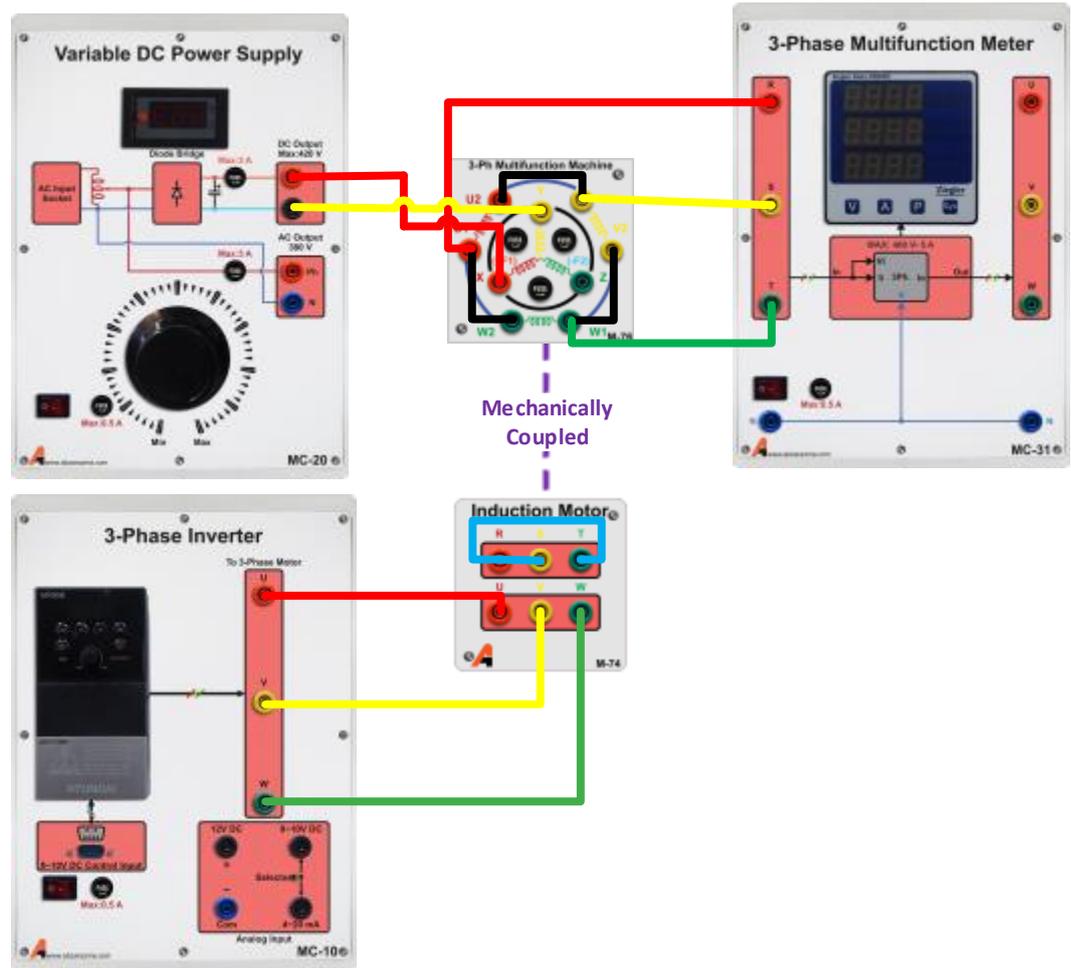
در این بخش ولتاژ تولیدی توسط ژنراتور سنکرون در شرایط تغییر جریان تحریک که سیم پیچ آن بر روی روتور سوار است، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. جهت راه‌اندازی ژنراتور از یک موتور القایی که با آن کوپل شده است، استفاده می‌گردد.

در ابتدا مقدار جریان تحریک را بر روی مقدار نامی تنظیم و با تغییر ولتاژ اعمالی به موتور، دور ژنراتور را از ۰ تا دور نامی افزایش دهید. همچنین نتایج اندازه‌گیری در جدول داده‌شده ثبت گردد. نحوه اتصال سیم‌پیچ‌های ماشین‌ها در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. سربندی ژنراتور نیز مثلث باشد.



شکل ۱-۱۸- نحوه اتصال ژنراتور سنکرون جهت بررسی مشخصه بی‌باری به ازای سرعت‌های چرخش مختلف

| 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | فرکانس اینورتر (Hz)                   |
|----|----|----|----|----|----|---------------------------------------|
|    |    |    |    |    |    | ولتاژ تولیدی ژنراتور بعد از ترانس (V) |
|    |    |    |    |    |    | سرعت موتور (rpm)                      |
|    |    |    |    |    |    | فرکانس ولتاژاستاتور ژنراتور           |



شکل ۱۸-۲ راهنمای اتصال ماژول‌ها جهت بررسی مشخصه بی‌باری ژنراتور سنکرون به ازای سرعت‌های چرخش مختلف

در ادامه فرآیند فوق به ازای تغییر جریان میدان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این شرایط سرعت موتور بر روی مقدار نامی تنظیم (۱۵۰۰ دور بر دقیقه) و ثابت نگه داشته شود. با تغییر جریان تحریک مقدار ولتاژ تولیدی در پایانه‌های ژنراتور را اندازه‌گیری نموده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

| جریان<br>ژنراتور (V) | تحریک<br>ژنراتور (V) | ۰/۴ | ۰/۷ | ۱/۰ | ۱/۳ | ۱/۶ | ۱/۹ |
|----------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ولتاژ<br>ژنراتور (V) | استاتور              |     |     |     |     |     |     |

۱۸-۲-۲ بارگذاری ژنراتور سنکرون

در این بخش، سرعت مجموعه توسط موتور القایی کوپل شده با ژنراتور سنکرون در ۱۰۰ درصد مقدار نامی ثابت نگه داشته می‌شود. مقدار جریان تحریک ژنراتور نیز در مقدار نامی ثابت بوده و تغییری نمی‌نماید. به ازاء بارهای مختلف در ترمینال استاتور ژنراتور، ولتاژ جریان پایانه استاتور ژنراتور ثبت می‌گردد. مدار مورد نظر را در شکل زیر طرح نمایید. سربندی ژنراتور نیز ستاره باشد.

