



دستور کار آزمایشگاه تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی

تهیه و تدوین

گروه مهندسی سیستم‌های انرژی الکتریکی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

مهر ۱۴۰۵

سپاسگزاری

با قدردانی از تمامی مشارکت کنندگان ذیل، این دستورکار توسط **دکتر سینا رودنیل** تهیه و تدوین شده است.

مشارکت کنندگان به ترتیب حروف الفبا

الف) مشارکت کنندگان کنونی

کارشناسان آزمایشگاه

مهندس غلامرضا پیرو پیران

مهندس ابراهیم شغلی

استادان گروه مهندسی برق

دکتر هادی آقایی

دکتر رضا پاشائی

دکتر سینا رودنیل

دکتر عطاءالله صمدیان

دکتر وحید نعمت‌زاده

مهندس سینا نبی قدیم

مهندس حسین عبدی

ب) مشارکت کنندگان پیشین

مهندس قاسم اهرابیان

دکتر محمدباقر بناشریفیان

دکتر کاظم زارع

دکتر سعید قاسم‌زاده

دکتر سجاد گلوانی

دکتر محمدرضا فیضی

دکتر محمدعلی طینتی

مهندس محمد میرزایی

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

فهرست مطالب

۱	نکات ایمنی هنگام کار در آزمایشگاه‌های برق.....
۲	شیوه نوشتن گزارش کار آزمایشگاه.....
۳	آزمایش اول: بررسی یک مدار سه‌فاز با بار مقاومتی در شرایط عادی.....
۸	آزمایش دوم: بررسی مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط عادی.....
۱۲	آزمایش سوم: بررسی مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط خطای اتصال کوتاه.....
۱۵	آزمایش چهارم: بررسی مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط خطای قطع فاز.....
۱۸	آزمایش پنجم: محاسبه مؤلفه‌های متقارن جریان در شرایط عادی و خطا.....
۲۲	آزمایش ششم: بررسی تأثیر ترانسفورمر بر مؤلفه‌های متقارن در شرایط خطا.....
۲۵	آزمایش هفتم: بررسی تأثیر امپدانس متغیر بر مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط اتصال کوتاه.....
۲۸	آزمایش هشتم: بررسی رفتار گذرای سیستم قدرت در اثر وقوع و رفع اتصال کوتاه.....
۳۲	آزمایش نهم: بررسی تغییرات زاویه فاز سیستم در اثر وقوع اتصال کوتاه.....
۳۶	آزمایش دهم: بررسی مؤلفه‌های متقارن در اتصال کوتاه بین دو ترانسفورمر.....
۳۸	پیوست: نصب نرم افزار PSCAD ۴.۲.۱.....

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

نکات ایمنی هنگام کار در آزمایشگاه‌های برق

- پیش از هرگونه تغییر در مدار، منبع تغذیه را خاموش و از بی‌برق بودن مدار اطمینان حاصل کنید. 
- پس از تأیید استاد آزمایشگاه مجاز به وصل منبع تغذیه و شروع آزمایش هستید. 
- منبع تغذیه آخرین بخش مدار است که متصل می‌شود و اولین بخشی از مدار است که قطع می‌گردد. 
- تمام سیم‌ها، قطعات و تجهیزات مدار همیشه باید برق‌دار تصور شوند، مگر آن که یقین حاصل شود که بی‌برق هستند. 
- سیم‌ها را از روی اجسام متحرک یا در حال چرخش عبور ندهید و آن‌ها را بر روی زمین و یا جایی که محل رفت‌وآمد است، رها نکنید. 
- هرگز آمپر متر را به صورت موازی و ولت متر را به صورت سری در مدار قرار ندهید. 
- در هنگام کار، به قسمت‌های در حال چرخش موتور و ژنراتور نزدیک نشوید. 
- فقط استفاده از ابزار و دستگاه‌هایی که در محیط آزمایشگاه وجود دارد، مجاز است. اگر نیاز به استفاده از ابزار دیگری دارید باید مجوز لازم را از کارشناس آزمایشگاه کسب کنید. همچنین، از جابه‌جا نمودن وسایل آزمایشگاه خودداری کنید. 
- هرگز با دست خیس یا مرطوب کار نکنید و از دستکش عایق الکتریکی استفاده نمایید. 
- حتی‌المقدور از یک دست برای باز و بسته کردن مدار استفاده شود. 
- در هنگام کار از اشیای رسانا مانند ساعت با بند فلزی، حلقه، زنجیر و دست‌بند، قلم با بدنه فلزی، خط‌کش فلزی و ... استفاده نکنید. موهای بلند باید حتماً در پشت سر کاملاً جمع و بسته شوند. 
- خوردن، آشامیدن، شوخی کردن و استفاده از تلفن همراه در آزمایشگاه مطلقاً ممنوع است. 
- در هنگام کار مواظب باشید بدن شما با میز کار و تجهیزات الکتریکی در تماس نباشد. 
- هر نوع خرابی احتمالی در تجهیزات را سریعاً به استاد یا کارشناس آزمایشگاه گزارش کنید. در صورت نیاز به تعویض و یا تعمیر قطعات، به کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید. دانشجو نباید اقدام به این کار کند. 
- در هر جلسه کلاس، فقط دانشجویان ثبت‌نام‌شده در آزمایشگاه مربوط به آن جلسه مجاز به حضور هستند و حضور سایر دانشجویان به هر عنوان ممنوع می‌باشد. 
- برای ترک آزمایشگاه و یا ورود دوباره به آزمایشگاه به استاد یا کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید. 
- فقط در میز کار تعیین‌شده خود حضور یابید و از جابه‌جایی یا تجمع در یک میز خودداری نمایید. 
- هرگز از سیم‌های زخمی یا اتصالات لق استفاده نکنید. 
- استفاده از این دستور کارها برای انجام آزمایش با حضور و اجازه استاد و کارشناس آزمایشگاه خواهد بود. 

شیوه نوشتن گزارش کار آزمایشگاه

گزارش کار آزمایش ها باید بدین قالب باشد:

۱ عنوان آزمایش

۲ نویسنده: نام و نام خانوادگی - شماره دانشجویی

۳ مقدمه و هدف آزمایش

۴ وسایل مورد نیاز

۵ شرح انجام آزمایش

۶ نتایج

۷ پاسخ پرسش های دستور کار

۸ نتیجه گیری



۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

آزمایش اول: بررسی یک مدار سه فاز با بار مقاومتی در شرایط عادی

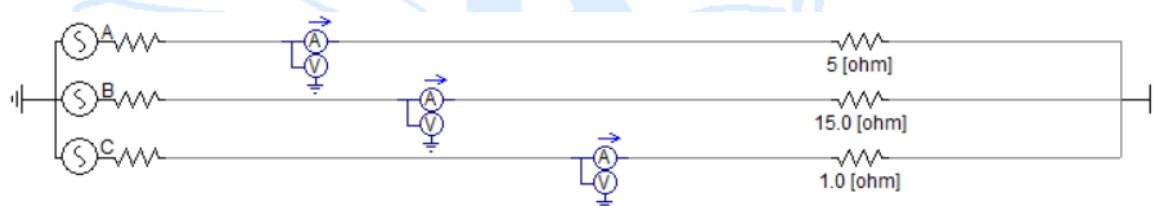
هدف از این آزمایش، آشنایی اولیه با محیط نرم افزار PSCAD 4.2.1 و نحوه ایجاد، شبیه سازی و مشاهده نتایج یک مدار سه فاز است. در این آزمایش، یک سیستم سه فاز شامل سه بار مقاومتی با مقادیر متفاوت مدل سازی می شود و ولتاژ و جریان هر یک از فازها مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین، در این آزمایش مفهوم بار نامتعادل سه فاز و تأثیر متفاوت بودن امپدانس بارهای متصل به فازهای مختلف بر جریان های سیستم بررسی می شود. در این آزمایش، سیستم از نظر منبع در شرایط عادی و بدون خطا قرار دارد، اما به دلیل نامتعادل بودن پارامترهای سه فاز، کمیت های الکتریکی سیستم لزوماً متعادل نیستند.

الف) مبانی نظری

در یک سیستم سه فاز متعادل، سه ولتاژ فاز دارای اندازه های برابر بوده و اختلاف فاز بین آن ها برابر با ۱۲۰ درجه است. در این آزمایش، منبع سه فاز متعادل فرض می شود، اما به دلیل تفاوت مقاومت های سه فاز، بار نامتعادل است. بنابراین، متعادل بودن منبع لزوماً به معنی متعادل بودن جریان های بار نیست. اگر بار متصل به سه فاز نیز دارای امپدانس های مساوی باشد، جریان های سه فاز نیز از نظر اندازه برابر بوده و یک سیستم متعادل تشکیل می شود. در این آزمایش، مقاومت های متصل به سه فاز عبارتند از ۵، ۱۵ و ۱ اهم و بار سه فاز مورد بررسی، نامتعادل است. برای هر فاز، با توجه به قانون اهم، جریان از رابطه زیر به دست می آید:

$$I_A = \frac{V_A}{R_A}, \quad I_B = \frac{V_B}{R_B}, \quad I_C = \frac{V_C}{R_C}$$

در صورتی که اندازه ولتاژ سه فاز برابر باشد، به دلیل متفاوت بودن مقاومت ها، اندازه جریان های سه فاز نیز متفاوت خواهد بود. در نتیجه، حتی در شرایطی که منبع سه فاز کاملاً متعادل باشد، نامتعادل بودن بار موجب نامتعادل شدن جریان های فاز خواهد شد. مدار مورد استفاده در این آزمایش مطابق شکل زیر در محیط PSCAD ساخته می شود.

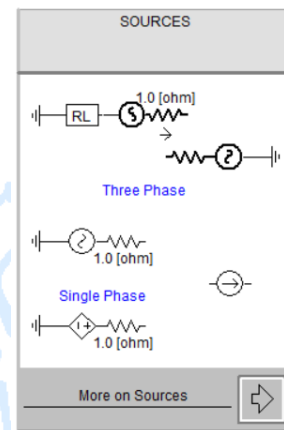
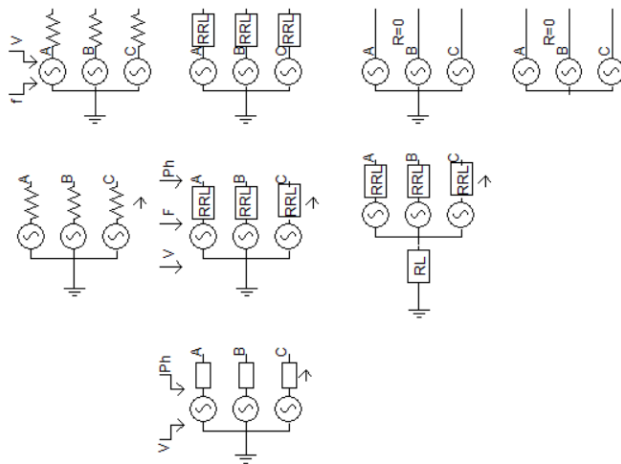


در مدار، سه منبع ولتاژ با فازهای A، B و C به ترتیب به مقاومت های نشان داده شده متصل شده اند. نقطه نول سمت منبع و نقطه نول سمت بار مطابق مدار شبیه سازی به زمین متصل شده اند. برای اندازه گیری کمیت های الکتریکی نیز از ابزارهای اندازه گیری ولتاژ و جریان PSCAD استفاده شده است. خروجی های اندازه گیری به بخش Graphs منتقل شده اند تا شکل موج های حاصل از شبیه سازی قابل مشاهده باشند.

ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

نرم افزار PSCAD 4.2.1 را اجرا کرده و یک پروژه جدید ایجاد کنید. یک منبع ولتاژ سه فاز مربوط به فازهای A, B و C را از قسمت کتابخانه نرم افزار و بخش Sources در محیط شبیه سازی قرار دهید و آن ها را مطابق مدار آزمایش به یکدیگر و به زمین متصل کنید یا از منابع زمین شده استفاده کنید.

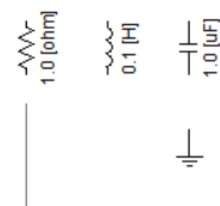
3 phase diagram view



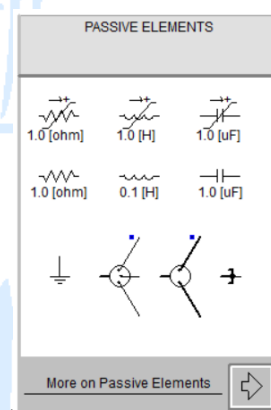
<<<<

➤ نکته: مقاومت داخلی منابع در تنظیمات آن ها به مدار افزوده خواهد شد؛ پس، از منابع ایده آل با مقاومت صفر استفاده شود

سه مقاومت در مسیر سه فاز قرار دهید و بین آن ها و منابع ولتاژ، به منظور اندازه گیری ولتاژ و جریان مولتی متر استفاده کنید:



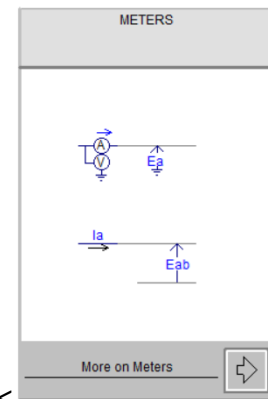
RLC Branch Components
Series or Parallel Combinations of RLC are Automatically Collapsed.



<<<<

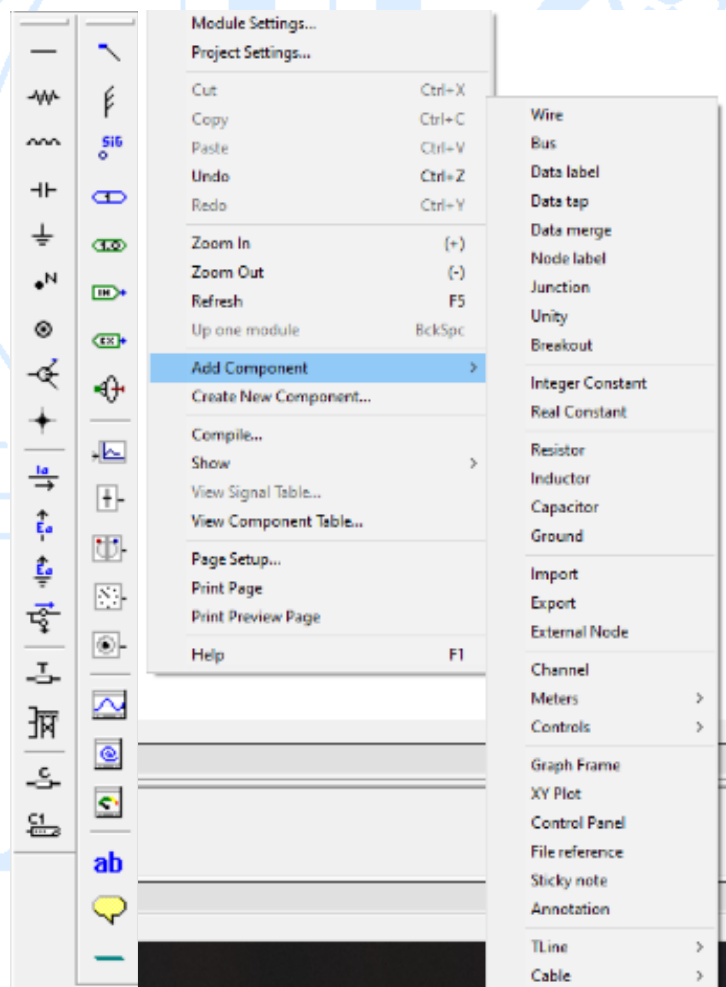


Multimeter
(v,i,P,Q,Vrms,theta)

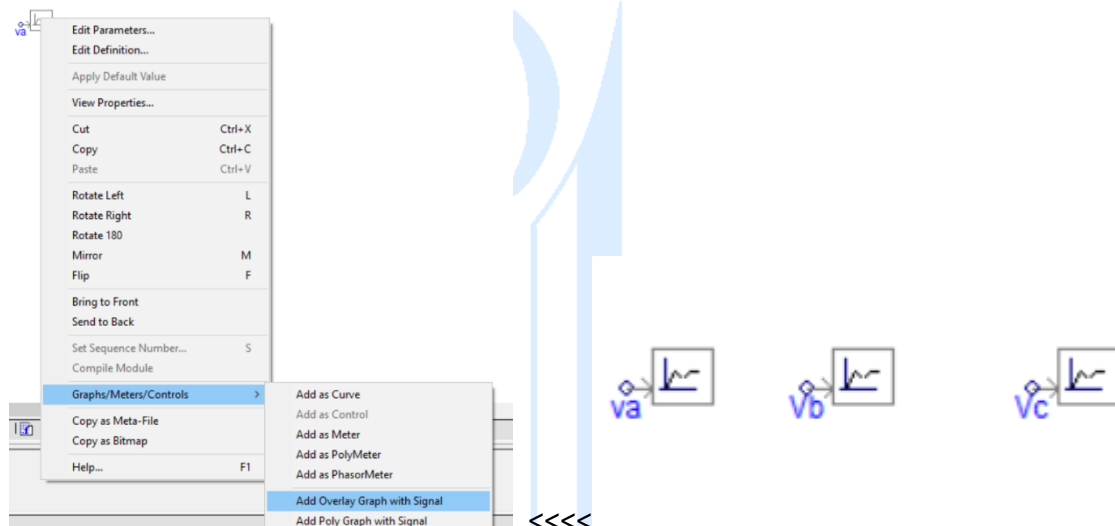


<<<<

➤ نکته: می توان از منوی سمت راست نرم افزار نیز برای انتخاب و آوردن تجهیزات استفاده کرد. همچنین، روش دیگر، کلیک راست کرده از منوی باز شده و از داخل **Add Component** می توان به تعداد زیادی از المان ها دسترسی پیدا کرد.

