

## مقدمه :

نرم افزار matlab به عنوان یکی از قطبهای اساسی نرم افزار های شبیه سازی سیستم ، در سطح وسیعی در دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی دنیا بکار میرود.

در کشور ما این نرم افزار هنوز نوپاست و بسیاری فقط به جهت کارهای ریاضی این نرم افزار قدرتمند را میشناسند. برای آنکه جایگاه این نرم افزار را بهتر درک کنید توجه شما را به یک مثال جلب میکنم. در حیطه نرم افزارهای گرافیکی و تولید و ساخت تصویر و ویرایش آن و تولید انیمیشن نرم افزارهای مختلفی وجود دارند که هر کدام دارای امکانات خاص خود برای این منظور میباشد اما اگر نظری کلی بر این نرم افزارها داشته باشیم میبینیم که نرم افزار قدرتمند  $DMAX^3$  یکی از بهترینها در زمینه انیمیشن است. این مثال در مورد Matlab هم صادق است منتها در زمینه کارهای ریاضی و رسم نمودار و شبیه سازی سیستم ها. البته MATLAB تمام شهرت خود در شبیه سازی را مدیون نرم افزاری بنام simulink است و بسیاری از داده های عددی و غیر عددی مابین این دو نرم افزار رد و بدل میشود، پردازش شده و نهایتاً نتایج در خروجی ظاهر میگردد. simulink را باید تحت matlab اجرا نمود، بگونه ای که میتوان گفت simulink زیر مجموعه ای از matlab است.

## شروع کار با Matlab

برای شروع بهتر است ابتدا با محیط نرم افزار matlab، پنجره ها و منوهای آن آشنا شوید. همانند سایر نرم افزارهای تحت ویندوز، matlab نیز دارای منوهایی است که به شرح زیر میباشد:

### منوی FILE :

در مورد هر کدام از گزینه های این منو میتوانید از توضیحات زیر کمک بگیرید :

### پنجره های matlab :

پنجره command window « پنجره دستورات » همان جایی است که از این به بعد عادت میکنیم تمامی دستورات matlab را در آنجا وارد نموده و خروجی « یا نتیجه » بسیاری از دستورات غیر گرافیکی را نیز در همین پنجره خواهیم دید. پنجره command history : حاوی سابقه ای از کلیه دستورات تایپ شده در روزها و ماههای قبلی است که

همگامی در یکجای لیست شده اند تا در مواقع لزوم از تایپ مجدد دستورات طولانی صرف نظر کنیم. برای فراخوانی دستوراتی که قبلاً تایپ نموده ایم باید در پنجره command window از کلیدهای در صفحه کلید استفاده کنیم.

پنجره work space: نیز شامل لیستی از متغیرها و مشخصات آنهاست. این متغیرها توسط خود ما تعریف و ساخته شده اند و کاملاً اختیاری هستند؛ در مورد نحوه ساخت و قوانین حاکم بر متغیرها توضیح خواهیم داد.

در پنجره work space میتوان از tab «زبان» current directory برای مشاهده و یا تغییر فولدر فعلی و پیش فرض ذخیره فایل های مختلف استفاده نمود. چند دستور مفید: برای پاک کردن محتویات و پنجره command window از دستور clc که مخفف clear command window میباشد استفاده میکنیم که برای این کار باید به محل ورود دستورات در command window برویم؛ این محل همواره با علامت >> مشخص میشود؛ سپس دستور clc را وارد نموده و کلید enter را بزنیم.

چندین دستور دیگر نیز به شرح زیر داریم که به همین منظور و برای پنجره های دیگر نیز به کار میروند؛ پاک نمودن محتوای clc:command window

پاک نمودن محتوای یک پنجره figure «گرافیک» clf

حذف کلیه متغیرهای تعریف شده توسط کاربر از پنجره clear : work space

کارمان را با چند مثال ادامه میدهیم: «در مثالهای زیر هرکجا عبارت [enter] را مشاهده نمودید، به معنی فشردن کلید Enter است.»