شکل ۳-۱۸ نحوه اتصال ژنراتور سنکرون به موتور القایی در شرایط بارداری ژنراتور (طراحی)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |                              |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | مقاومت بار ( $\Omega$ )      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | ولتاژ استاتور<br>ژنراتور (V) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | جریان استاتور<br>ژنراتور (A) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | توان ژنراتور (W)             |

### ۳-۱۸ سؤال آزمایش

۱- منحنی ولتاژ-جریان خروجی ژنراتور سنکرون را تحلیل نمایید.

## ۱۹ ژنراتور سنکرون ۲

هدف: اتصال ژنراتور سنکرون به شبکه

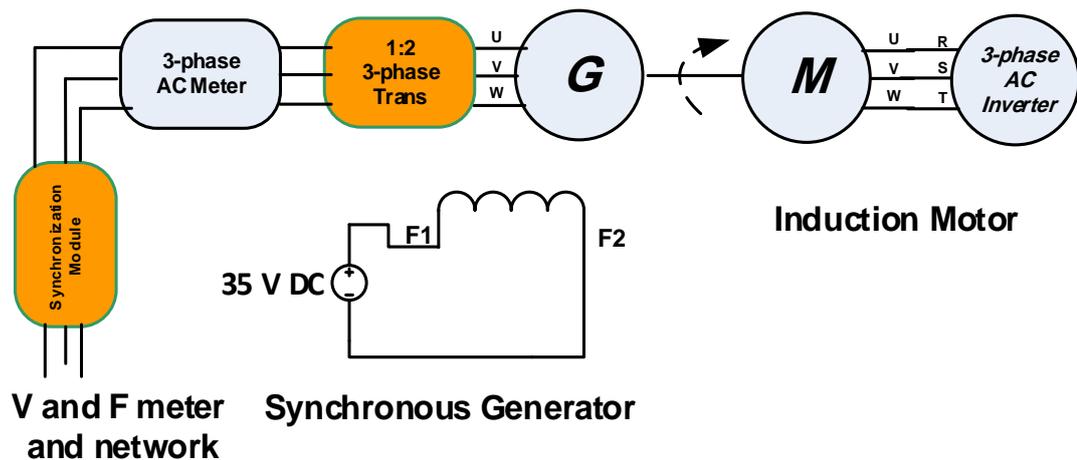
### ۱-۱۹ مقدمه

در این آزمایش دو مساله اتصال ژنراتور به شبکه با استفاده از سنکرون ساز و همچنین استفاده از ژنراتور سنکرون به عنوان کندانسور توان راکتیو بررسی می‌گردند.

### ۲-۱۹ آزمایش و تحلیل

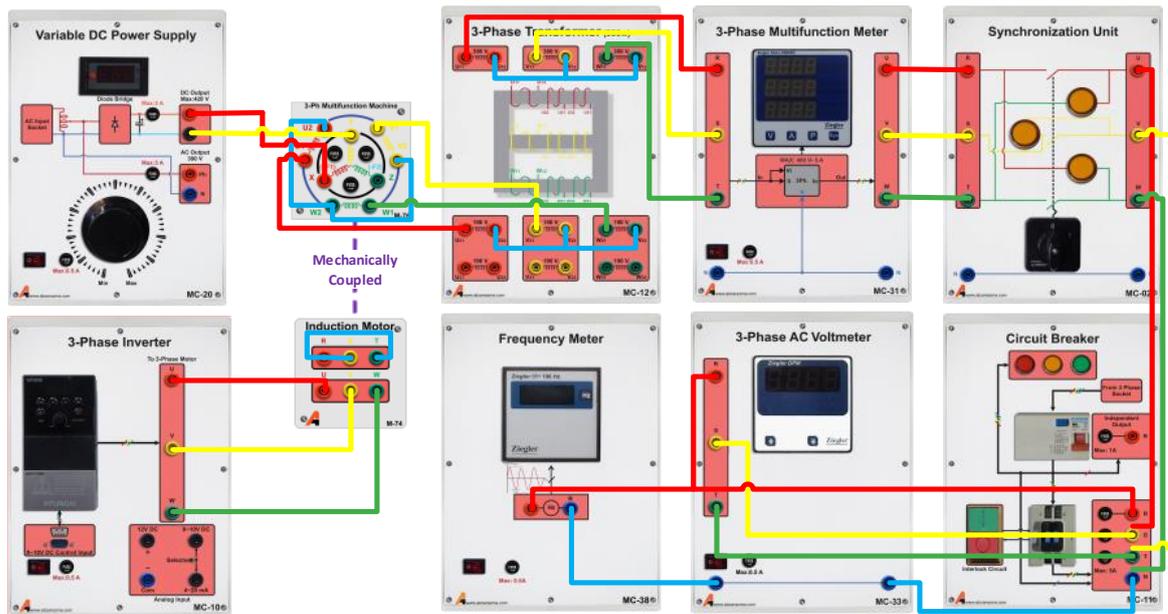
#### ۱-۲-۱۹ اتصال ژنراتور به شبکه

مشابه آزمایش قبل، ژنراتور سنکرون را در سرعت نامی و جریان تحریک نامی راه اندازی نمائید. جهت اتصال به شبکه از دو فرکانس متر و ولت‌متر در ورودی و خروجی ماژول سنکرون ساز استفاده نمائید. در شرایطی که ولتاژ و فرکانس دو طرف سنکرون ساز یکسان است جهت چک کردن همفازی ولتاژها از نحوه روشن و خاموش شدن همزمان لامپ‌های سنکرون ساز استفاده نمائید. در این شرایط جدول زیر را تکمیل نمائید. سربندی ژنراتور نیز ستاره باشد.