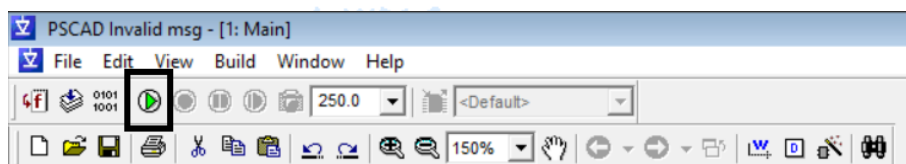


برای نمایش نتایج، متغیرهای جریان و ولتاژ لحظه‌ای را با استفاده از المان Data Label را به پنجره Graphs که از منوی سمت راست یا قسمت Add Components آورده شده است، منتقل کنید. برای هر کمیت یک منحنی مناسب تعریف کنید تا شکل موج آن پس از اجرای شبیه‌سازی قابل مشاهده باشد. سپس برای نمایش نمودار، روی هر گراف کلیک راست کرده و گزینه Graph / Meters / Controls و سپس Add Overlay Graph with Signal نمودار ایجاد می‌شود که نمونه‌ای از آن برای متغیر ولتاژ نشان داده شده است:



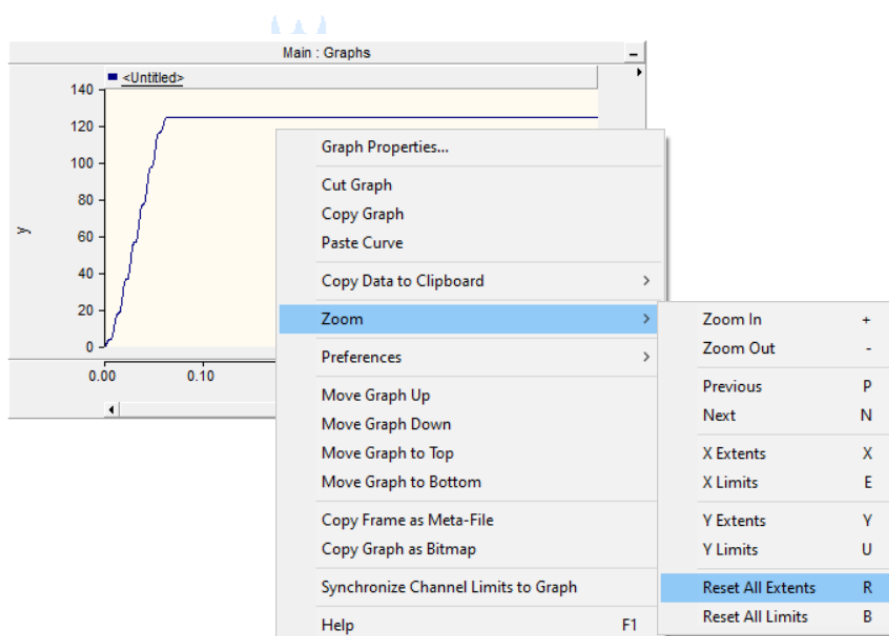
در این مرحله، پارامترهای شبیه‌سازی را تنظیم کنید. برای منبع سه فاز، کافی است از قسمت تنظیمات آن که با دو بار کلیک چپ روی این منبع باز می‌شود، نوع آن مقاومتی (Resistive) را انتخاب می‌کنیم. در تنظیمات مولتی متر، ابتدا اندازه‌گیری لحظه‌ای ولتاژ و جریان را در سربرگ Configuration فعال می‌کنیم؛ سپس، در سربرگ Signal name متغیرهای مناسبی برای هر یک از ولتاژها و جریان‌های انتخاب کنید. برای مقاومت‌های سه فاز، به ترتیب مقادیر مشخص شده در شکل آزمایش را وارد کنید.

پس از تکمیل مدار، پروژه را ذخیره کنید و از صحت اتصالات مدار اطمینان حاصل کنید و پروژه را با کلیک بر روی دستور Run اجرا کنید.



در صورت نبود خطای ساختاری یا خطای کامپایل، شبیه‌سازی اجرا شده و می‌توانید نمودارهای مربوط به ولتاژ و جریان سه فاز را مشاهده و مقایسه کنید.

➤ نکته: در صورت اجرای درست و عدم نمایش صحیح نتایج به احتمال زیاد مشکل از مقایس نمودارها است. برای رفع این مشکل داخل نمودارها کلیک راست کرده و از منوی Zoom گزینه Reset All Extents را انتخاب کنید.



سوالات آزمایش:

سؤال ۱: چرا جریان‌های سه فاز در این آزمایش برابر نیستند؟

سؤال ۲: اگر سه مقاومت برابر شوند، چه تغییری در جریان‌ها و ولتاژهای سه فاز ایجاد خواهد شد؟

سؤال ۳: اگر مقدار مقاومت فاز C از ۱ اهم تا ۱۰ اهم تغییر کند، اندازه جریان این فاز چه تغییری خواهد کرد؟

دانشگاه تبریز

آزمایش دوم: بررسی مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط عادی

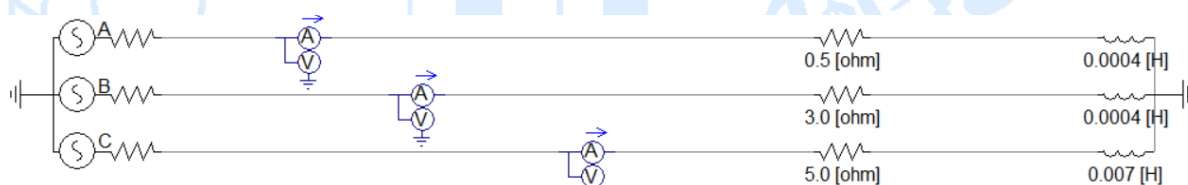
در این آزمایش، با استفاده از مدار سه فاز مورد بررسی در آزمایش قبل، مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط عادی بررسی می‌شود. در این مرحله، علاوه بر مقاومت، یک اندوکتانس نیز در مسیر هر فاز قرار داده شده و در نتیجه امپدانس سه فاز از نظر مقدار و مشخصه فازی با یکدیگر متفاوت خواهند بود. سپس با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار PSCAD، ولتاژهای سه فاز به مؤلفه‌های متقارن مستقیم (Direct)، معکوس (Inverse) و صفر (Zero) تجزیه شده و نتایج آن‌ها در نمودارهای فازوری بررسی می‌شود.

الف) مبانی نظری

در آزمایش قبل مشاهده شد که تفاوت پارامترهای بار در سه فاز می‌تواند موجب نامتعادل شدن کمیت‌های الکتریکی سیستم شود. در این آزمایش، برای بررسی دقیق‌تر این نامتعادلی، علاوه بر مقاومت، یک سلف نیز در مسیر هر فاز قرار داده شده است. بنابراین امپدانس هر فاز به صورت کلی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z = R + j\omega L$$

که در آن R مقاومت، L اندوکتانس و ω فرکانس زاویه‌ای سیستم است. مطابق مدار این آزمایش، مدار سه فاز به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

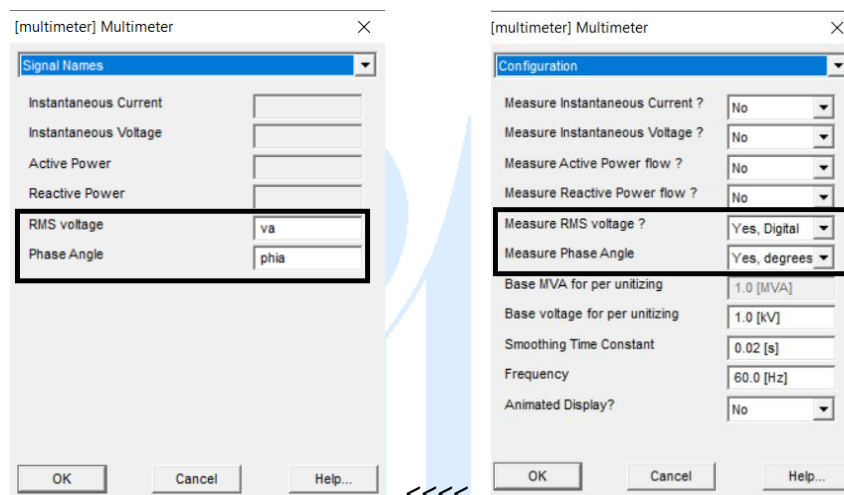


برای تحلیل یک سیستم سه فاز، می‌توان هر مجموعه سه فازی را به سه مجموعه مؤلفه متقارن شامل مؤلفه مستقیم، مؤلفه معکوس و مؤلفه صفر تجزیه کرد. در حالت عادی و بدون وقوع خطا، ممکن است سیستم همچنان نامتعادل باشد. در این آزمایش، نامتعادلی می‌تواند ناشی از تفاوت پارامترهای سه فاز باشد؛ بنابراین، مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر بر اساس نتایج شبیه‌سازی بررسی و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. هدف اصلی این بخش، مشاهده مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر و بررسی تغییرات آن‌ها در اثر نامتعادل بودن پارامترهای سه فاز است.

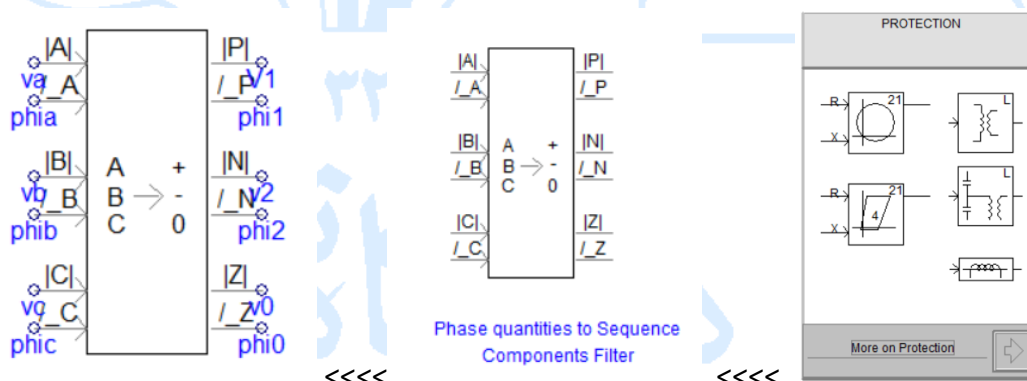
ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

در این آزمایش، ساختار کلی مدار و نحوه ایجاد پروژه بر اساس شکل بالا، مشابه جلسه قبل است؛ بنابراین مراحل مربوط به ایجاد پروژه، منبع سه فاز، مولتی‌متر و Graph به همان صورت انجام می‌شود. تغییر اصلی مدار در این جلسه، اضافه شدن اندوکتانس‌های سری و بخش مربوط به محاسبه مؤلفه‌های متقارن است. ابتدا سه شاخه فازهای a، b و c را مطابق با شکل آزمایش ایجاد کنید و برای اضافه کردن اندوکتانس می‌توانید از منوی سمت راست استفاده کنید.

به اندازه‌گیری دو پارامتر ولتاژ موثر (RMS) و اندازه زاویه فاز (Phase Angel) نیاز است. در داخل تنظیمات مولتی متر طبق شکل زیر و در قسمت Configuration، اندازه‌گیری این دو پارامتر را فعال کنید و در قسمت Signal name متغیر مناسبی برای هر کدام اختصاص دهید و این کار را برای هر سه فاز با متغیرهای منحصر به فرد انجام دهید.

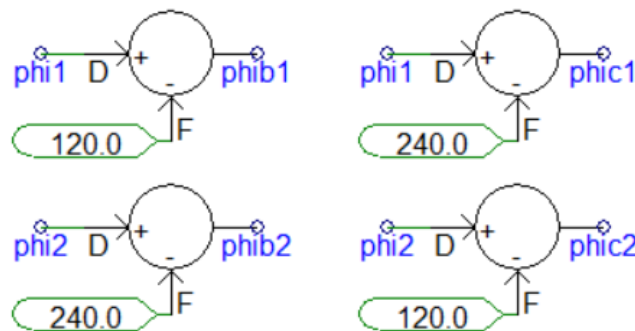


در نتیجه، پارامترهای اندازه‌گیری شده را با استفاده از **Data Label** مانند جلسه قبل با متغیرهای مناسب مشخص کنید. از آنجا که در این آزمایش، مؤلفه‌های متقارن به صورت فازوری مورد بررسی قرار می‌گیرند، سیگنال‌های مورد نیاز برای این محاسبات باید در مدار در دسترس باشند. برای به دست آوردن مؤلفه‌های متقارن، بخش محاسباتی نشان داده شده در شکل را به مدار اضافه کنید. در این بخش، کمیت‌های مربوط به دامنه و زاویه فاز سه فاز به بلوک تبدیل مؤلفه‌های متقارن وارد می‌شوند و مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر در خروجی به دست می‌آیند. ابتدا، لازم است که مقادیر ولتاژ موثر بر اساس زاویه فاز به مقادیر فازوری تبدیل شود. برای این کار از بلوک **Sequence filter** در کتابخانه **Protection** به صورت زیر استفاده می‌شود. کافی است در سمت چپ این بلوک با استفاده از **Data label** متغیرهای ولتاژ موثر و اندازه فاز قرار داده شود و در سمت راست مقادیر فازوری آن‌ها با استفاده از **Data label** بدست آید. ورودی این بلوک شامل اندازه مؤثر ولتاژ و زاویه فاز هر فاز است و خروجی آن، فازور متناظر را در اختیار بخش محاسبه مؤلفه‌های متقارن قرار می‌دهد.

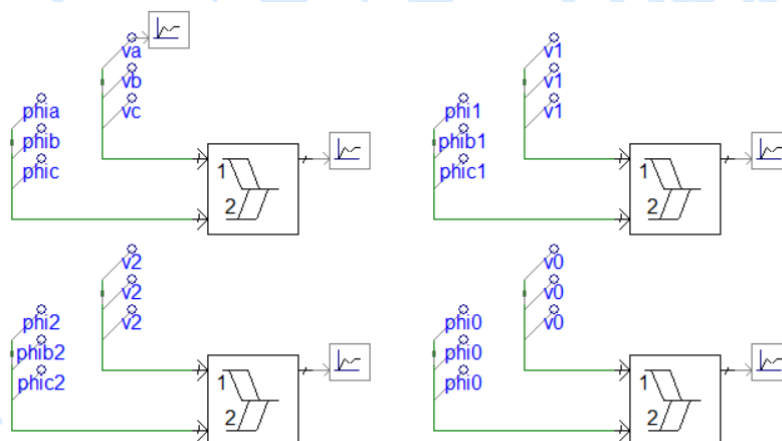


قبل از مراحل مربوط به رسم خروجی، لازم است شیفت فازهای مورد نیاز انجام گیرد. برای تشکیل مؤلفه‌های متقارن، فازورهای سه فاز باید با توجه به ترتیب فاز، به اندازه‌های مناسب ۱۲۰ و ۲۴۰ درجه شیفت داده شوند. جهت این شیفت برای تشکیل مؤلفه مثبت و منفی یکسان نیست؛ بنابراین، ترتیب شیفت فازهای **b** و **c** مطابق شکل رعایت شود. کافی است

که بلوک Summing از کتابخانه CSMF و المان Integer constant را از منوی سمت راست به صورت زیر، به مدار اضافه کنید.

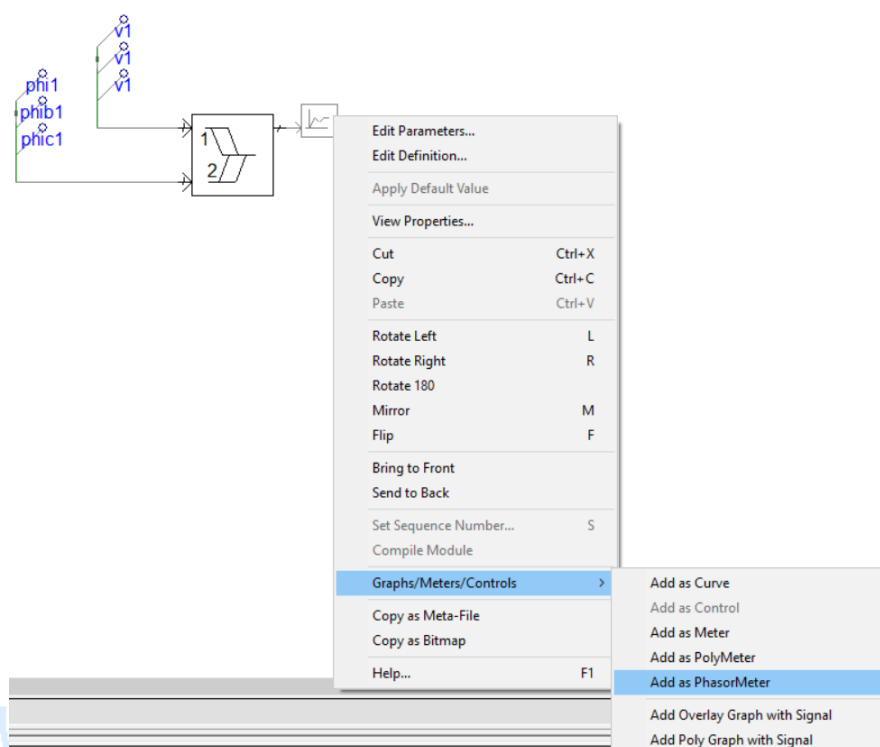


پس از بخش محاسبه مؤلفه‌ها، برای مشاهده نتایج، گراف‌های مربوط به کمیت‌های سه‌فاز اصلی، مؤلفه مستقیم، مؤلفه معکوس و مؤلفه صفر به صورت فازوری رسم خواهند شد. قبل از این کار، از المان Merge data در منوی سمت راست و بلوک Vector interlace در کتابخانه I/O devices برای انتقال داده‌های لازم به نمودار استفاده می‌شود:



➤ نکته: در تنظیمات المان Vector interlace باید تعداد متغیرها را در قسمت Output dimension وارد کنید و در اینجا چون در هر کدام ۳ پارامتر ولتاژ و سه پارامتر فاز وجود دارد، پس، عدد ۶ را وارد می‌کنید.