شکل ۱-۱۹ نحوه اتصال ژنراتور سنکرون جهت اتصال به شبکه

|  |                               |
|--|-------------------------------|
|  | توان حقیقی ژنراتور سنکرون (W) |
|  | توان مجازی ژنراتور سنکرون (W) |
|  | توان ظاهری ژنراتور سنکرون (W) |
|  | ضریب توان ژنراتور             |



شکل ۱۹-۲ اتصال ژنراتور سنکرون جهت اتصال به شبکه با استفاده از ماژولها

۱۹-۲-۲ استفاده از ژنراتور سنکرون به عنوان تزریق کننده توان به شبکه

در این بخش تغییرات جریان تحریک ژنراتور و اثر آن بر توان تزریقی به شبکه بررسی می‌گردد. در طول آزمایش دور ژنراتور را ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و ثابت در نظر بگیرید. ابتدا مشابه بخش قبل ژنراتور را به شبکه متصل نمائید و در ادامه با تغییر جریان تحریک ژنراتور جدول را تکمیل نمائید. سربندی ژنراتور نیز ستاره باشد.

| جریان تحریک      | ۰,۵ | ۰,۷ | ۰,۹ | ۱ | ۱,۲ | ۱,۴ |
|------------------|-----|-----|-----|---|-----|-----|
| توان حقیقی (W)   |     |     |     |   |     |     |
| توان مجازی (Var) |     |     |     |   |     |     |
| توان ظاهری (VA)  |     |     |     |   |     |     |

### ۱۹-۳ سؤال آزمایش

۱- با توجه به آزمایش صورت گرفته تغییر جریان تحریک چه اثری بر توان‌های تولیدی ژنراتور سنکرون دارد؟

## ۲۰ موتور کمپوند

هدف: بررسی رفتار موتور کمپوند

### ۲۰-۱ مقدمه

موتورهای جریان مستقیم دارای انواع متفاوتی می‌باشند و بسته به نحوه اتصال سیم‌پیچی آرمیچر به سیم‌پیچی میدان به چهار دسته کلی: تحریک مستقل، شنت، سری و کمپوند دسته‌بندی می‌شوند.

### ۲۰-۲ آزمایش و تحلیل

در ادامه موتور جریان مستقیم کمپوند در شرایط بی‌باری و بارداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۲۰-۲-۱ بی‌باری موتور کمپوند

در شرایط بی‌باری هیچ بار مکانیکی بر روی موتور قرار ندارد و توان تحویلی به موتور فقط صرف گردش روتور می‌شود. در ابتدا با تغییر ولتاژ ترمینال، تغییر رفتار موتور در این شرایط ثبت می‌گردد. مدار مورد نظر جهت این آزمایش مشابه آزمایش موتور شنت می‌باشد (تنها تفاوت سری شدن سیم پیچ سری با سیم پیچ آرمیچر می‌باشد). نتایج اندازه‌گیری در جدول داده شده ثبت گردد.

| ۹۰ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ۳۰ | ۲۰ | ولتاژ اتوترانس (V)      |
|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------|
|    |    |    |    |    |    |    |    | ولتاژ ترمینال موتور (V) |
|    |    |    |    |    |    |    |    | جریان ترمینال موتور (A) |
|    |    |    |    |    |    |    |    | سرعت موتور (rpm)        |

۲۰-۲-۲ بارداری موتور کمپوند

در شرایط بار مکانیکی بر روی موتور تغییر می‌نماید و در شرایط ولتاژ آرمیچر و جریان تحریک ثابت نگه داشته می‌شوند. در این حالت ولتاژ ترمینال از صفر تا ۹۰ تغییر، به صورت نرم راه‌اندازی و در ۹۰ ولت ثابت نگه داشته می‌شود. تغییر رفتار موتور در این شرایط ثبت می‌گردد. مدار مورد نظر جهت این آزمایش مشابه بند قبلی می‌باشد و فقط بار مکانیکی به موتور اعمال می‌گردد. نتایج اندازه‌گیری را در جدول داده شده ثبت نمایید.

| ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | ۰ | ولتاژ منبع DC (V) |
|----|----|----|----|---|---|-------------------|
|    |    |    |    |   |   | جریان منبع DC (A) |
|    |    |    |    |   |   | توان منبع DC (W)  |
|    |    |    |    |   |   | سرعت موتور (rpm)  |
|    |    |    |    |   |   | گشتاور (N.m)      |

۲۰-۳ سوالات

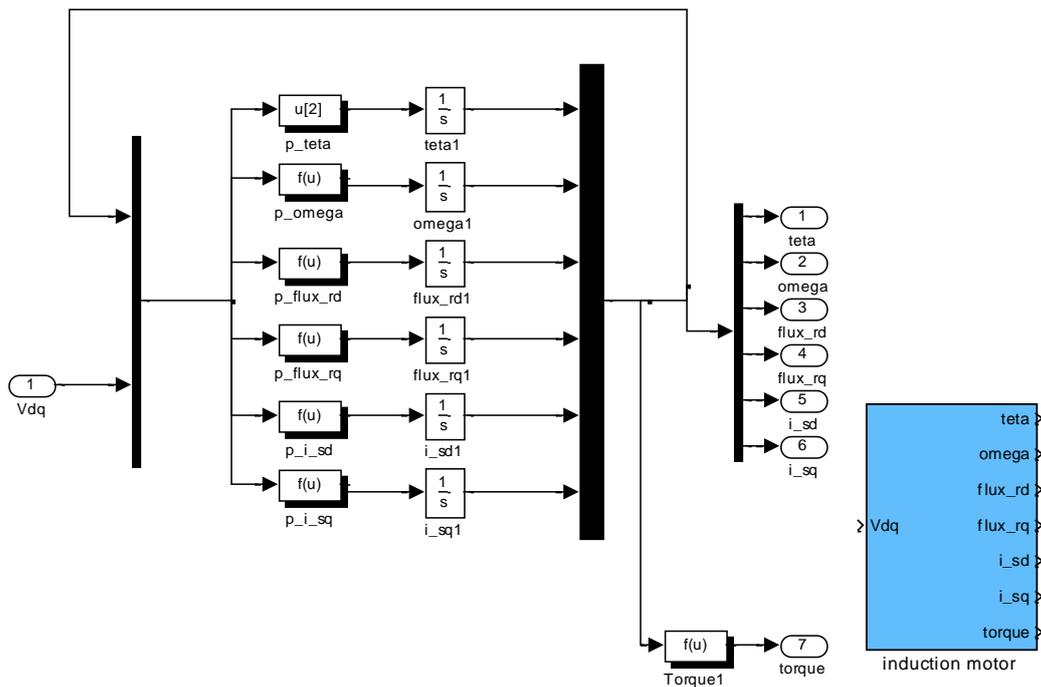
۱- نتایج آزمایش ماشین کمپوند را با ماشین شنت مقایسه کنید.

## ۲۱ پروژه: دینامیک ماشین و شبیه‌سازی آن

**هدف:** پروژه شبیه‌سازی حالت گذرای ماشین‌های الکتریکی

در این آزمایش تماماً نرم‌افزاری، شبیه‌سازی چند ماشین نمونه به همراه بررسی دینامیک‌ها و حالت گذرای ماشین مد نظر می‌باشد. روش‌های متعددی جهت این انجام شبیه‌سازی وجود دارد. در این آزمایش، مدرس بسته به میزان آشنایی دانشجویان با مباحث ماشینهای سنکرون یا القایی، اقدام به ارائه پروژه شبیه‌سازی به آنها می‌نماید. در ادامه، یکی از این روش‌ها نشان داده شده است.

یک موتور القایی سه فاز در فرم dq دارای مدل زیر در محیط Simulink نرم‌افزار MATLAB می‌باشد. برای پیاده‌سازی از معادلات دیفرانسیل توصیف‌کننده هر ماشین استفاده می‌گردد.



شکل ۲۱-۱ نمودار پیاده‌سازی مدل موتور القایی در محیط Simulink به فرم زیرسیستم، همراه با توصیف آن

## ۲۲ ژنراتورهای جریان مستقیم شنت

هدف: بررسی رفتار پارامترهای ماشین بر رفتار ژنراتورهای DC شنت

### ۱-۲۲ مقدمه

ژنراتورهای جریان مستقیم جهت تولید برق مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوع شنت در این آزمایش مورد بررسی و رفتار ژنراتوری این وسیله مورد مطالعه قرار گرفته است.

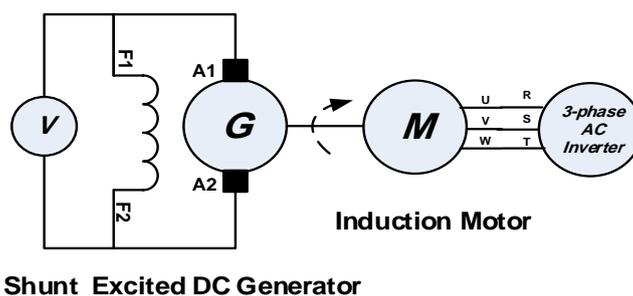
### ۲-۲۲ آزمایش و تحلیل

در ادامه ژنراتور جریان مستقیم شنت در شرایط بی‌باری و بارداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱-۲-۲۲ بی‌باری ژنراتور

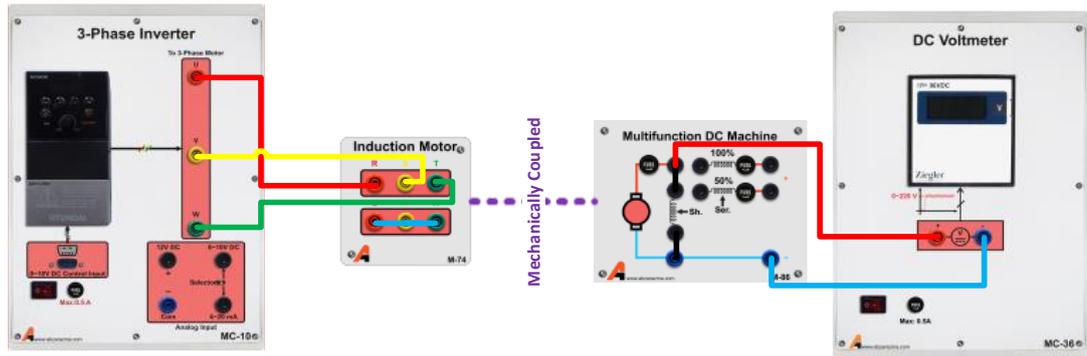
در این بخش ولتاژ تولیدی ژنراتور شنت در شرایط تغییر سرعت ژنراتور تحقیق می‌شود. جهت راه‌اندازی ژنراتور از یک موتور القایی که با آن کوپل شده است، استفاده می‌گردد. جهت تغییر دور موتور در مقادیر نزدیک به دور نامی و بالاتر از آن، از یک اینورتر جهت تغذیه موتور القایی بهره‌برید.