برای نمایش نتایج فازوری، نمودارهای مربوط به Direct, Phase, Inverse و Zero را مطابق شکل آزمایش در محیط PSCAD ایجاد کنید و بر خلاف آزمایش قبلی این بار گزینه‌ی Add as PhasorMeter انتخاب کنید.



پس از تکمیل مدار و تنظیم تمامی پارامترها، پروژه را ذخیره کرده و با استفاده از دستور Run شبیه‌سازی را اجرا کنید. در صورت اجرای صحیح، نمودارهای مربوط به کمیت‌های فازی و مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر قابل مشاهده خواهند بود.

سوالات آزمایش

سؤال ۱: نتایج بدست آمده با توجه به تفاوت مقاومت و اندوکتانس سه فاز، است. در صورتی که این مقادیر برای هر فاز یکسان باشند، نتایج چه تغییری خواهند کرد؟ چرا؟

سؤال ۲: با مشاهده نمودارهای Direct، Inverse و Zero، مؤلفه‌های متقارن به دست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید. کدام مؤلفه در مدار مورد بررسی سهم بیشتری دارد و دلیل آن چیست؟

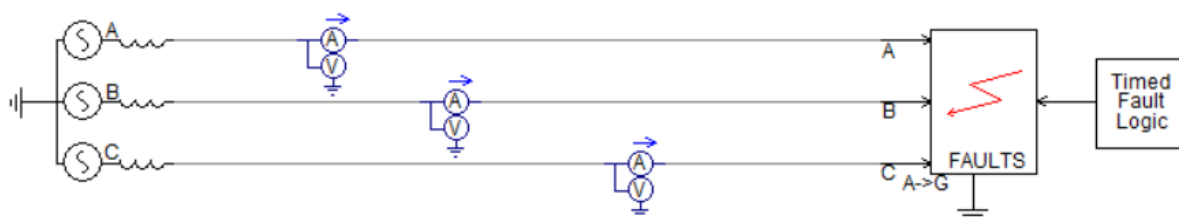
آزمایش سوم: بررسی مولفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط خطای اتصال کوتاه

در این آزمایش، با استفاده از ساختار مدار سه‌فاز مورد استفاده در جلسه قبل، یک خطای الکتریکی در شبکه ایجاد و اثر آن بر مولفه‌های متقارن بررسی می‌شود. برای این منظور، بلوک Faults در مسیر سه فاز قرار گرفته و اعمال خطا با استفاده از بلوک Timed Fault Logic کنترل می‌شود. سپس، مولفه‌های متقارن ولتاژ مستقیم، معکوس و صفر آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

الف) مبانی نظری

وقوع خطا در سیستم قدرت باعث تغییر ناگهانی در ولتاژها و جریان‌های سیستم می‌شود. بسته به نوع خطا، میزان نامتعادلی ایجاد شده در سیستم و در نتیجه مؤلفه‌های متقارن حاصل از آن نیز متفاوت خواهد بود. برای تحلیل نتایج، همانند جلسه قبل، کمیت‌های سه‌فاز به مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر تجزیه می‌شوند. برای یک مجموعه سه‌فازی مانند ولتاژهای V_A ، V_B و V_C ، مؤلفه‌های متقارن به صورت زیر تعریف می‌شوند:

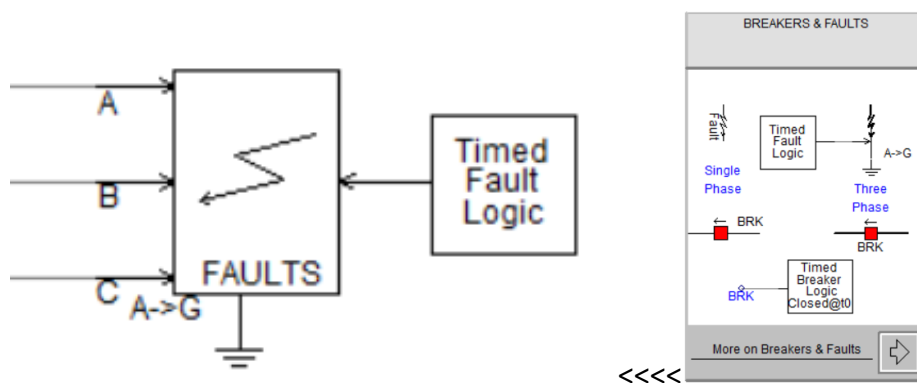
$$V_0 = \frac{1}{3}(V_A + V_B + V_C), \quad V_1 = \frac{1}{3}(V_A + aV_B + a^2V_C), \quad V_2 = \frac{1}{3}(V_A + a^2V_B + aV_C)$$



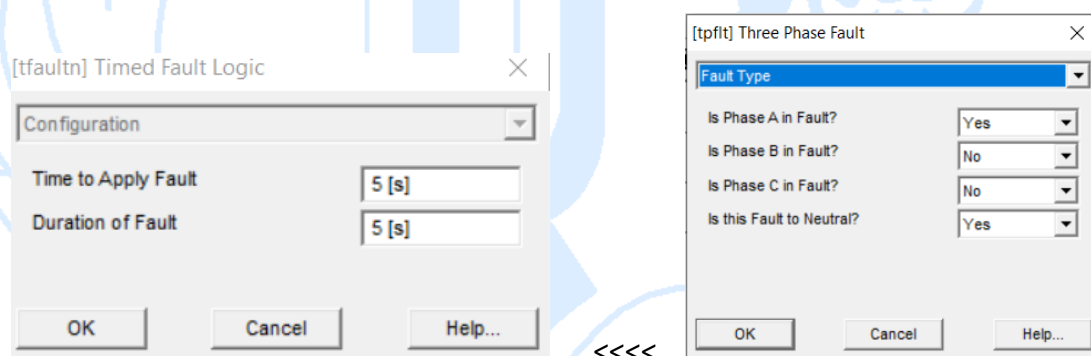
با وقوع خطا، اندازه و زاویه فازورهای ولتاژ تغییر می‌کند و بسته به نوع خطا، مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر نیز رفتار متفاوتی خواهند داشت.

ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

در این آزمایش، بخش اصلی مدار و نحوه اندازه‌گیری ولتاژ مطابق آزمایش‌های قبل است. تغییر اصلی در این جلسه، اضافه کردن بلوک Faults و منطقی زمانی اعمال خطا به مدار است. مطابق با شکل بالا، ابتدا بلوک Faults را در مسیر سه فاز قرار دهید و فازهای a، b و c را مطابق شکل آزمایش به آن متصل می‌کنیم. خروجی این بلوک را به ادامه مدار متصل کنید. برای این کار از دو بلوک Faults و Timed Fault logic در کتابخانه Breakers & Faults به صورت زیر استفاده می‌شود که به ترتیب نوع و زمان وقوع اتصال کوتاه را مشخص می‌کنند.



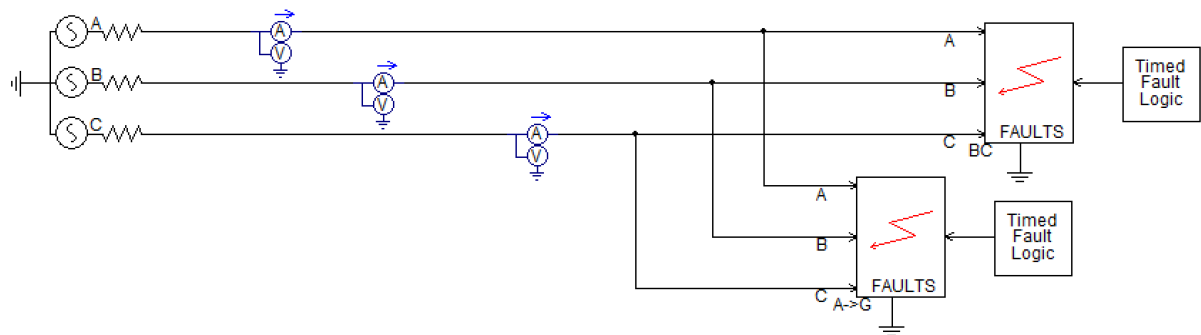
در نتیجه، بلوک Faults امکان ایجاد خطا در فازهای مختلف را فراهم می‌کند. نوع فاز یا فازهای درگیر در خطا را مطابق شرایط تعیین شده برای آزمایش انتخاب کنید. برای تعیین نوع خطا، فاز یا فازهای موردنظر را در تنظیمات Faults فعال کنید. در صورتی که خطا باید به زمین متصل باشد، اتصال Neutral to Fault نیز فعال شود. به این ترتیب، انتخاب فازهای فعال و وضعیت اتصال به زمین، نوع خطای موردنظر را تعیین می‌کند. پس، در تنظیمات این بلوک از سربرگ Fault type هر فازی که می‌خواهیم اتصال کوتاه شود را Yes کرده و اگر بخواهیم اتصال کوتاه به زمین باشد، گزینه‌ی Is this Fault to Neutral? را هم Yes می‌کنیم. بلوک Timed Fault Logic را به ورودی کنترلی بلوک Faults متصل کنید تا اعمال خطا در زمان مشخص انجام شود. در تنظیمات این بلوک، گزینه‌ی Time to Apply Fault زمان شروع اتصال کوتاه و گزینه‌ی Duration of Fault مدت زمان اتصال کوتاه را مشخص می‌کند.



برای مشاهده اثر خطا، مولفه‌های متقارن ولتاژ را که در آزمایش‌های قبل اندازه‌گیری و نام‌گذاری کرده‌اید، به صورت، مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر مشاهده کنید. پس از تکمیل اتصالات و تنظیم پارامترهای خطا، پروژه را ذخیره کرده و شبیه‌سازی را با دستور Run اجرا کنید.

این آزمایش را برای چهار نوع خطای اتصال کوتاه شامل ۱. تکفاز به زمین، ۲. دو فاز به هم، ۳. دو فاز به هم و به زمین و ۴. سه فاز به هم انجام دهید و نتایج را با هم مقایسه کنید.

در ادامه، دو اتصال کوتاه به صورت همزمان و در دو نقطه متفاوت خط در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، یک خطای تکفاز به زمین در یک نقطه از خط و یک خطای دو فاز به هم در نقطه‌ای دیگر اتفاق خواهد افتاد. برای این منظور، دو بلوک Faults در دو محل مختلف خط قرار دهید و طبق مدار زیر، هر یک را به فازهای مورد نظر متصل کنید.



➤ نکته: از آنجایی که اتصال کوتاه، همزمان در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، تنظیمات بلوک **Timed Fault Logic** در هر دو اتصال کوتاه یکسان می‌باشد و مطابق با تنظیمات بخش قبلی می‌باشد.

پس از اجرای شبیه‌سازی، تغییرات مولفه‌های ولتاژ را با حالت‌هایی که یک خطا وجود دارد و در بخش‌های قبل بررسی شد، مقایسه کنید. در این حالت، پاسخ سیستم حاصل برهم‌کنش دو خطای ایجادشده در دو نقطه مختلف خط است؛ بنابراین، شکل موج‌ها و مؤلفه‌های متقارن را هم از نظر مقدار و هم از نظر زمان وقوع تغییرات بررسی کنید.

سوالات آزمایش

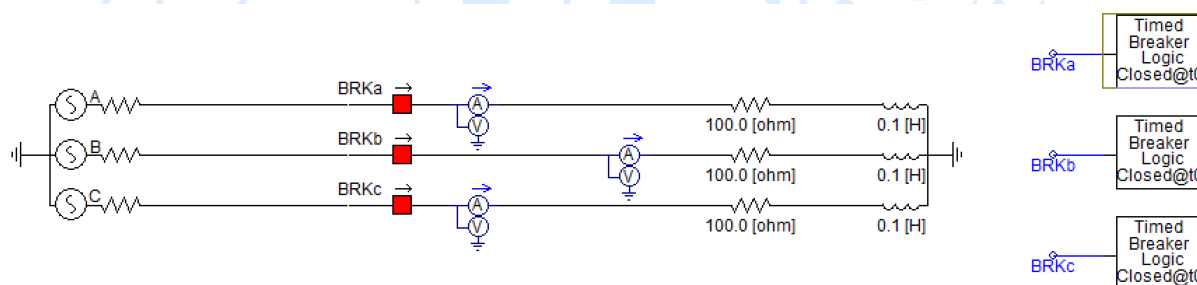
- سؤال ۱: در حالت خطا، چه تغییراتی در مولفه‌های متقارن نسبت به شرایط عادی مشاهده می‌شود؟ چرا؟
- سؤال ۲: با مقایسه مؤلفه‌های متقارن در چهار نوع اتصال کوتاه شامل ۱. تکفاز به زمین، ۲. دو فاز به هم، ۳. دو فاز به هم و به زمین و ۴. سه فاز به هم، نوع هم‌بندی مولفه‌ها را تعیین کنید و نحوه‌ی استنباط خود را توضیح دهید.
- سؤال ۳: با وقوع همزمان یک خطای تکفاز به زمین و یک خطای دو فاز به هم در دو نقطه مختلف خط، چه تغییراتی در مولفه‌های ولتاژ مشاهده می‌شود؟ و هم‌بندی مولفه‌ها به چه صورت خواهد بود؟ چرا؟
- سؤال ۴: برای فاز **a** که در تمام شرایط تحت تأثیر قرار گرفته است، نمودارهای جریان و ولتاژ لحظه‌ای را در تمام حالت‌های بررسی شده بدست آورید و آن‌ها را تحلیل و مقایسه کنید.

آزمایش چهارم: بررسی مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط خطای قطع فاز

هدف از این آزمایش، بررسی رفتار یک مدار سه‌فاز در شرایط مختلف قطع فازها و مطالعه اثر این وضعیت بر مؤلفه‌های متقارن ولتاژ سیستم است. در این آزمایش، مدار سه‌فاز متقارن شامل مقاومت و اندوکتانس در هر فاز ایجاد شده و با استفاده از کلیدهایی قابل کنترل، هر یک از فازها را می‌توان در زمان مشخص از مدار خارج کرد و تغییرات مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر را بررسی کرد.

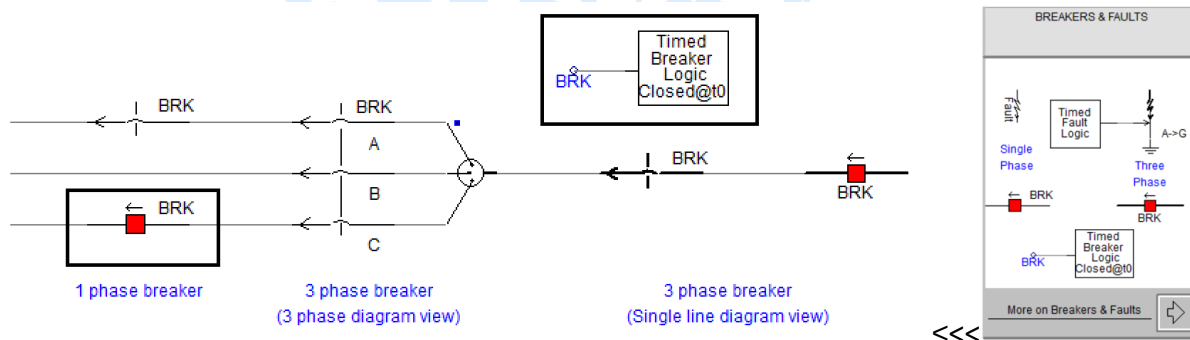
الف) مبانی نظری

در شرایط عادی، مدار مورد بررسی دارای سه فاز متقارن است و امپدانس هر سه شاخه برابر است. در این آزمایش، برای هر فاز مقاومت و اندوکتانس یکسان در نظر گرفته شده‌اند. در نتیجه، در شرایط عادی، سیستم از نظر پارامترهای مدار، متقارن است. هنگامی که یکی از فازها از مدار خارج شود، تقارن سه‌فاز از بین می‌رود و ولتاژها و جریان‌های سیستم از حالت متعادل خارج می‌شوند. این وضعیت را می‌توان با استفاده از مؤلفه‌های متقارن تحلیل کرد. همان‌طور که در جلسه قبل بررسی شد، هر مجموعه سه‌فازی را می‌توان به مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر تجزیه کرد.



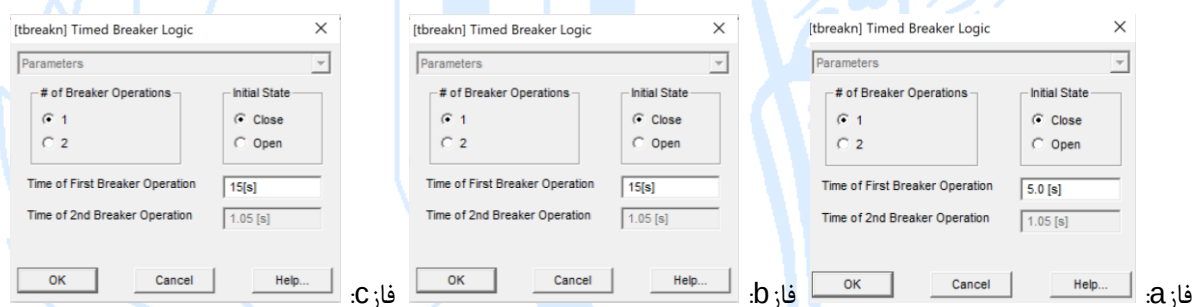
ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

در این آزمایش، ساختار اصلی مدار سه‌فاز و بخش اندازه‌گیری مطابق آزمایش‌های قبلی است. تغییر اصلی، قرار دادن Breaker در مسیر هر فاز و استفاده از آن‌ها برای ایجاد شرایط قطع فاز است. پس، همان Single Phase Breaker و بلوک Timed Breaker logic در کتابخانه Breakers & Faults به مدار اضافه می‌کنیم که به ترتیب وضعیت کلیدها (وقوع قطع فاز) و زمان قطع فاز را مشخص می‌کنند.