در ابتدا مقدار جریان تحریک را بر روی مقدار نامی تنظیم و با تغییر ولتاژ اعمالی به موتور، دور ژنراتور را از ۰ تا دور نامی افزایش دهید. نتایج اندازه‌گیری در جدول داده‌شده ثبت و در نمودار رسم گردد. نحوه اتصال مدار در شکل ۱-۲۲ نشان داده‌شده است.

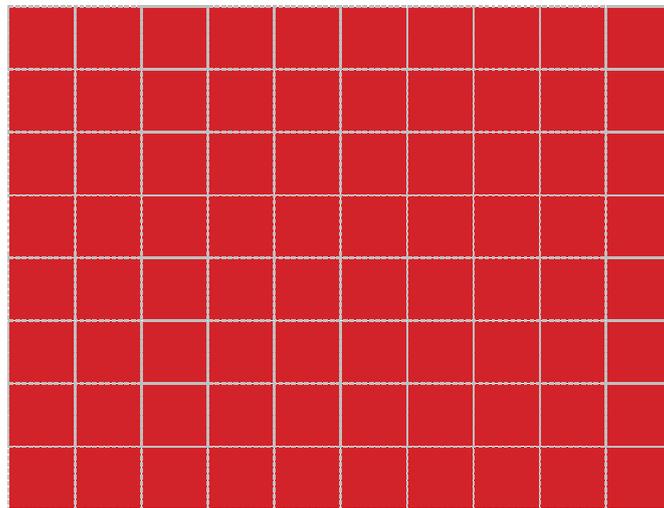


شکل ۱-۲۲ نحوه اتصال ژنراتور جریان مستقیم شنت جهت بررسی مشخصه بی‌باری به ازای سرعت‌های چرخش مختلف

| فرکانس اینورتر<br>(Hz)      | ۵ | ۱۰ | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۳۵ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ |
|-----------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ولتاژ آرمیچر<br>ژنراتور (V) |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| سرعت موتور<br>(rpm)         |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |



شکل ۲۲-۲ اتصال مازول ها جهت بررسی مشخصه بی‌باری ژنراتور جریان مستقیم شنت به ازای سرعت‌های مختلف



شکل ۲۲-۳ نمودار تغییرات ولتاژ آرمیچر-سرعت در ژنراتور DC تحریک شنت

### ۲-۲-۲ بارگذاری ژنراتور

در این بخش سرعت موتور توسط موتور القایی کوپل شده با ژنراتور شنت در مقدار ۹۰ درصد نامی ثابت نگه داشته می‌شود. به ازای بارهای مختلف در ترمینال آرمیچر ژنراتور مشخصه ولتاژ جریان پایانه آرمیچر ژنراتور ثبت می‌گردد. مدار مورد نظر، مشابه شکل ۲۲-۱ می‌باشد و تنها تفاوت اضافه شدن بار در ترمینال آرمیچر می‌باشد.

| مقاومت موازی ( $\Omega$ ) | ۵۰ | ۴۰ | ۳۰۰ | ۲۴۰ | ۲۰۰ | ۱۷۰ |
|---------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| ولتاژ آرمیچر ژنراتور (V)  |    |    |     |     |     |     |
| جریان آرمیچر ژنراتور (A)  |    |    |     |     |     |     |
| توان ژنراتور (W)          |    |    |     |     |     |     |

سؤالات آزمایش ۳-۲-۲۲

۱- با توجه به اندازه‌گیری توان موتور و ژنراتور، میزان راندمان مجموعه موتور ژنراتور شنت را به دست آورید. عوامل عمده تلفات را نیز برشمارید.

۲- نمودار تغییرات ولتاژ ترمینال-جریان ترمینال ماشین شنت را تحلیل نمائید و با روابط تئوری مربوطه مقایسه نمائید.

## ۲۳ ژنراتورهای جریان مستقیم کمپوند

هدف: بررسی رفتار پارامترهای ماشین بر رفتار ژنراتورهای DC کمپوند

### ۲-۲۳ مقدمه

ژنراتورهای جریان مستقیم جهت تولید برق مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوع کمپوند در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفته و رفتار ژنراتور برای این وسیله مورد مطالعه قرار گرفته است.