مطابق با شکل بالا، کلید BRK را در مدار قرار داده و بلوک Timed Breaker logic را به یک Data label که همانم با کلید است، وصل کنید. برای هر فاز یک کلید و یک بلوک کنترلی منحصر به فرد لازم است؛ در مسیر فازهای a، b و c، سه کلید با نام‌های BRKa، BRKb و BRKc قرار دهید. این کلیدها برای کنترل مستقل مسیر هر یک از فازها استفاده می‌شوند. برای کنترل زمان عملکرد کلیدها، برای هر سه کلید یک بلوک Timed Breaker Logic قرار دهید و آن‌ها را مطابق شکل اول به کلید متناظر متصل کنید. برای تعیین نوع قطع فاز لازم است تنظیمات مناسب بلوک Timed Breaker Logic را انجام دهید. در تنظیمات، Breaker Operation را یک انتخاب می‌کنیم؛ این حالت نشان می‌دهد که کلید یک بار تغییر حالت می‌دهد و از حالت اولیه انتخاب شده در زمان مورد نظر تغییر می‌کند. حالت پیش فرض یا حالت اولیه در Initial State تعیین می‌شود و چون هدف قطع خط است، پس Close انتخاب می‌شود تا کلید در حالت اولیه بسته باشد و با رسیدن به زمان مورد نظر که در Time of First Breaker Operation تعیین می‌شود، تغییر حالت می‌یابد.

برای قطع تک فاز، تنها کلید فاز مورد نظر باز شود و دو کلید دیگر بسته باقی بمانند. برای قطع دو فاز، دو کلید مربوطه در زمان یکسان باز شوند و برای قطع سه فاز، هر سه کلید به صورت همزمان باز شوند. در حالت اول، هدف بررسی مولفه‌ها در قطع تکفاز است. از آنجایی که زمان شبیه‌سازی را مطابق با آزمایش‌های قبلی ۱۰ ثانیه تعریف شده، اگر زمان اعمال دستور به کلید بیشتر از این مقدار باشد، آن خط تا انتهای شبیه‌سازی در مدار خواهد بود و اگر کمتر از این مقدار باشد، خط مورد نظر از مدار خارج خواهد شد. پس، تنظیمات مورد نظر برای قطع تکفاز به صورت زیر می‌باشد:



در نتیجه، در تنظیمات اولیه، کلیدها را به گونه‌ای تنظیم کنید که مدار در ابتدای شبیه‌سازی در وضعیت عادی قرار داشته باشد. سپس در زمان تعیین شده، کلید مربوط به فاز a باز شود تا آن فاز از مدار خارج شود. در ادامه، بخش مربوط به مؤلفه‌های متقارن را مطابق ساختار استفاده شده در جلسه قبل به مدار متصل کنید تا مؤلفه‌های مستقیم، معکوس و صفر پس از قطع فاز قابل مشاهده باشند.

این آزمایش را برای سه نوع خطای قطع فاز شامل ۱. تکفاز، ۲. دو فاز و ۳. سه فاز، انجام دهید و نتایج را با هم مقایسه کنید.

سوالات آزمایش

سؤال ۱: با مقایسه مؤلفه‌های متقارن در سه نوع خطای قطع فاز شامل ۱. تکفاز ، ۲. دو فاز و ۳. سه فاز، نوع همبندی مولفه‌ها را تعیین کنید و نحوه‌ی استنباط خود را توضیح دهید.

سؤال ۲: چرا قطع یک فاز باعث ایجاد نامتعادلی در سیستم سه‌فاز می‌شود؟

سؤال ۳: برای فاز a که در تمام شرایط تحت تأثیر قرار گرفته است، نمودارهای جریان و ولتاژ لحظه‌ای را در تمام حالت‌های بررسی شده بدست آورید و آن‌ها را تحلیل و مقایسه کنید.



آزمایش پنجم: محاسبه مؤلفه‌های متقارن جریان در شرایط عادی و خطا

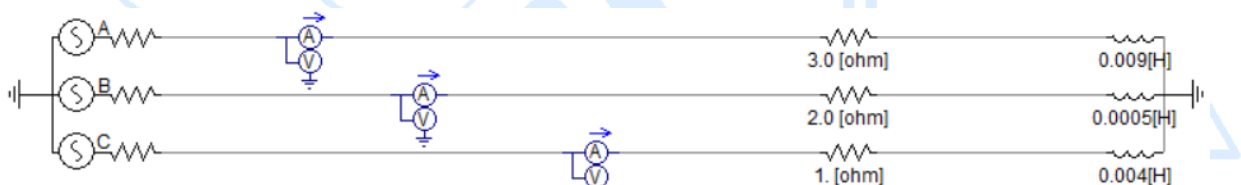
هدف از این آزمایش، آشنایی با نحوه استخراج دامنه و زاویه فازورهای جریان سه‌فاز در محیط PSCAD و محاسبه مؤلفه‌های متقارن جریان در شرایط عادی سیستم است. در این آزمایش، ابتدا مؤلفه اصلی جریان‌های سه‌فاز با استفاده از تحلیل فوریه سریع (Fast Fourier Transform: FFT) در فرکانس کاری سیستم استخراج می‌شود. سپس دامنه و زاویه فاز جریان‌های فازهای a، b و c به‌عنوان ورودی بخش مؤلفه‌های متقارن استفاده شده و مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر جریان محاسبه و به‌صورت فازوری نمایش داده می‌شوند.

الف) مبانی نظری

هر مجموعه سه‌فازی را می‌توان به سه مجموعه متقارن شامل مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر تجزیه کرد. در یک سیستم سه‌فاز متعادل در شرایط عادی، انتظار می‌رود مؤلفه مثبت مؤلفه غالب باشد و مؤلفه‌های منفی و صفر مقدار بسیار کوچکی داشته یا عملاً صفر باشند. برای جریان‌های سه‌فاز I_A ، I_B و I_C ، مؤلفه‌های متقارن از روابط زیر به دست می‌آیند:

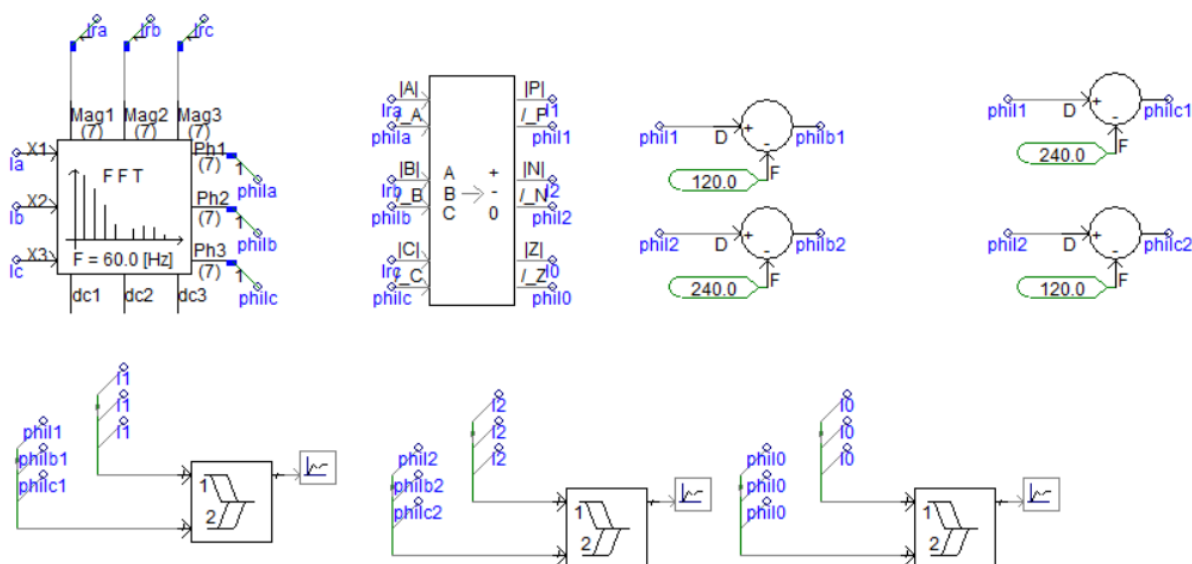
$$I_0 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C), I_1 = \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2I_C), I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C)$$

در این آزمایش، برای استخراج فازور جریان‌های سه‌فاز از FFT استفاده می‌شود. این روش امکان استخراج دامنه و زاویه مؤلفه فرکانسی مورد نظر را از شکل موج لحظه‌ای جریان فراهم می‌کند. ابتدا جریان‌های لحظه‌ای سه فاز اندازه‌گیری می‌شوند و سپس مؤلفه فرکانسی موردنظر آن‌ها با استفاده از FFT استخراج می‌شود تا دامنه و زاویه فازور جریان‌ها در دسترس قرار گیرد. بنابراین ابتدا برای هر یک از جریان‌های I_A ، I_B و I_C ، دامنه و زاویه فاز در فرکانس اصلی به دست می‌آید و سپس این مقادیر برای محاسبه مؤلفه‌های متقارن به کار می‌روند.

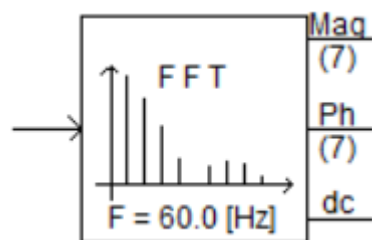


ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

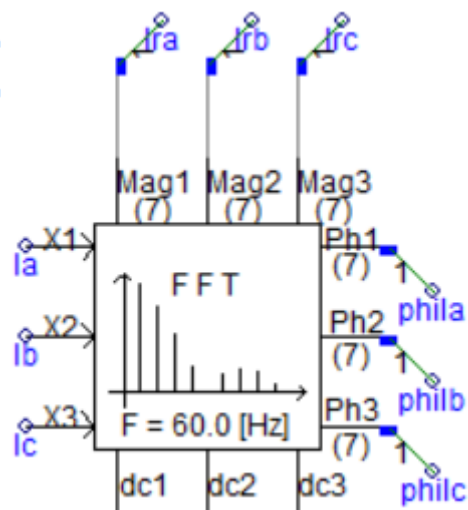
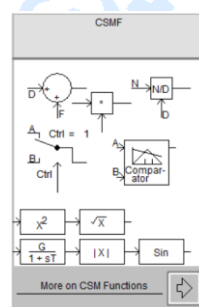
در این آزمایش، نیازی به ایجاد مجدد مدار اصلی و تجهیزات اندازه‌گیری نیست و از جریان‌های سه‌فاز حاصل از مدار استفاده می‌شود. بخش اصلی این آزمایش شامل استخراج فازور جریان‌ها و تبدیل آن‌ها به مؤلفه‌های متقارن است. به طور مشابه با آزمایش‌های قبل، ابتدا سیگنال‌های جریان لحظه‌ای سه‌فاز a، b و c را با تغییرات در مولتی‌متر اندازه‌گیری کرده و با استفاده از Data label به بخش FFT متصل کنید.



در این آزمایش، لازم است مقادیر لحظه‌ای اندازه‌گیری شده توسط مولتی‌متر به مولفه‌ی فازوری تبدیل شود که برای این کار از بلوک FFT در کتابخانه CSMF استفاده می‌شود که با تنظیمات نشان داده شده تبدیل به حالت سه فاز خواهد شد.



<<<<



<<<<

[fft] On-Line Frequency Scanner

Configuration

Type: 3 Phase

Number of Harmonics: n=7

Base frequency: 60.0 [Hz]

Magnitude Output: RMS

Phase Output Units: Degrees

Phase Output reference: Sine wave

Anti-aliasing filter?: yes

Frequency tracking?: no

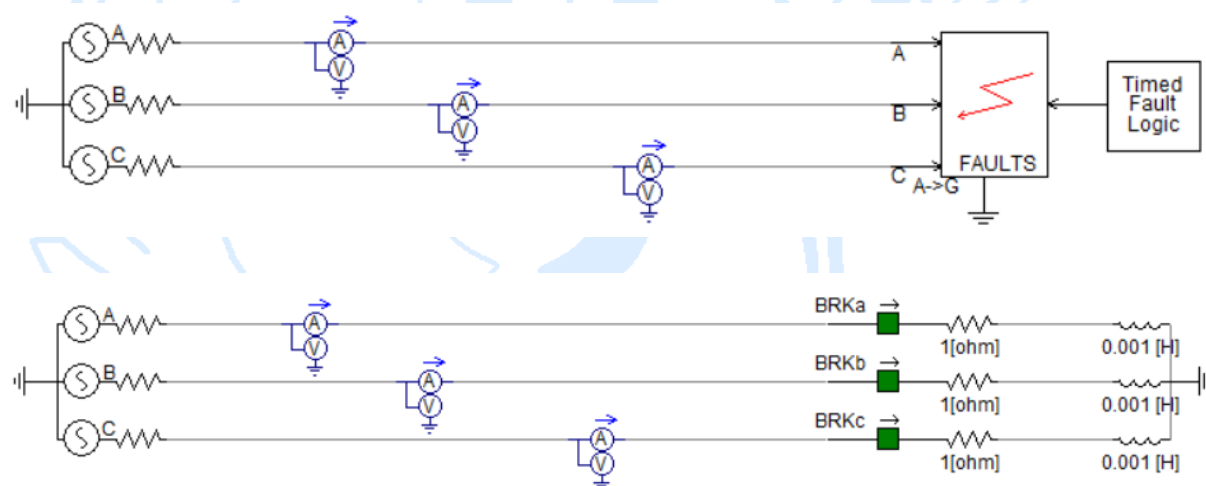
Frequency Tracking Enable Signal: 1

OK Cancel Help...

➤ نکته: در بلوک FFT، خروجی‌های مربوط به دامنه با عنوان‌های **Mag1**، **Mag2** و **Mag3** و خروجی‌های زاویه فاز با عنوان‌های **ph1**، **ph2** و **ph3** مشخص شده‌اند. همچنین، برای اتصال این خروجی‌ها به **Data label** از المان **Data tap** در منوی سمت راست استفاده می‌شود.

سپس دامنه و زاویه فاز سه جریان را به بخش محاسبه مؤلفه‌های متقارن وارد کنید. این بلوک، مقادیر سه جریان را دریافت کرده و مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر را محاسبه می‌کند. در این بخش، برای تشکیل فازورهای مورد نیاز در محاسبات، تغییرات زاویه‌ای ۱۲۰ و ۲۴۰ درجه مطابق با شکل بالا اعمال می‌شوند. پس از محاسبه مؤلفه‌ها، دامنه و زاویه مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر را در منحنی‌های مربوطه به صورت فازوری نمایش دهید.

پس از استخراج فازور جریان‌های سه‌فاز و محاسبه مؤلفه‌های متقارن، می‌توان رفتار مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر جریان را در شرایط مختلف سیستم، بررسی کرد. این بررسی مطابق تحلیل انجام‌شده برای ولتاژ، علاوه بر وضعیت حالت عادی، خطای اتصال کوتاه و قطع فاز، طبق مدارهای زیر، انجام می‌شود. از آنجایی که محاسبه مؤلفه‌های متقارن بر اساس فازورها انجام می‌شود، شکل موج لحظه‌ای جریان به‌طور مستقیم به‌عنوان ورودی محاسبه مؤلفه‌های متقارن استفاده نمی‌شود؛ ابتدا دامنه و زاویه فاز مؤلفه فرکانسی موردنظر استخراج و سپس این فازورها به بخش مؤلفه‌های متقارن وارد می‌شوند.



در حالت عادی، با توجه به متعادل بودن شرایط سیستم، انتظار می‌رود مؤلفه مثبت جریان مؤلفه اصلی باشد و مؤلفه‌های منفی و صفر مقدار ناچیزی داشته باشند. در حالت‌های خطا، نتایج FFT را در بازه زمانی موردنظر برای تحلیل مقایسه کنید و توجه داشته باشید که شکل موج جریان در زمان وقوع خطا می‌تواند از حالت سینوسی ماندگار فاصله داشته باشد. با ایجاد خطای اتصال کوتاه، بسته به نوع خطا، توزیع مؤلفه‌های متقارن جریان تغییر کرده و امکان ایجاد یا افزایش مؤلفه‌های منفی و صفر فراهم می‌شود. همچنین در حالت قطع فاز، به دلیل ایجاد نامتعادلی در جریان‌های سه‌فاز، مؤلفه‌های منفی و صفر جریان نسبت به شرایط عادی تغییر خواهند کرد. بنابراین، با استفاده از ساختار ایجادشده در این آزمایش، مقادیر و فازورهای مؤلفه‌های متقارن جریان را در شرایط مختلف با یکدیگر مقایسه کنید و ارتباط تغییرات آن‌ها را با نوع وضعیت ایجادشده در سیستم بررسی نمایید که عبارتند از:

- اتصال کوتاه: ۱. تکفاز به زمین، ۲. دو فاز به هم، ۳. دو فاز به هم و به زمین و ۴. سه فاز به هم ۵. همزمان تکفاز به زمین و دوفاز به هم

- قطع فاز: ۱. تکفاز، ۲. دو فاز و ۳. سه فاز

سوالات آزمایش

سؤال ۱: نقش FFT در این آزمایش چیست و چرا برای محاسبه مؤلفه‌های متقارن نمی‌توان مستقیماً از شکل موج لحظه‌ای جریان‌ها استفاده کرد؟

سؤال ۲: در همه‌ی حالت‌های بررسی شده، دامنه و زاویه مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر جریان را با یکدیگر مقایسه کنید.

سؤال ۳: اگر یکی از جریان‌های سه‌فاز از نظر دامنه یا زاویه فاز با حالت متعادل تفاوت داشته باشد، انتظار دارید کدام مؤلفه‌های متقارن افزایش یابند؟

سؤال ۴: با توجه به مؤلفه‌های متقارن جریان در شرایط خطای اتصال کوتاه و قطع فاز، هم‌بندی‌های هر حالت را بدست آورده و آن‌ها را توجیه کنید؟ آیا این هم‌بندی‌ها با هم‌بندی‌های بدست آمده بر اساس مؤلفه‌های متقارن ولتاژ یکسان است؟

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

آزمایش ششم: بررسی تأثیر ترانسفورمر بر مؤلفه‌های متقارن در شرایط خطا

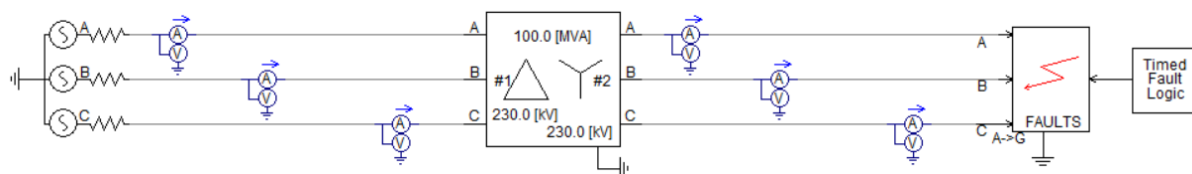
هدف از این آزمایش، بررسی تأثیر ترانسفورمر سه‌فاز بر مؤلفه‌های متقارن ولتاژ و جریان در شرایط خطا است. در این آزمایش، یک ترانسفورمر سه‌فاز در میانه خط قرار داده شده و در انتهای خط یک اتصال کوتاه ایجاد می‌شود. با قرار دادن مولتی‌متر در دو طرف ترانسفورمر، مؤلفه‌های متقارن مثبت، منفی و صفر در دو طرف ترانسفورمر محاسبه می‌شوند تا تفاوت دامنه و زاویه آن‌ها در دو سمت ترانسفورمر و تحت آرایش‌های مختلف سیم‌بندی بررسی شود.

الف) مبانی نظری

مؤلفه‌های متقارن مثبت، منفی و صفر در دو طرف یک ترانسفورمر سه‌فاز در این آزمایش، محاسبه می‌شوند تا تغییرات آن‌ها با اضافه شدن ترانسفورمر به مدار بررسی شود. ترانسفورمر، علاوه بر تغییر سطح ولتاژ و جریان، بسته به نوع اتصال سیم‌بندی اولیه و ثانویه می‌تواند بر دامنه و زاویه فاز مؤلفه‌های متقارن نیز اثر بگذارد. از این‌رو، مقایسه مستقیم فازورها در دو طرف ترانسفورمر باید با توجه به نسبت تبدیل و آرایش اتصال سیم‌بندی انجام شود. همچنین، رفتار مؤلفه صفر به نوع اتصال سیم‌پیچ‌ها و نحوه اتصال نقطه نول و زمین وابسته است. بنابراین، نتایج مؤلفه‌های صفر را نمی‌توان بدون توجه به نوع سیم‌بندی و شرایط زمین‌کردن ترانسفورمر تفسیر کرد. در این آزمایش، با ثابت نگه داشتن سایر شرایط و تغییر نوع اتصال سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، می‌توان اثر آرایش سیم‌بندی ترانسفورمر بر مؤلفه‌های متقارن را مشاهده و مقایسه کرد.

ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

مدار خط و شرایط ایجاد اتصال کوتاه مطابق آزمایش‌های قبلی در نظر گرفته می‌شود و بخش مربوط به خطا و محاسبه مؤلفه‌های متقارن نیاز به بازسازی ندارد. تغییر اصلی در این جلسه، قرار دادن یک ترانسفورمر سه‌فاز در میانه خط و اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی در دو طرف آن است. ابتدا ترانسفورمر سه‌فاز را در محل مشخص شده در مدار قرار دهید و سمت اولیه و ثانویه آن را به دو بخش خط متصل کنید. طبق مدار زیر، در دو طرف ترانسفورمر مولتی‌متر قرار دهید تا ولتاژ و جریان هر سه فاز در سمت اولیه و ثانویه اندازه‌گیری شود.



برای اضافه کردن ترانسفورمر از کتابخانه TRANSFORMERS، المان مورد نظر را انتخاب کرده و به مدار اضافه کنید. همچنین، تنظیمات ترانسفورمر را به صورت نشان داده شده انجام دهید.

[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Transformer

Configuration

Transformer Name

3 Phase Transformer MVA 100.0 [MVA]

Base operation frequency 60.0 [Hz]

Winding #1 Type Delta

Winding #2 Type Y

Delta Lags or Leads Y Lags

Positive sequence leakage reactance 0.1 [pu]

Ideal Transformer Model Yes

No load losses 0.0 [pu]

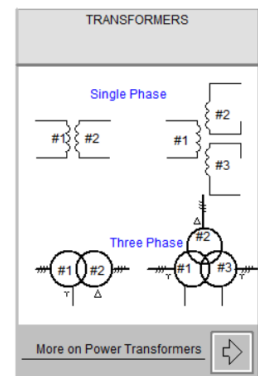
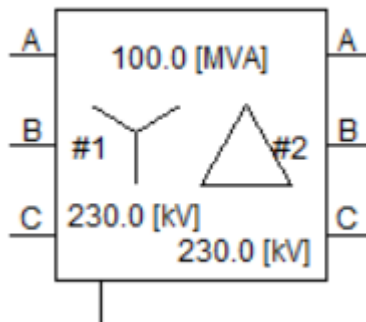
Copper losses 0.0 [pu]

Tap changer on winding None

Graphics Display 3 phase view

Display Details? No

OK Cancel Help...



سیگنال‌های اندازه‌گیری‌شده را با استفاده از Data Label به بخش‌های مربوط به استخراج فازور و محاسبه مؤلفه‌های متقارن متصل کنید. در نتیجه، برای هر دو طرف ترانسفورمر، مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ و جریان در دسترس خواهند بود.

➤ نکته: حتما، برای بدست آوردن مؤلفه‌های متقارن جریان لازم است که از بلوک FFT استفاده شود.

در مرحله بعد، همه‌ی حالت‌های اتصال کوتاه تعریف‌شده در آزمایش‌های قبل را در انتهای خط ایجاد کنید. پس از اجرای شبیه‌سازی، فازورهای ولتاژ و جریان را در دو طرف ترانسفورمر مشاهده کنید. در ادامه، نوع اتصال سیم‌پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورمر را مطابق حالت مورد نظر تغییر دهید و شبیه‌سازی را برای هر آرایش تکرار کنید. در هر حالت، عبارت اول نوع اتصال سیم‌پیچ اولیه و عبارت دوم نوع اتصال سیم‌پیچ ثانویه را نشان می‌دهد؛ برای حالت ستاره نیز وضعیت زمین‌شدن نقطه نول به‌صورت جداگانه مشخص شده است. بنابراین، مؤلفه‌های متقارن ولتاژ و جریان در سمت اولیه و ثانویه ثبت و با حالت‌های دیگر مقایسه شوند که عبارتند از: ۱. مثلث/مثلث ۲. مثلث/ستاره زمین‌نشده ۳. مثلث/ستاره زمین‌شده ۴. ستاره زمین‌نشده/ستاره زمین‌نشده ۵. ستاره زمین‌شده/ستاره زمین‌شده ۶. ستاره زمین‌نشده/مثلث ۷. ستاره زمین‌شده/مثلث ۸. ستاره زمین‌شده/ستاره زمین‌نشده

➤ نکته: برای تغییر نوع سیم‌بندی اولیه و ثانویه ترانسفورمر به ترتیب، گزینه‌های **Winding #1 Type** و **Winding #2 Type** بر اساس اتصال مثلث (Delta) و ستاره (Y) انتخاب کنید.

برای هر نوع اتصال کوتاه نیز همین فرایند را تکرار کنید و تغییرات مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر را در دو طرف ترانسفورمر بررسی کنید. در پایان، نتایج به‌دست‌آمده برای انواع خطای اتصال کوتاه و انواع سیم‌بندی ترانسفورمر با یکدیگر مقایسه شوند.

سوالات آزمایش

سؤال ۱: مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ و جریان در دو طرف ترانسفورمر چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟ و نقش ترانسفورمر چیست؟

سؤال ۲: تغییر نوع اتصال سیم‌بندی اولیه و ثانویه چه اثری بر زاویه فاز مؤلفه‌های متقارن دارد؟

سؤال ۳: چرا رفتار مؤلفه صفر به نوع اتصال سیم‌پیچ‌ها و نحوه اتصال نول و زمین وابسته است؟ نتایج شبیه‌سازی را برای توضیح پاسخ خود بررسی کنید.

سؤال ۴: با مقایسه نتایج انواع اتصال کوتاه، مشخص کنید کدام مؤلفه‌های متقارن در سمت اولیه و ثانویه بیشترین تغییر را نشان می‌دهند.



آزمایش هفتم: بررسی تأثیر امپدانس متغیر بر مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط اتصال کوتاه

هدف از این آزمایش، بررسی تأثیر تغییر امپدانس مدار بر مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط اتصال کوتاه است. در این آزمایش، مدار مورد استفاده در بخش بررسی مؤلفه‌های متقارن ولتاژ در شرایط اتصال کوتاه حفظ شده و یک عنصر امپدانس متغیر در مسیر هر یک از سه فاز و پیش از محل اندازه‌گیری مولتی‌متر قرار می‌گیرد. مقدار این المان با استفاده از Control Panel در سه حالت کم، متوسط و زیاد تغییر داده می‌شود و اثر آن بر مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ بررسی خواهد شد. این بررسی ابتدا با مقاومت متغیر و سپس با خازن و سلف انجام شده و برای انواع اتصال کوتاه، بررسی شده در آزمایش‌های قبل تکرار می‌شود.

الف) مبانی نظری

در شرایط اتصال کوتاه، مقدار و نوع امپدانس موجود در مسیر خط می‌تواند بر میزان افت ولتاژ و در نتیجه بر مؤلفه‌های متقارن ولتاژ اثرگذار باشد. در این آزمایش، به‌منظور بررسی این اثر، یک امپدانس متغیر در مسیر هر سه فاز قرار داده می‌شود و مقدار آن برای هر سه فاز به‌صورت یکسان تغییر می‌کند. برای مقاومت، سلف و خازن رابطه امپدانس به‌صورت زیر است:

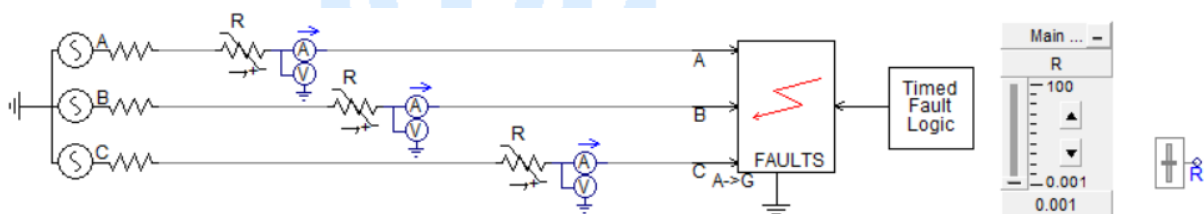
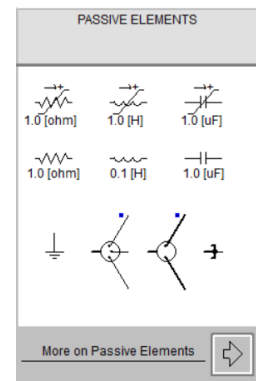
$$Z_R = R, \quad Z_L = j\omega L, \quad Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

در این آزمایش، در هر مرحله تنها نوع عنصر مورد استفاده تغییر می‌کند و مقدار آن از طریق Control Panel در سه سطح کم، متوسط و زیاد تنظیم می‌شود. در هر سه فاز، مقدار یکسانی از عنصر انتخاب‌شده قرار می‌گیرد تا تأثیر تغییر اندازه امپدانس، بدون ایجاد نامتعادلی ناشی از تفاوت پارامترهای سه فاز، بررسی شود. با تغییر مقدار عنصر سری، امپدانس مسیر هر فاز تغییر می‌کند و در نتیجه، مقدار و فاز ولتاژ اندازه‌گیری‌شده و مؤلفه‌های متقارن آن می‌توانند تغییر کنند. مقایسه نتایج در سه سطح امپدانس می‌تواند نحوه تأثیر هر یک از عناصر مقاومتی، سلفی و خازنی را بر پاسخ ولتاژ سیستم در شرایط اتصال کوتاه نشان دهد.

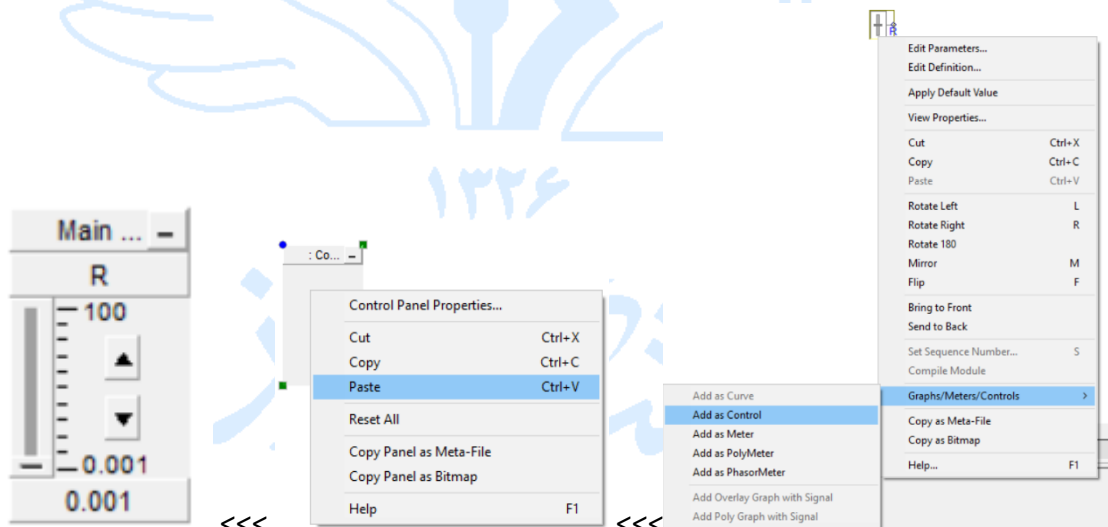
ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

در این آزمایش، مدار اصلی و بخش مربوط به ایجاد اتصال کوتاه مطابق آزمایش‌های قبل حفظ می‌شود و تنها عنصر امپدانس متغیر به مدار اضافه خواهد شد. همچنین بخش محاسبه و نمایش مؤلفه‌های متقارن ولتاژ نیز بدون تغییر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابتدا در مسیر هر سه فاز و پیش از محل اندازه‌گیری ولتاژ، یک مقاومت متغیر قرار دهید. برای این کار، از کتابخانه PASSIVE ELEMENTS استفاده کرده و مقاومت، خازن و سلف متغیر را در حالت‌های جاگانه به مدار اضافه کنید.

Variable RLC Components
(Allows entry of numbers (like 1.0) or Variable Names (ABC)...) <<<<



مقدار مقاومت هر سه فاز را به یک متغیر مشترک تعریف شده در Data label متصل کنید تا هر سه مقاومت در تمام مراحل آزمایش مقدار یکسان داشته باشند. سپس با استفاده از Control Panel امکان تغییر این متغیر را در سه حالت کم، متوسط و زیاد فراهم کنید. ابتدا، در صفحه‌ی پروژه کلیک راست کرده و از مسیر <<< Controls <<< Add component Slider ، Slider را انتخاب کنید و آن را به Data label با متغیر تعریف شده وصل نمایید. سپس، دوباره در صفحه‌ی پروژه کلیک راست کرده و از مسیر <<< Add component Control panel را انتخاب کنید تا صفحه‌ی خالی کنترل‌کننده به پروژه اضافه شود. برای اضافه کردن Slider به Control panel، ابتدا بر روی Slider کلیک راست کرده و گزینه Add as control <<<Graphs/Meters/Controls را انتخاب کنید. بر روی بلوک Control panel کلیک راست کرده و گزینه Paste را بزنید. حال، می‌توان با تغییر محل اشاره‌گر Slider ، مقدار مقاومت را تغییر داد.



➤ نکته: در هر سه فاز باید مقدار یکسانی از مقاومت متغیر اعمال شود. هدف این آزمایش بررسی اثر مقدار امپدانس است و نباید نامتعادلی جدیدی از طریق متفاوت بودن پارامترهای سه فاز ایجاد شود. پس، در تنظیمات بلوک مقاومت متغیر در هر سه فاز، متغیر تعریف شده در Data label (مثلاً R) را بنویسید.

پس از تنظیم مقاومت متغیر، یکی از حالت‌های اتصال کوتاه را مطابق آزمایش قبل ایجاد کرده و شبیه‌سازی را برای سه مقدار کم (۰/۰۱)، متوسط (۱۰) و زیاد (۱۰۰) مقاومت اجرا کنید. در هر حالت، مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ را با یکدیگر مقایسه نمایید.