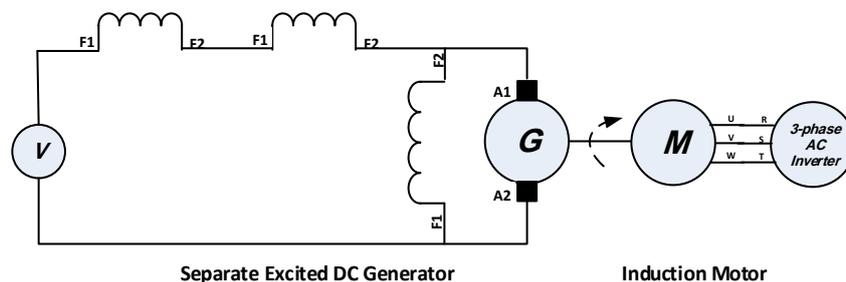
### ۳-۲۳ آزمایش و تحلیل

در ادامه ژنراتور جریان مستقیم کمپوند در شرایط بی‌باری و بارداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱-۳-۲۳ بی‌باری ژنراتور

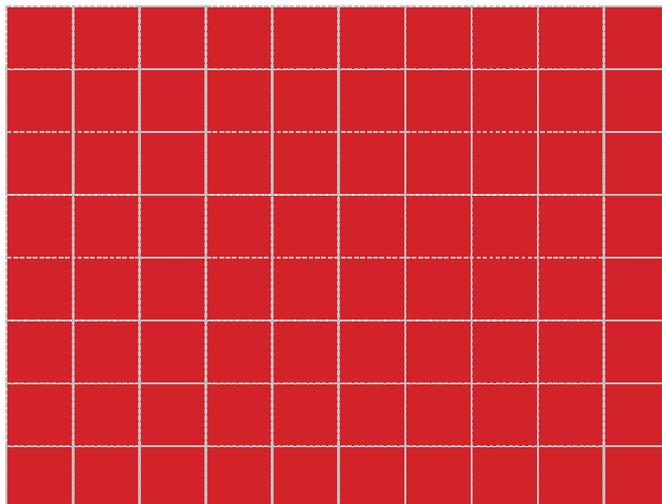
در این بخش ولتاژ تولیدی توسط ژنراتور کمپوند در شرایط تغییر سرعت ژنراتور تحقیق می‌شوند. جهت راه‌اندازی ژنراتور از یک موتور القایی که با آن کوپل شده است، استفاده می‌گردد. جهت تغییر دور موتور در مقادیر نزدیک به دور نامی و بالاتر از آن از یک اینورتر جهت تغذیه موتور القایی بهره‌برید. سیم پیچ سری به میزان ۵۰٪ در مدار باشد.

با تغییر ولتاژ اعمالی به موتور، دور ژنراتور را از ۰ تا دور نامی افزایش دهید. همچنین نتایج اندازه‌گیری در جدول داده‌شده ثبت و در نمودار رسم گردد. نحوه اتصال سیم‌پیچ‌های ماشین‌ها در شکل ۱-۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲۳ نحوه اتصال ژنراتور جریان مستقیم کمپوند جهت بررسی مشخصه بی‌باری به ازای سرعت‌های چرخش مختلف

| ۶۰ | ۵۰ | ۴۰ | ۳۵ | ۳۰ | ۲۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | فرکانس اینورتر (Hz)      |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--------------------------|
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |   | ولتاژ آرمیچر ژنراتور (V) |
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |   | سرعت موتور (rpm)         |



شکل ۲-۲۳ نمودار تغییرات ولتاژ آرمیچر-سرعت در ژنراتور DC کمپوند

۲-۳-۳۲ بارداری ژنراتور

در این بخش سرعت موتور توسط موتور القایی کوپل شده با ژنراتور کمپوند در مقدار ۹۰ درصد نامی ثابت نگه داشته می‌شود. سیم پیچ سری در ۵۰٪ مورد استفاده قرار گیرد. به ازای بارهای مختلف در ترمینال آرمیچر ژنراتور مشخصه ولتاژ جریان پایانه آرمیچر ژنراتور ثبت می‌گردد. مدار مورد مشابه شکل ۱-۲۳ می‌باشد و تنها تفاوت، اضافه شدن بار در ترمینال آرمیچر می‌باشد.

| مقاومت بار ( $\Omega$ ) |  |  |  |  |  |  |  |  |                             |
|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------------|
|                         |  |  |  |  |  |  |  |  | ولتاژ آرمیچر<br>ژنراتور (V) |
|                         |  |  |  |  |  |  |  |  | جریان آرمیچر<br>ژنراتور (A) |
|                         |  |  |  |  |  |  |  |  | توان ژنراتور (W)            |

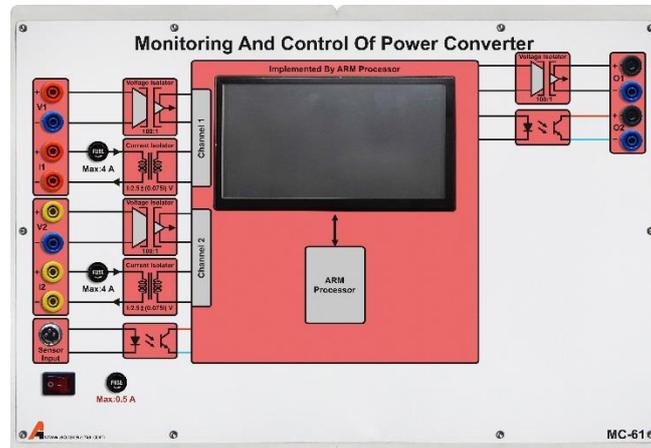
۲-۳-۴ سؤال

۱- نمودار تغییرات ولتاژ ترمینال-جریان ترمینال ماشین کمپوند را تحلیل نمائید و با روابط تئوری مربوطه مقایسه نمائید.

## ۲۴ معرفی واحد مانیتورینگ و کنترل ماشین‌های الکتریکی

۱-۲۴ مقدمه

در راستای یکپارچه‌سازی و ایجاد سهولت در پیاده‌سازی اندازه‌گیری و مانیتورینگ ماشین‌های الکتریکی، استفاده از این ماژول توصیه می‌شود. در شکل ۱-۲۴ شمای ظاهری این ماژول نشان داده شده است.