در مرحله بعد، مقاومت‌های متغیر را با خازن‌های متغیر جایگزین کنید و تنظیمات آن‌ها را به گونه‌ای انجام دهید که مقدار خازن در هر سه فاز یکسان باشد. سپس مانند مرحله قبل، مقدار خازن را با استفاده از Control Panel در سه حالت کم، متوسط و زیاد تغییر دهید. برای هر سه مقدار خازن، شبیه‌سازی را انجام داده و مؤلفه‌های متقارن ولتاژ را مقایسه کنید. همچنین، همین روند را با سلف‌های متغیر تکرار کنید. مقدار سلف هر سه فاز باید یکسان بوده و با استفاده از Control Panel در سه حالت کم، متوسط و زیاد تغییر داده شود. پس از تکمیل بررسی سه المان، هر یک از مراحل بالا را برای انواع اتصال کوتاه مورد بررسی در آزمایش‌های قبل تکرار کنید و نتایج مؤلفه‌های متقارن ولتاژ را با یکدیگر مقایسه نمایید.

در تحلیل نتایج، برای هر نوع المان و هر نوع اتصال کوتاه، تغییرات مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ را در سه حالت کم، متوسط و زیاد بررسی کنید. همچنین، رفتار این مؤلفه‌ها را هنگام تغییر نوع المان از مقاومت به خازن و سپس سلف با یکدیگر مقایسه نمایید. در تمام مراحل، مقدار المان مورد استفاده در سه فاز یکسان نگه داشته شود و تنها مقدار آن از طریق Control Panel تغییر کند.

سوالات آزمایش

سؤال ۱: با افزایش مقدار مقاومت، مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ چه تغییری می‌کنند؟

سؤال ۲: تغییر مقدار خازن و سلف چه تفاوتی در رفتار مؤلفه‌های متقارن ولتاژ ایجاد می‌کند؟

سؤال ۳: چرا در این آزمایش باید مقدار امپدانس‌های مورد استفاده در هر سه فاز یکسان باشد؟

سؤال ۴: برای یک نوع اتصال کوتاه مشخص، با تغییر امپدانس از مقاومت به خازن و سپس سلف، کدام مؤلفه‌های متقارن ولتاژ بیشترین تغییر را نشان می‌دهند؟

سؤال ۵: اثر تغییر مقدار امپدانس را برای انواع اتصال کوتاه با یکدیگر مقایسه کنید. آیا رفتار مؤلفه‌های متقارن در همه انواع خطا یکسان است؟

آزمایش هشتم: بررسی رفتار گذرای سیستم قدرت در اثر وقوع و رفع اتصال کوتاه

هدف از این آزمایش، بررسی رفتار گذرای یک سیستم انتقال قدرت دو سو تغذیه در اثر وقوع و رفع یک اتصال کوتاه سه فاز است. در این آزمایش، دو منبع در دو طرف شبکه توسط دو مسیر انتقال موازی به یکدیگر متصل شده‌اند و یک اتصال کوتاه سه فاز در یکی از مسیرها ایجاد می‌شود. با استفاده از کلیدهای قرار گرفته در دو طرف خطوط، مسیر خطا دار از مدار خارج شده و رفتار سیستم پس از رفع خطا بررسی می‌شود. در این فرایند، تغییرات زاویه سیستم و سایر کمیت‌های الکتریکی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف) مبانی نظری

وقوع یک اتصال کوتاه شدید در شبکه انتقال می‌تواند موجب تغییر سریع توان منتقل شده و در نتیجه تغییر زاویه بین منابع دو طرف سیستم شود. پس از وقوع خطا، نحوه عملکرد کلیدها و زمان رفع خطا نقش مهمی در رفتار گذرای سیستم خواهد داشت. در مدار این آزمایش، دو مسیر موازی بین دو منبع وجود دارد. مشخصات اندوکتانسی دو مسیر مطابق شکل به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$L_1 = 0.02 H$$

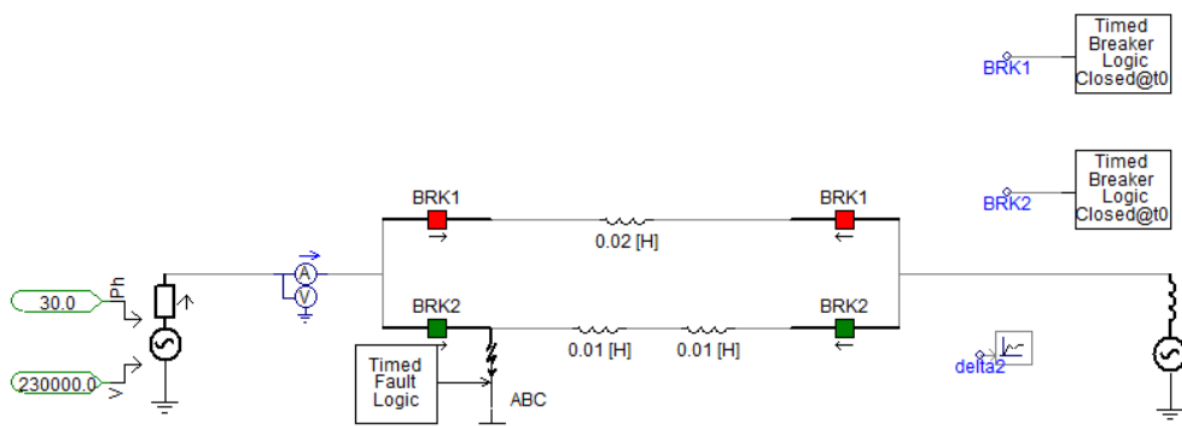
و در مسیر دوم:

$$L_{2a} = 0.01 H , \quad L_{2b} = 0.01 H$$

در یکی از مسیرها یک اتصال کوتاه سه فاز ایجاد می‌شود. با وقوع خطا، شرایط الکتریکی شبکه تغییر کرده و توان عبوری از مسیرهای سالم و خطا دار دچار تغییر می‌شود. با باز شدن کلیدهای مسیر خطا دار، آن مسیر از شبکه خارج شده و سیستم وارد وضعیت جدیدی می‌شود. در طول این فرایند، زاویه بین دو منبع می‌تواند تغییر کند. در این آزمایش، متغیر δ_2 برای نمایش اختلاف زاویه فاز بین دو سمت سیستم استفاده می‌شود. این کمیت باید در طول شبیه سازی قبل از وقوع خطا، هنگام خطا و پس از رفع آن بررسی شود. بررسی تغییرات این زاویه، امکان مطالعه پاسخ گذرای سیستم پس از وقوع خطا و رفع آن را فراهم می‌کند.

ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

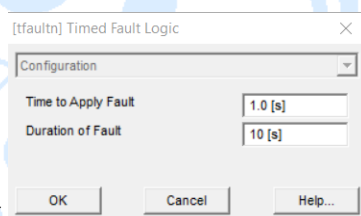
در این آزمایش، ساختار اصلی مدار مطابق شکل زیر ایجاد می‌شود. دو منبع سه فاز در دو طرف سیستم قرار داده شده و بین آن‌ها دو مسیر انتقال موازی در نظر گرفته می‌شود. در دو طرف هر مسیر، کلیدهای مربوطه قرار گرفته‌اند. مطابق شکل، کلیدهای مسیرها با نام‌های BRK1 و BRK2 مشخص شده‌اند. در ادامه، در محل مشخص شده روی مسیر دوم، یک خطای سه فاز ABC ایجاد کنید. زمان وقوع خطا را با استفاده از Timed Fault Logic تعیین نمایید.



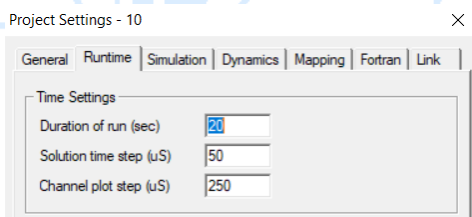
➤ نکته: در ابتدای شبیه‌سازی، شبکه باید در شرایط عادی قرار داشته باشد و پس از سپری شدن زمان تعیین‌شده، اتصال کوتاه سه‌فاز ایجاد شود. سپس، خط معیوب با استفاده از دو کلید در ابتدا و انتهای خط از مدار خارج می‌شود.

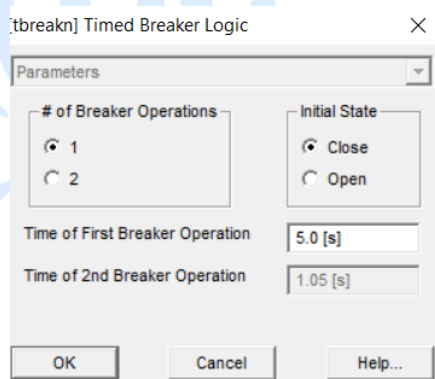
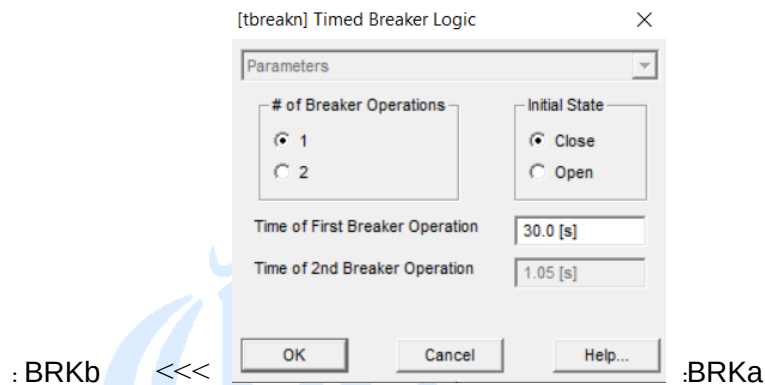
لازم به ذکر است که برای زمان وقوع خطای اتصال کوتاه رفع خطا و عملکرد کلیدهای مسیر خطادار، به ترتیب توسط Timed Breaker Logic و Timed Fault Logic کنترل می‌شود. تنظیمات زمانی این بلوک‌ها را به گونه‌ای انجام دهید که پس از وقوع خطا، مسیر خطادار از شبکه جدا شود و به صورت زیر می‌باشند. همچنین، زمان شبیه‌سازی ۲۰ ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

<<< زمان شبیه‌سازی:



اتصال کوتاه:





پس از ایجاد مدار و تنظیم زمان وقوع خطا و عملکرد کلیدها، کمیت‌های مورد نظر را برای مشاهده در Graphs به مدار اضافه کنید. در این آزمایش، تغییرات زاویه، با متغیر δ_2 مشاهده کنید که این متغیر در تنظیمات Signal name مولتی‌متر بعد از فعال کردن Phase Angel نوشته می‌شود. سپس، این متغیر با استفاده از Data label به Graph متصل می‌شود و از گزینه Add Overlay Graph with Signal نمودار ایجاد می‌شود که مقدار زاویه فاز بر حسب زمان را نشان می‌دهد. در تحلیل این آزمایش، زمان وقوع خطا و زمان جداسازی مسیر خطادار را با تغییرات شکل موج زاویه و تطبیق دهید. پس از رفع خطا، بررسی کنید که آیا سیستم به یک وضعیت ماندگار جدید بازمی‌گردد یا زاویه سیستم همچنان افزایش می‌یابد. همچنین، عملکرد مسیر سالم را پس از خروج مسیر خطادار از مدار بررسی کنید.

سوالات آزمایش

سؤال ۱: با وقوع خطا و سپس خروج مسیر خطادار از مدار، زاویه δ_2 چه تغییری می‌کند؟ شکل موج حاصل را تحلیل کنید.

سؤال ۲: اگر زمان رفع خطا افزایش یابد، انتظار می‌رود چه تغییری در رفتار گذرای زاویه δ_2 ایجاد شود؟

سؤال ۳: با توجه به شکل موج زاویه، چگونه می‌توان تشخیص داد که سیستم پس از رفع خطا به وضعیت ماندگار بازمی‌گردد یا خیر؟



۱۳۳۶

دانشگاه تبریز

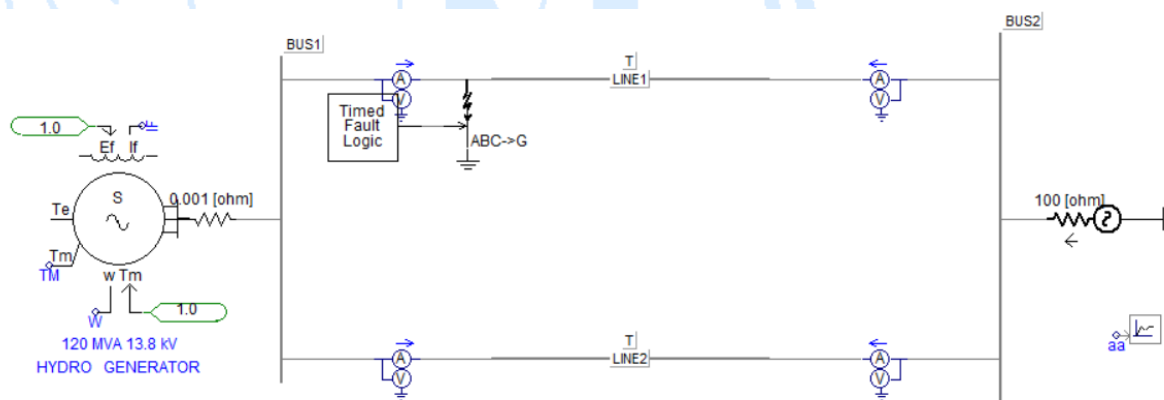
آزمایش نهم: بررسی تغییرات زاویه فاز سیستم در اثر وقوع اتصال کوتاه

هدف از این آزمایش، بررسی رفتار گذرای یک ژنراتور سنکرون در اثر وقوع اتصال کوتاه سه فاز به زمین در شبکه انتقال است. در این آزمایش، یک ژنراتور آبی با توان نامی ۱۲۰ مگاوات آمپر و ولتاژ ۱۳/۸ کیلوولت به دو شین از طریق دو خط انتقال موازی متصل شده است و یک اتصال کوتاه سه فاز به زمین در مسیر یکی از خطوط ایجاد می شود. با استفاده از اندازه گیری کمیت های الکتریکی و مشاهده پاسخ ژنراتور و شبکه، تغییرات سیستم از حالت عادی تا هنگام وقوع خطا و پس از آن بررسی می شود.

الف) مبانی نظری

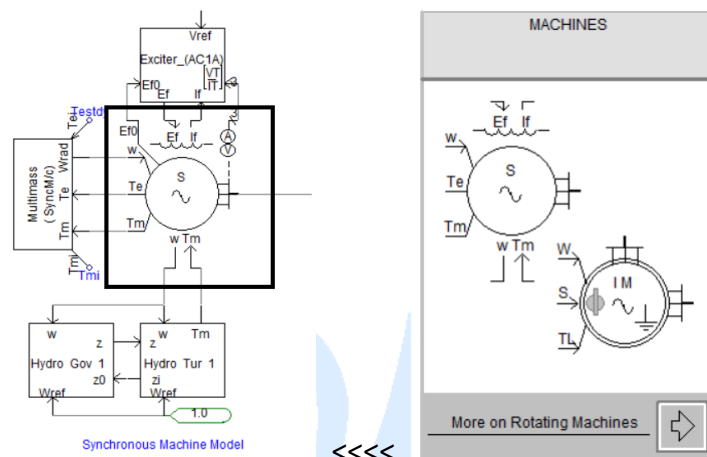
وقوع اتصال کوتاه در شبکه می تواند باعث تغییر ناگهانی توان الکتریکی خروجی ژنراتور شود. از آنجا که پاسخ قسمت مکانیکی ژنراتور در برابر این تغییرات با سرعت بیشتری یا کمتری نسبت به پاسخ الکتریکی سیستم تغییر می کند، شرایط گذرای در ماشین ایجاد خواهد شد. ژنراتور مورد استفاده در این آزمایش از نوع سنکرون بوده و مشخصات نامی آن مطابق شکل عبارت است از: $V_N = 13.8 \text{ kV}$ و $S_N = 120 \text{ MVA}$

ژنراتور از طریق شین BUS1 به دو مسیر انتقال موازی متصل شده و این دو مسیر به BUS2 می رسند. در یکی از خطوط، خطای سه فاز به زمین از نوع $ABC - G$ ایجاد می شود. در شرایط عادی، توان الکتریکی از ژنراتور به شبکه منتقل می شود. با وقوع اتصال کوتاه، امپدانس مسیر خطا دار و در نتیجه شرایط انتقال توان تغییر می کند. این تغییر می تواند باعث تغییر متغیرهای الکتریکی و مکانیکی ژنراتور شود.



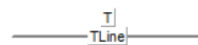
ب) نحوه ایجاد مدار در PSCAD

در این آزمایش، یک ژنراتور سنکرون را در سمت چپ مدار قرار داده و آن را مطابق شکل به BUS1 متصل کنید. از کتابخانه MACHINE مدل تک خطی ژنراتور سنکرون را بدون سایر جزئیات کپی کنید و به مدار اضافه نمایید. برای اضافه کردن باس ها، در صفحه ی پروژه، کلیک راست کرده و از مسیر Bus <<< Add component را انتخاب کنید.

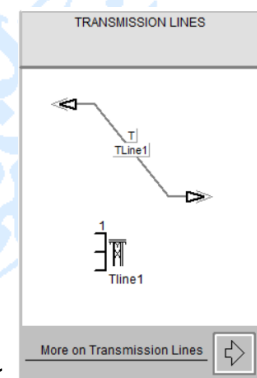


در ادامه، بین BUS1 و BUS2 دو خط انتقال موازی ایجاد کنید و آن‌ها را مطابق شکل با عناوین LINE1 و LINE2 مشخص نمایید. از کتابخانه TRANSMISSION LINE، خط TLINE را به مدار اضافه کنید.

FOR SINGLE LINE DIAGRAMS,
STEPS 1-5 could be followed as in PSCAD V3
OR
Start from STEP 2 and select "Direct Connection" for the "Termination Style" parameter in the "Tline Configuration" component. Circuit elements can then be directly connected to the ends of the "Tline Configuration" component. Continue



<<<<



در انتهای BUS2 نیز، منبع تغذیه نشان داده شده در شکل را قرار دهید و مقدار مقاومت آن را برابر با $R = 100\Omega$ تنظیم کنید. در خطوط انتقال، برای اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی، مولتی‌مترهای مشخص شده در شکل را در دو انتهای خطوط قرار داده می‌شوند تا کمیت‌های خطوط قبل و بعد از انتقال قابل مشاهده باشند. در این آزمایش، هدف اصلی بررسی زاویه فاز است؛ پس، فقط لازم است در مولتی‌متر قبل از بلوک خط Phase Angel را فعال کرده و متغیری برای آن تعریف کنید و آن را به یک منحنی دکاریتی بر حسب زمان متصل کنید.

در محل مشخص شده روی LINE1 یک خطای سه‌فاز به زمین از نوع ABC-G ایجاد کنید. برای کنترل زمان وقوع خطا، بلوک Timed Fault Logic را مطابق ساختار آزمایش‌های قبلی به بخش خط متصل کنید. لازم به ذکر است که در این آزمایش، چون از دیاگرام تک خطی استفاده شده، پس، از بلوک خطای اتصال کوتاه که در کتابخانه BREAKERS & FAULT به صورت Single line diagram view است، استفاده کنید. زمان شبیه‌سازی ۵ ثانیه است و تنظیمات مورد نیاز را به صورت زیر انجام دهید.

[source3] Three Phase Voltage Source Model 1

Configuration

Source Name: InfSrc

Source Impedance Type: R

Source Control: Fixed

Base MVA (3-phase): 120.0 [MVA]

Base Voltage (L-L, RMS): 230 [kV]

Base Frequency: 60.0 [Hz]

Voltage Input Time Constant: 0.0 [s]

Zero Seq. differs from Pos. Seq.?: No

Impedance Data Format: RRL Values

External Phase Input Unit: Radians

Graphics Display: Single line view

Specified Parameters

☒ Behind the Source Impedance

☐ At the Terminal

OK Cancel Help...

منبع تغذیه انتهای خط :

[tfaultn] Timed Fault Logic

Configuration

Time to Apply Fault: 1.0 [s]

Duration of Fault: 2 [s]

OK Cancel Help...

اتصال کوتاه :

➤ ماشین سنکرون:

[sync_machine] Synchronous Machine

Variable Initialization Data

Source[0] -> Machine[1] transition: 1

Lock-rotor[0] -> Normal mode[1] transition: 0

Enable/Disable P control of source: 0

Initializing real power: 0.0 [MW]

Enable/Disable Inertia control: 0

Inertia scaling factor: 1.0

Damper friction factor: 1.0

Factor for damping speed: 1.0

Enable/Disable P control of Locked rotor machine: 0

Field Voltage multiplier: 1.0

Disable/Enable Ef multiplication: 0

<<<

[sync_machine] Synchronous Machine

Interface To Machine Controllers

Supply terminal conditions to exciter: None

Smoothing Time Constant: 0.02 [s]

Output exciter initialization data?: No

Output governor initialization data?: No

Output speed: rad/s

<<<

[sync_machine] Synchronous Machine

Configuration

Machine name: HG

No. of Q-axis Damper Windings: One

Data Entry Format: Generator

Multimass interface: [Enables Speed Ctrl] DISABLE

Armature Resistance as: Time-Cons

D-axis Saturation: Disabled

Type of settings for initial condition: Powers

Machine scaling factor?: Yes

Graphics Display: Single line view

[sync_machine] Synchronous Machine

Initial Conditions if Starting as a Machine

Terminal Real Power at Time = 0-; Out +: 0.0 [MW]

Terminal Reactive Power at Time = 0-; Out +: 0.0 [MVAR]

Initial Rotor Angle ref. Stator: 3.141592 [rad]

D-axis Armature Current, In +: 0.0 [pu]

Q-axis Armature Current, In +: 0.0 [pu]

Initial Field Current: 0.0 [pu]

Initial Machine Speed: 1.0 [pu]

<<

[sync_machine] Synchronous Machine

Generator Data Format

Armature Resistance [Ra]: 0.0030592 [pu]

Armature Time Constant [Ta]: 278 [s]

Potter Resistance [Rp]: 0.163 [pu]

D: Unsaturated Reactance [Xd]: 1.014 [pu]

D: Unsaturated Transient Reactance [Xd']: 0.314 [pu]

D: Unsat. Transient Time (Open) [Tdo]: 6.55 [s]

D: Unsat. Sub-Trans. Reactance [Xd'']: 0.280 [pu]

D: Unsat. Sub-Trans. Time (Open) [Tdo'']: 0.039 [s]

D: Real Transfer Admitt (Armat-Field): 1.0E+2 [pu]

D: Imag Transfer Admitt (Armat-Field): 0.0 [pu]

Q: Unsaturated Reactance [Xq]: 0.770 [pu]

Q: Unsaturated Transient Reactance [Xq']: 0.228 [pu]

Q: Unsat. Transient Time (Open) [Tqo]: 0.45 [s]

Q: Unsat. Sub-Trans. Reactance [Xq'']: 0.375 [pu]

Q: Unsat. Sub-Trans. Time (Open) [Tqo'']: 0.071 [s]

Air Gap Factor: 1.0

<<

[sync_machine] Synchronous Machine

Basic Data

Rated RMS Line-to-Neutral Voltage: 7.967 [kV]

Rated RMS Line Current: 5.02 [kA]

Base Angular Frequency: 376.991118 [rad/s]

Inertia Constant: 3.117 [s]

Mechanical Friction and Windage: 0.04 [pu]

Neutral Series Resistance: 1.0E5 [pu]

Neutral Series Reactance: 0 [pu]

Iron Loss Resistance: 300.0 [pu]

Number of coherent machines: 1.0

[sync_machine] Synchronous Machine

Output Variable Names

Name: Real Power; Out + (pu) POUT

Name: Reactive Power; Out + (pu) QOUT

<<<

[sync_machine] Synchronous Machine

Initial Conditions

Terminal Voltage Magnitude at Time = 0-: 1.0 [pu]

Terminal Voltage Phase at Time = 0-: -0.54245 [rad]

پس از تکمیل مدار، پارامترهای شبیه‌سازی را تنظیم کرده و شبیه‌سازی را اجرا کنید و پاسخ سیستم را در قبل، حین و پس از وقوع خطا بررسی نمایید. همچنین، یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد سیستم، طول خط انتقال است، تنظیمات خط انتقال به صورت زیر است، با تغییرات لازم زاویه فاز را در سه حالت خط انتقال کوتاه، متوسط و بلند مقایسه کنید.

Transmission Line Configuration

Segment Name: LINE1

Steady-State Frequency: f

Segment Length: 100.0 [km]

Number of Conductors: 3

Termination Style: Direct Connection

Segment Cross-Section: Edit...

OK Cancel Help

سوالات آزمایش

سؤال ۱: وقوع خطا چه اثری بر رفتار الکتریکی ژنراتور سنکرون دارد؟

سؤال ۲: با وقوع اتصال کوتاه سه فاز به زمین در LINE1، جریان و ولتاژ دو خط انتقال چه تغییری می کنند؟

سؤال ۳: چرا وقوع اتصال کوتاه در یکی از دو خط موازی می تواند باعث تغییر جریان عبوری از خط دیگر شود؟

سؤال ۴: پس از وقوع خطا، کدام یک از کمیت های مشاهده شده بیشترین تغییر را نشان می دهد؟ پاسخ خود را با استفاده از نتایج شبیه سازی توضیح دهید.

سؤال ۵: تغییر خط انتقال کوتاه، متوسط و بلند، چه تأثیری در نتایج می گذارد؟

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

آزمایش دهم: بررسی مؤلفه‌های متقارن در اتصال کوتاه بین دو ترانسفورمر

هدف از این آزمایش، بررسی مؤلفه‌های متقارن ولتاژ و جریان در هنگام وقوع اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین در بین دو ترانسفورمر و بررسی جریان عبوری از مسیر زمین شده ترانسفورمر است. در این آزمایش، خطای اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین در فاصله بین دو ترانسفورمر ایجاد شده و با استفاده از مولتی‌متر، ولتاژ و جریان در مدار اندازه‌گیری می‌شوند. سپس مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ و جریان به دست آمده و رفتار آن‌ها در شرایط خطا بررسی می‌شود. همچنین، جریان عبوری از بخش زمین شده ترانسفورمر به‌صورت زمانی مشاهده و اثر وقوع خطا بر این جریان بررسی خواهد شد.

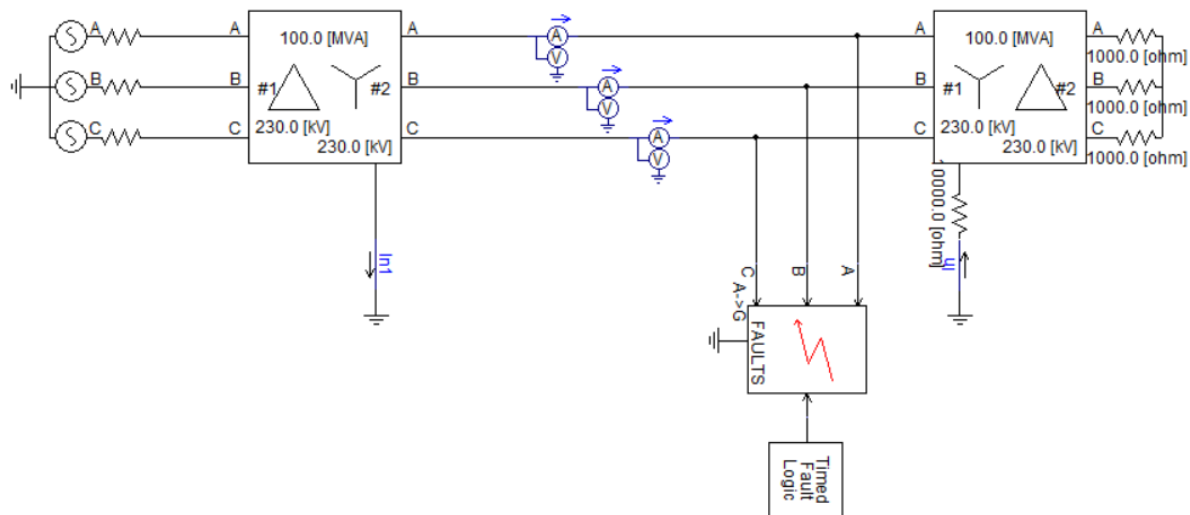
الف) مبانی نظری

در خطای تک‌فاز به زمین، شرایط متعادل سیستم سه‌فاز از بین می‌رود و در نتیجه هر سه مؤلفه متقارن مثبت، منفی و صفر می‌توانند در ولتاژ و جریان ظاهر شوند. در این آزمایش، خطای $A - G$ در فاصله بین دو ترانسفورمر ایجاد می‌شود و کمیت‌های الکتریکی حاصل از این خطا مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای تحلیل خطا، ولتاژ و جریان سه‌فاز اندازه‌گیری شده و به مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر تجزیه می‌شوند. با مقایسه این مؤلفه‌ها می‌توان مشخص کرد که وقوع خطای تک‌فاز به زمین چه تغییری در شرایط سیستم ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، در خطای متصل به زمین، بخشی از جریان خطا می‌تواند از مسیر زمین عبور کند. بنابراین، مشاهده جریان عبوری از قسمت زمین شده ترانسفورمر می‌تواند اطلاعات مناسبی درباره رفتار سیستم در هنگام وقوع خطا فراهم کند. در این آزمایش، این جریان به‌صورت تابع زمان نمایش داده می‌شود تا تغییرات آن در لحظه وقوع خطا و پس از آن قابل بررسی باشد.

ب) نحوه شبیه‌سازی در PSCAD

در این آزمایش، از ساختار اصلی مدار و بخش محاسبه مؤلفه‌های متقارن که در آزمایش‌های قبل ایجاد شده است استفاده کنید. دو ترانسفورمر را مطابق مدار آزمایش در دو طرف محل خطا قرار دهید. در فاصله بین دو ترانسفورمر، یک خطای تک‌فاز به زمین از نوع $A - G$ ایجاد کنید و زمان وقوع آن را با استفاده از Timed Fault Logic مطابق تنظیمات آزمایش مشخص نمایید.

خطا باید در فاصله بین دو ترانسفورمر ایجاد شود؛ بنابراین محل خطا را مطابق شکل آزمایش انتخاب کنید و زمان شبیه‌سازی ۱۰ ثانیه می‌باشد. زمان شروع و طول مدت زمان خطا را ۵ ثانیه در نظر بگیرید. در محل اندازه‌گیری، مولتی‌متر را برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان سه‌فاز قرار دهید و کمیت‌های حاصل را با استفاده از Data Label به بخش محاسبه فازورها و مؤلفه‌های متقارن متصل کنید. پس از استخراج دامنه و زاویه فازورهای ولتاژ و جریان، مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر آن‌ها را محاسبه کنید و نتایج را به‌صورت فازوری نمایش دهید. در ادامه، جریان عبوری از قسمت زمین شده دو ترانسفورمر را نیز با استفاده از سیگنال زمانی مربوطه به Graph منتقل کنید و تغییرات آن را در طول زمان مشاهده نمایید.



در نمودار جریان زمین، ابتدا مقدار جریان در حالت عادی و سپس تغییر آن را در زمان وقوع اتصال کوتاه بررسی کنید. همچنین، رفتار این جریان را پس از وقوع خطا با شرایط پیش از خطا مقایسه نمایید. در بررسی جریان زمین، لحظه وقوع خطا باید با تغییر ناگهانی جریان در نمودار زمانی تطبیق داده شود. در این آزمایش، نقطه خنثی ترانسفورمر اول مستقیماً به زمین متصل شده و نقطه خنثی ترانسفورمر دوم از طریق یک امپدانس به زمین متصل است. جریان عبوری از هر دو مسیر زمین اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه می‌شود. مؤلفه‌های متقارن ولتاژ و جریان را در زمان خطا با یکدیگر مقایسه کنید و ارتباط آن‌ها را با جریان عبوری از مسیر زمین شده ترانسفورمر بررسی نمایید.

سوالات آزمایش

سؤال ۱: در اثر وقوع خطای اتصال کوتاه تک فاز با زمین در بین دو ترانسفورمر، مؤلفه‌های مثبت، منفی و صفر ولتاژ و جریان چه تغییری نسبت به حالت بدون ترانسفورمر می‌کنند؟ چرا؟

سؤال ۲: شکل موج جریان عبوری از مسیر زمین شده ترانسفورمر را قبل و بعد از وقوع خطا مقایسه کنید و تأثیر استفاده از امپدانس در مسیر زمین را توضیح دهید.

سؤال ۳: لحظه وقوع خطا چه اثری بر جریان زمین دارد و این اثر چگونه در نمودار زمانی قابل تشخیص است؟

پیوست: نصب نرم افزار PSCAD4.2.1

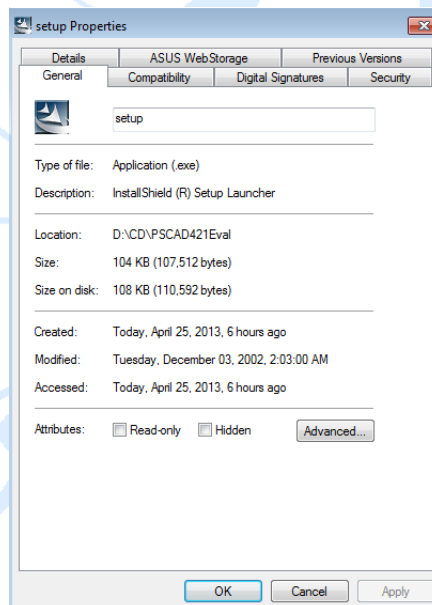
هدف از این بخش، آشنایی با مراحل نصب و راه اندازی نرم افزار PSCAD 4.2.1 و کامپایلر GNU Fortran است. دانشجویان پس از انجام مراحل این بخش باید بتوانند نرم افزار را نصب و اجرا کرده و محیط آن را برای انجام آزمایش های بعدی آماده کنند.

الف) معرفی نرم افزار PSCAD

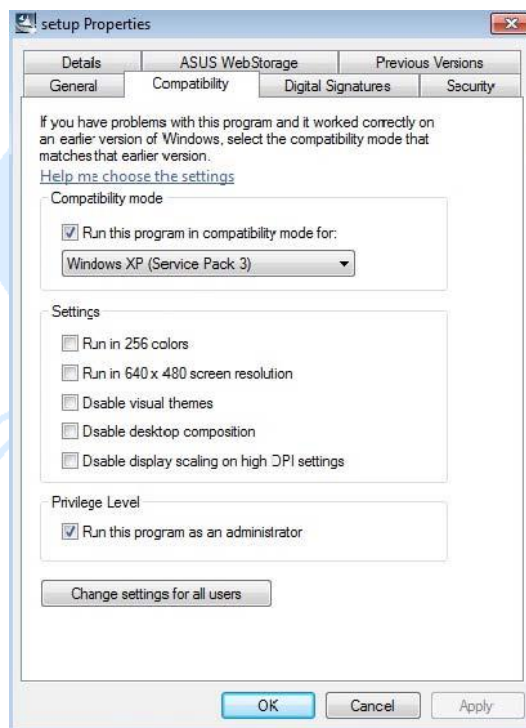
نرم افزار PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) یکی از ابزارهای تخصصی شبیه سازی سیستم های قدرت است که با استفاده از موتور محاسباتی EMTDC امکان تحلیل رفتار گذرا و دینامیکی شبکه های الکتریکی را در حوزه زمان فراهم می کند. این نرم افزار برای مطالعه پدیده هایی مانند اتصال کوتاه، اضافه ولتاژهای گذرا، عملکرد خطوط انتقال، ماشین های الکتریکی، ترانسفورمرها و تجهیزات الکترونیک قدرت کاربرد دارد. در این آزمایشگاه از نسخه PSCAD 4.2.1 نرم افزار استفاده می شود؛ بنابراین، تمامی مراحل آموزشی و آزمایش های بعدی بر اساس امکانات و محیط این نسخه تنظیم خواهند شد.