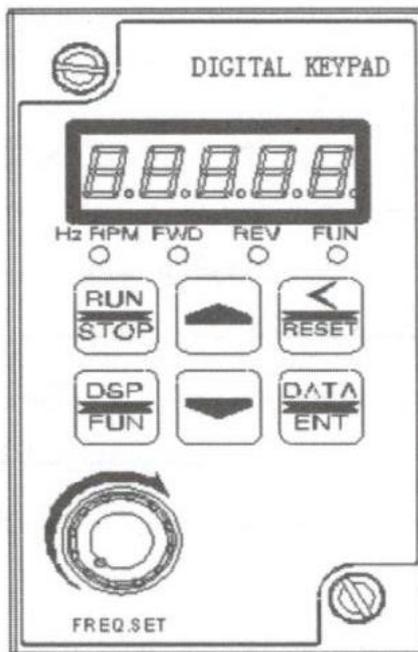
شکل ۱-۲۴ ماژول تولید اندازه‌گیری و مانیتورینگ مجتمع ماشین‌های الکتریکی

بر اساس نوع ماشین الکتریکی مورد استفاده بر روی صفحه نمایشگر، راهنمای اتصالات و پارامترهای اندازه‌گیری شده تغییر می‌کند. ورودی‌های ولتاژی و جریانی همگی ایزوله بوده و بر اساس آنها مقادیر پارامترهای الکتریکی محاسبه و رسم می‌شوند. ورودی پالسی نیز جهت اندازه‌گیری دور ماشین الکتریکی بر روی دستگاه تعبیه شده است. علاوه بر این، دو خروجی ایزوله پالسی و پیوسته جهت کنترل اینورتر بر روی ماژول تعبیه شده است. این خروجی‌ها نیز از طریق صفحه نمایش لمسی قابل تنظیم می‌باشند.

در این ماژول، امکان رسم نمودار و محاسبه پارامترهای الکتریکی و مکانیکی نیز مهیا شده است. اندازه‌گیری ورودی‌های ولتاژ و جریانی به صورت ایزوله نسبت به هم و نمایش شکل موج‌های مربوط به آنها با کمک این ماژول امکان پذیر است. ورودی مکانیکی سرعت با استفاده از سنسور پالسی فراهم است.

۱-۲۵ تنظیمات مربوط به اینورتر

راهنمای صفحه کلید



۱. کلید DATA / ENT: برای وارد شدن به تنظیمات گروه و زیر گروه و نیز ذخیره اطلاعات.
۲. کلید RUN / STOP: روشن و خاموش کردن درایو.
۳. کلیدهای بالا / پایین، برای تغییر در تنظیمات گروه و زیر گروه یا تغییر در اطلاعات عددی مثل فرکانس اصلی
۴. کلید DSP / FUN: ورود به تنظیمات گروه و زیر گروه.
۵. کلید RESET: برای جابجایی چشمک زن در اعداد صفحه نمایش و یا برای پاک کردن خطا.

### نحوه راه اندازی و تنظیم پارامترهای درایو TECO مدل S310

تذکر: تغییر در پارامتر گروه و زیر گروه درایو تنها در صورتی امکان پذیر است که درایو در حالت STOP قرار داشته باشد.

بعد از روشن کردن درایو یکبار  را فشار دهید در این لحظه، چراغ کوچک سمت راست درایو که زیر آن کلمه FUN نوشته شده نیز روشن می شود، بر روی صفحه نمایش درایو عدد 00-00 ظاهر می شود که ۲ رقم سمت چپ گروه و ۲ رقم سمت راست، زیر گروه را نشان می دهند. بوسیله  می توانید بین این ۴ رقم حرکت کرده و توسط کلید  یا  می توان عدد انتخاب شده را کم یا زیاد نمود. توجه داشته باشید که ابتدا عدد گروه مورد نظر را تغییر داده و سپس به سراغ عدد زیر گروه بروید.

بعد از وارد کردن گروه و زیر گروه مورد نظر کلید  را برای وارد شدن به پارامتر می زنیم. بعد از وارد شدن به پارامتر مورد نظر، توسط کلیدهای بالا و پایین، مقدار مورد نظر خود را انتخاب و دوباره  را فشار دهید، در این حالت کلمه end بر روی صفحه نمایش ظاهر می شود که خود بیانگر اتمام مراحل برنامه ریزی می باشد.

در ادامه تنظیم پارامترهای مهم و کاربردی توضیح داده شده است:

لازم به ذکر است این دستگاه دارای تنظیمات اولیه و پیش فرض بوده و فقط در موارد لازم و ضروری جهت کاربری های ویژه اقدام به تغییر پارامترهای زیر نمایید.

#### ۱- تنظیم مد کنترلی اینورتر

پارامتر 00-01 نحوه کنترل:

این درایو در مد ولت بر هر تزی یا V/F کار می کند، در این مد می توان بر اساس موارد خاص منحنی V/F را تنظیم کرد.