ب) مراحل نصب نرم افزار

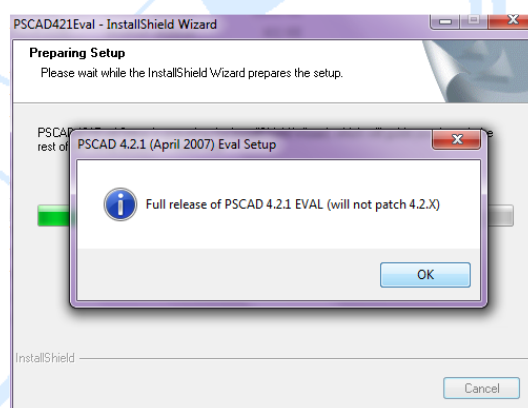
پیش از نصب، دسترسی لازم برای نصب برنامه و کامپایلر سازگار Fortran را آماده کنید. توجه داشته باشید که نصب PSCAD به تنهایی برای اجرای شبیه سازی کافی نیست و وجود کامپایلر ضروری است. وارد پوشه PSCAD421Eval شوید و روی فایل setup راست کلیک کنید و سپس گزینه Properties را انتخاب کنید تا پنجره زیر باز شود.



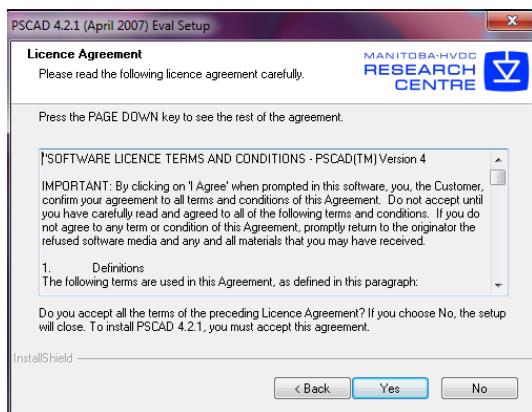
در پنجره باز شده، وارد سربرگ Compatibility شوید. گزینه‌های Run this program in compatibility mode و Run this program as an administrator را مطابق تنظیمات نشان داده شده فعال کنید. سپس روی OK کلیک کنید.



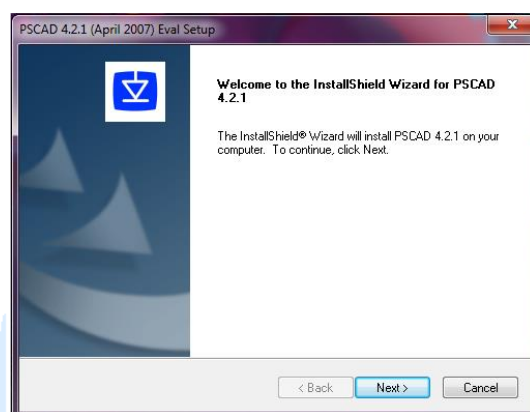
فایل setup را اجرا کنید. در صورت نمایش پنجره تأیید ویندوز، اجازه اجرای برنامه را صادر کنید تا پنجره نصب نرم افزار ظاهر شود.



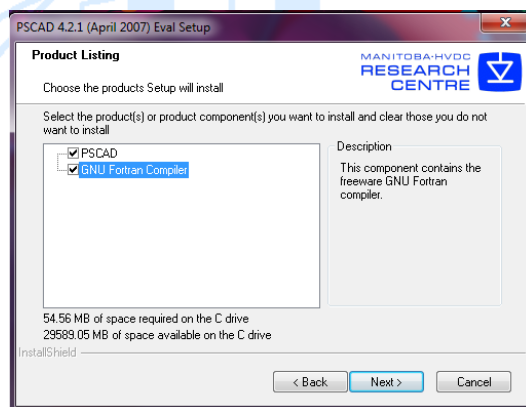
در پنجره آغازین نصب، روی Next کلیک کنید. در مرحله بعد، با انتخاب Yes، شرایط نمایش داده شده را تأیید کنید.



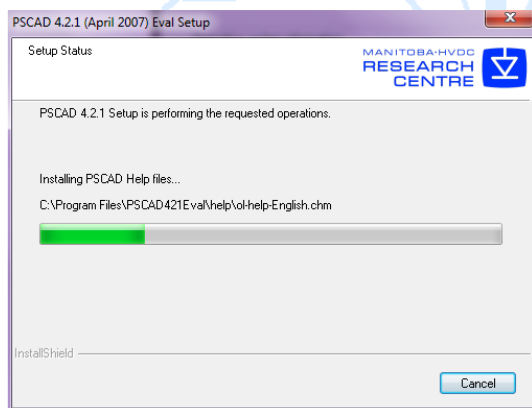
<<<<



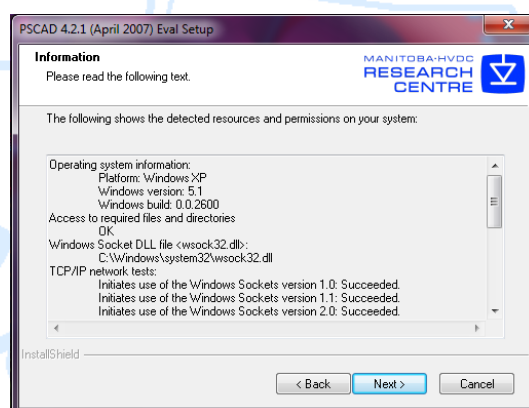
در بخش انتخاب مؤلفه‌ها، نرم‌افزار PSCAD و کامپایلر **GNU Fortran Compiler** را مطابق تصویر راهنما انتخاب کنید. سپس روی Next کلیک کنید.

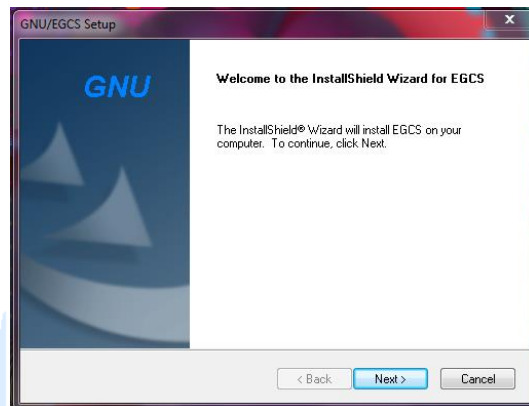
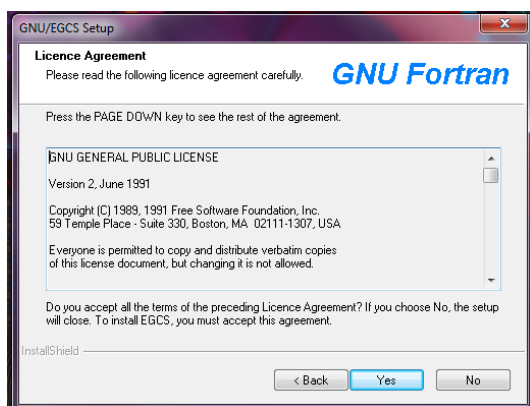


اطلاعات نصب برنامه مطابق پنجره زیر ظاهر میشود. مراحل بعدی نصب را با انتخاب گزینه‌های Next و Yes، مطابق پنجره‌های نمایش داده‌شده در راهنما، ادامه دهید. در صورت نمایش پنجره انتخاب مسیر نصب، مسیر مورد نظر را مشخص کرده و مراحل نصب را دنبال کنید.



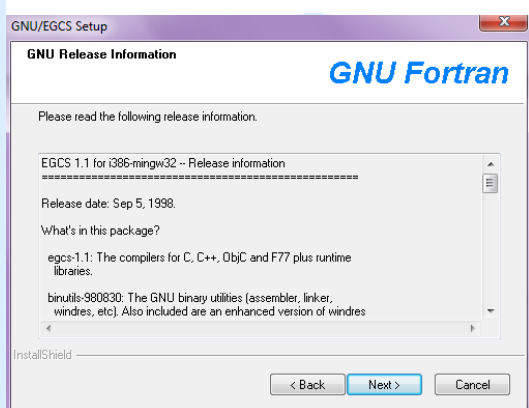
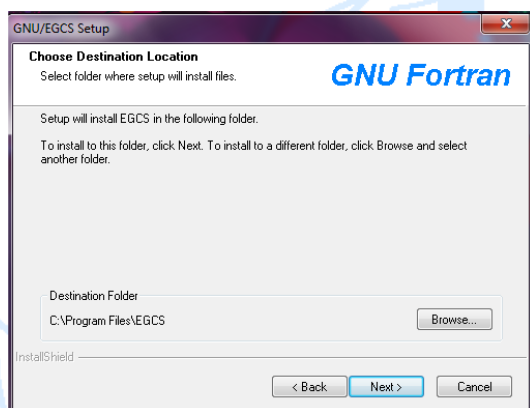
<<<<



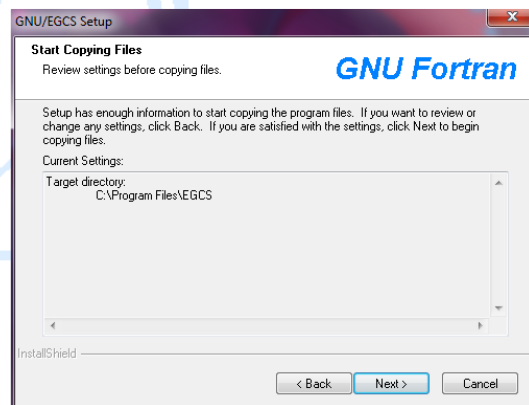
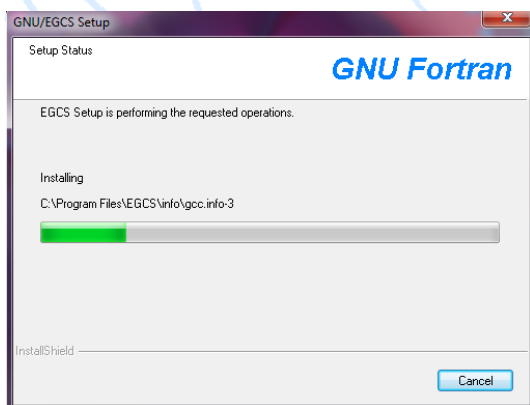


<<<<

مشابه نرم افزار، اطلاعات کلی کامپایلر مشاهده می‌شود. برای ورود به مرحله بعد، next را کلیک کنید و در مرحله‌ی بعد محل نصب کامپایلر تعیین می‌شود. مسیر پیش فرض مناسب است. نصب کامپایلر فرترن انجام می‌شود.

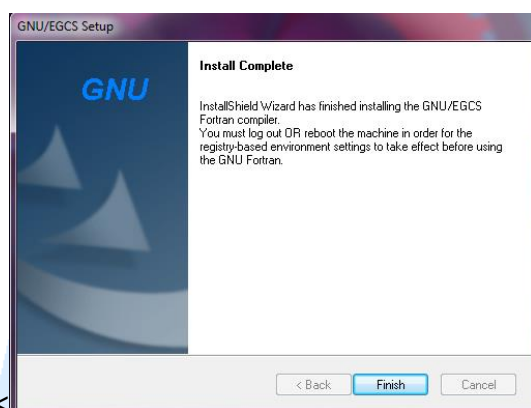


<<<<



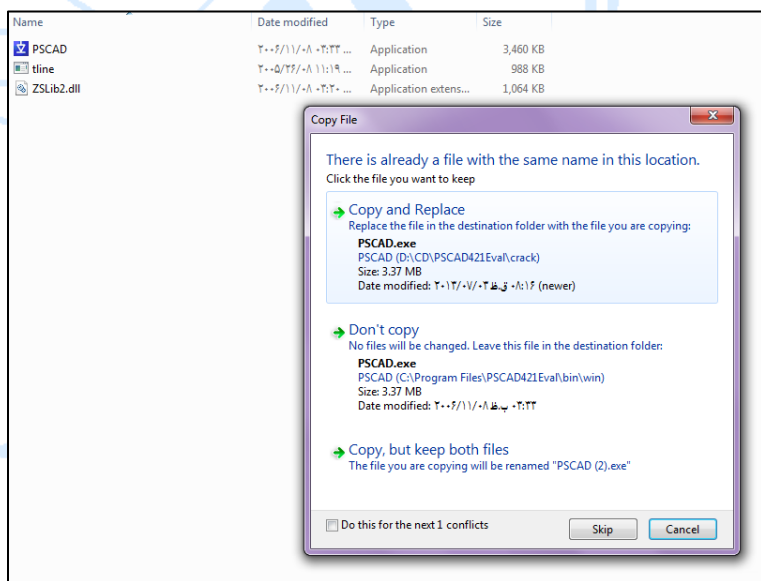
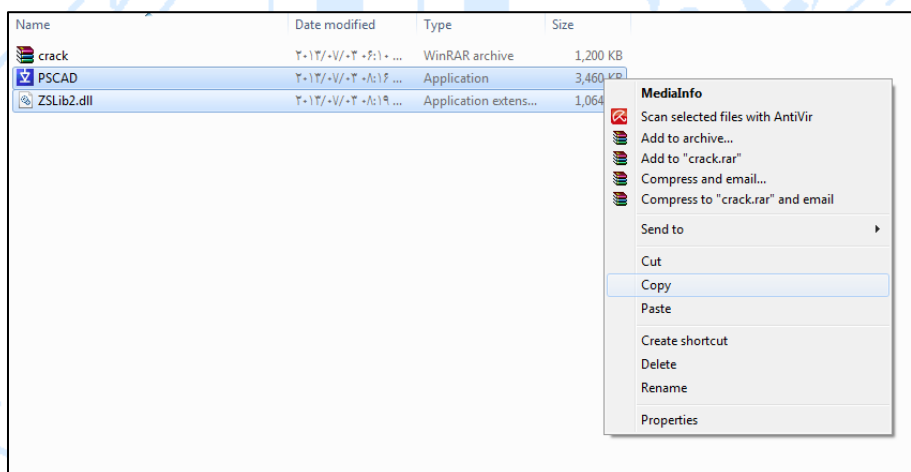
<<<<

در پنجره پایانی روی finish کلیک نمایید. بعد از این مرحله پنجره زیر ظاهر می‌شود. می‌توانید سیستم را هم اکنون Restart نمایید که ضرورتی ندارد. در هر حال، راه اندازی مجدد کامپیوتر پس از رفع محدودیت گره در مراحل بعدی ضروری می‌باشد.

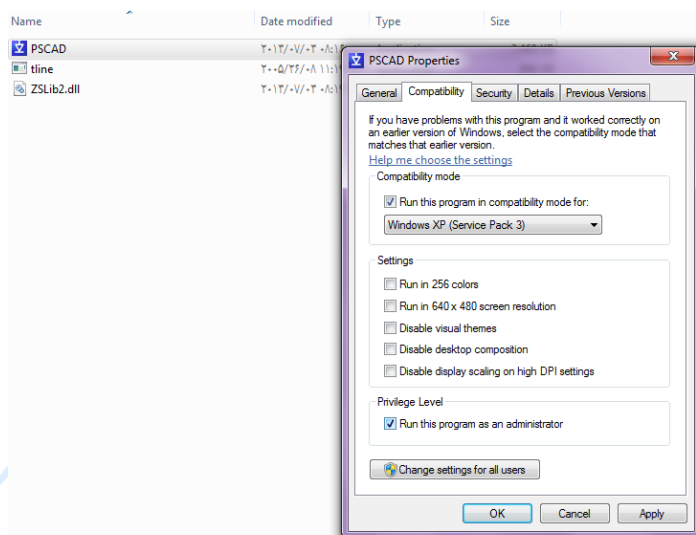


<<<<

تا این مرحله نصب نسخه آزمایشی نرم افزار و کامپایلر آن با محدودیت تعداد گره، پایان یافته است. حال به منظور حذف محدودیت تعداد گره، در همان پوشه PSCAD421Eval، پوشه crack را باز نموده و دو فایل Pscad و ZSlib2 را مطابق با تصاویر، کپی و در پوشه win در محل نصب نرم افزار، با انتخاب گزینه Copy an replace الصاق و جایگزین فایل‌های مشابه موجود در آن نمایید.



در همین محل، پس از کپی شدن فایل‌های جدید، روی فایل اجرایی pscad کلیک راست نموده و از پنجره Properties وارد سربرگ Compatibility شوید. گزینه‌های Run this program in compatibility mode for و Run this program as an administrator را مطابق تنظیمات نشان داده‌شده فعال کنید. سپس روی OK کلیک کنید.



نصب نرم افزار به همراه کامپایلر انجام شده است. حتماً کامپیوتر را Restart نمایید. پس از راه اندازی مجدد با انتخاب آیکون PSCAD 4.2.1 Professional (Trail) در منوی Start، نرم افزار قابل دسترس می‌باشد.

➤ نکته مهم: پس از اجرای نرم‌افزار، از طریق منوی File یک پروژه جدید ایجاد کنید یا یکی از پروژه‌های نمونه موجود را باز کنید. با اجرای یک شبیه‌سازی ساده، از نصب صحیح نرم‌افزار و عملکرد کامپایلر اطمینان حاصل کنید.