S310 Programmable Functions List

| Parameter Group No. | Description   |
|---------------------|---|
| 00-                 | The basic parameters group                            |
| 01-                 | External terminal digital signal input function group |
| 02-                 | External terminal analog signal input function group  |
| 03-                 | Preset Frequency function group                       |
| 04-                 | Start/Stop command group                              |
| 05-                 | V/F command group                                     |
| 07-                 | Protection function group                             |
| 08-                 | Communication function group                          |
| 10-                 | Assistant function group                              |
| 11-                 | Keypad display group                                  |
| 12-                 | User parameter group                                  |
| -13                 | Auto Run(Auto Sequencer) function group               |

0- The basic parameters group

| Function Code No. | Description                             | Range/Code  | Factory Setting | Remarks  |
|-------------------|---|---|-----------------|----------|
| 00-00             | -----                                   | -----   | -----           | Reserved |
| 00-01             | Volts/Hz Patterns (V/F)                 | 1~7   | 1/4             |          |
| 00-02             | Motor rotation                          | 0 : Forward<br>1 : Reverse  | 0               | *1       |
| 00-03             | Main Run Command Source Selection       | 0: Keypad<br>1: External Run/Stop Control<br>2: Communication   | 0               |          |
| 00-04             | -----                                   | -----   | -----           | Reserved |
| 00-05             | Main Frequency Command Source Selection | 0: Keypad<br>1: Potentiometer on Keypad<br>2: External A11 Analog Signal Input<br>3: Communication Control<br>4: Pulse Input            | 0               |          |
| 00-07             | Frequency Upper Limit (Hz)              | 0.01~400.00   | 50.00<br>/60.00 |          |
| 00-08             | Frequency Lower Limit (Hz)              | 0.01~399.99   | 0.00            |          |
| 00-09             | Acceleration Time 1(S)                  | 0.1~3600.0  | 10.0            | *1       |
| 00-10             | Deceleration Time 1(S)                  | 0.1~3600.0  | 10.0            | *1       |
| 00-11             | Operation modes for external terminals  | 0: Forward/Stop-Reverse/Stop<br>1: Run/Stop-Forward/Reverse<br>2: 3-Wire Control Mode-Run/Stop<br>3: 4-Wire pulse Control Mode-Run/Stop | 0               |          |
| 00-12             | Jog Frequency (Hz)                      | 1.00~25.00  | 2.00            | *1       |
| 00-13             | Jog Acceleration Time (MFIT) ((Seconds  | 0.1~25.5  | 0.5             | *6*1     |
| 00-14             | Jog Deceleration Time (MFIT) ((Seconds  | 0.1~25.5  | 0.5             | *6*1     |

3

1- External terminal digital signal input function group

| Function Code No. | Description  | Range/Code   | Factory Setting |
|-------------------|--|--|-----------------|
| 01-00             | Multifunction Input Term. S1                         | 0: Forward/Stop Command  | 0               |
| 01-01             | Multifunction Input Term. S2                         | 1: Reverse/Stop Command  | 1               |
| 01-02             | Multifunction Input Term. S3                         | 2: Preset Speed unit 1 (3-02)  | 5               |
| 01-03             | Multifunction Input Term. S4                         | 3: Preset Speed unit 2 (3-03)<br>4: Preset Speed unit 3 (3-04)   | 6               |
| 01-04             | Multifunction Input Term. S5                         | 5: Jog Command<br>6: Emergency Stop<br>7: Base Block<br>8: Reset<br>9: Auto_Run Mode<br>10: Catch up*6 11: slow Down*6   | 8               |
| 01-05             | Catch up / slow Down Value                           | 0 ~ 100(%)   | 20              |
| 01-06             | Multifunction terminal S1~ S5 confirm the scan times | 1 ~ 200(x2ms)  | 10              |
| 01-07-01-08       | ----   | ----   | ----            |
| 01-09             | Output Relay RY1 Operation Mode                      | 0: Run<br>1: Frequency Reached<br>2: Fault<br>3: Set Frequency<br>4: Frequency Threshold Level Frequency Reached - (1-11 <)<br>5: Frequency Threshold Level (< 1-11) - Frequency Reached | 0               |
| 01-11             | Frequency Output Setting (Hz)                        | 0.00 ~ 400.00  | 0.00            |
| 01-12             | Frequency Detection Range                            | 0.00~30.00   | 2.00            |
| 01-13             | S1~ S5 switch type select                            | xxxx0: S1 NO xxx0x: S2 NO xx0xx: S3 NO x0xxx: S4 NO 0xxxx: S5 NO<br>xxxx1: S1 NC xxx1x: S2 NC xx1xx: S3 NC x1xxx: S4 NC 1xxxx: S5 NC   | 00000           |

※ "NO": Normal open, "NC": Normal close.

2- External terminal analog signal input function group

| Function Code No. | Description                         | Range/Code  | Factory Setting |
|-------------------|-------------------------------------|---|-----------------|
| 02-00             | AIN analog Input signal type select | 0: 0 ~ 10V 1: 4 ~ 20mA  | 0               |
| 02-01             | AIN Signal Verification Scan        | 1 ~ 200 (x2ms)  | 100             |
| 02-02             | AIN Gain (%)                        | 0 ~ 200   | 100             |
| 02-03             | AIN Bias (%)                        | 0 ~ 100   | 0               |
| 02-04             | AIN Bias Selection                  | 0: Positive 1: Negative   | 0               |
| 02-05             | AIN Slope                           | 0: Positive 1: Negative   | 0               |
| 02-06~02-11       | Reserved                            |   |                 |
| 02-12             | Analog Output Mode(FM+)             | 0: Output Frequency 1: Frequency Setting<br>2: Output Voltage 3: DC Bus Voltage | 0               |
| 02-13             | Analog Output FM+ Gain (%)          | 0 ~ 200   | 100             |

4

## ۲-۲۵ تنظیمات مربوط به مولتی فانکشن

۲-۲۵-۱ برای انجام تنظیمات اولیه دستگاه بایستی دو کلید V و A را به صورت ترکیبی برای ۳ ثانیه نگه دارد. سپس برای وارد کردن رمز عبور کلید A (۰۰۰۰) را فشار دهید.  
برای تنظیم پارامترها از کلید V و برای تایید کلید A را فشار دهید.