<< 12+2 [enter]

<< [enter] a=12+3

با انجام دستور اول مشاهده میکنید که matlab در پاسخ به محاسبه ای که شما وارد نموده اید یک متغیر به نام ans «مخفف answer» می سازد و نتیجه

محاسبات را در آن می ریزد یعنی 14 ans میشود. متغیر ans به عنوان تنها متغیر پیش فرض matlab برای ذخیره نتیجه محاسبه بکار میرود و هر جا که

کاربر نتیجه محاسباتش را در متغیری ذخیره نکند؛ matlab از متغیر ans برای این منظور بهره می برد. این متغیر همواره حاوی نتیجه آخرین محاسبه انجام شده می باشد.

اما در مثال دوم مشاهده می کنیم که حاصل عملیات جمع عدد ۱۲ با عدد ۳ را در متغیری به نام a ریخته ایم. حالا اگر نگاهی به پنجره work space ببینیم

مشاهده می کنیم که نام ۲ متغیر در آنجا لیست شده و در مقابل هر یک از متغیرها مشخصات آنها نیز آمده است

دستورات زیر را یکی یکی وارد نموده و نتایج را مشاهده میکنیم :

```
>> ۱۳×۴
```

```
>> ۱۲+۳
```

```
sin(3*pi/2×۹)= result<<
```

```
res1=4+3*cos(-pi)<<
```

می توان از محتوای متغیرهای موجود در حافظه برای انجام محاسباتی دیگر نیز استفاده نمود ؛ مثال :

```
>> b=res +2*result
```

در مثالهای فوق ، `ans`، `bl`، `res1`، `result` همگی متغیر هستند، اما آیا می توان هر نامی را برای متغیرها برگزید؟

پاسخ منفی است ؛ باید نام متغیر را با توجه

به قوانین زیر تعریف کنیم؛

۱- نام متغیر نمی تواند با یک عدد شروع شود ، پس این متغیرها در `matlab` نادرست هستند ؛ `aa,2,type`

۲- نام یک متغیر نمی تواند شامل علامت ویژه از جمله ؛ `@` ، `#` ، `$` ، `&` ، `%` و نیز فاصله `[space]` نیز نمی تواند باشد.

۳- نام متغیر نمی تواند دارای علامت - باشد بلکه می توان از علامت `underline` یا `_` استفاده نمود .

پس این نام متغیرها غلط و غیر مجاز هستند ؛

```
u,botter-fly&fun,12res,b۳
```

و این نام متغیرها صحیح و مجاز هستند؛

```
fu۱, band۱, fit38,ali_2
```

۴- `matlab` به کوچک و بزرگ بودن حروف نام متغیر حساس است و بین آنها تفاوت قایل می شود پس با

متغیرهای زیر به صورت کاملاً مستقل از دیگری رفتار

خواهد شد ؛

```
>> ali13=80
```

```
>> Ali13=80
```

```
>> aLi13 =188
```

برای حذف یک یا چند متغیر از `Workspace` ، باید نام آنها را در مقابل دستور `clear` ذکر کنیم ، مثال:

```
>>clear aLi13
```

مشاهده می کنیم که متغیر `aLi13` حذف شد ، در ضمن می توان باعث حذف ۲ متغیر مذکور از پنجره `wdk`

`space` شد؛

>>bb clear res1

برای حذف یک یا چند دستور در پنجره command history ، می توان از روش ذیل استفاده نمود ؛

۱- در داخل پنجره command history راست کلیک میکنیم .

۲- از بین عبارات delete all ،.....،..... یکی را انتخاب میکنیم ؛ کار این گزینه ها به ترتیب عبارت است از:

حذف تمام سابقه دستورات وارد شده

نحوه گرفتن help از matlab : بانک اطلاعات کمکی یا همان help مطلب بسیار کامل و گویاست و برای دریافت help در مورد دستوری خاص، مثلاً دستور clc ، به این صورت باید عمل کنیم ؛

و یا مثلاً در مورد کلیه توابع [ function ] و m-file های موجود در matlab نیز می توان help گرفت ، مثلاً :

>>helpsin

>>acsch help

برای وارد شدن به محیط ویزوال و گرافیکی help در matlab و دیدن deme ها « برنامه ها و مثالهای آموزشی » در زمینه های مختلف باید از دستور doc استفاده کنیم؛

>>doc

به این ترتیب وارد بانک اطلاعات بزرگ matlab شده و می توان از متن و مثالهای ارائه شده استفاده کرد و بهره برد، این اطلاعات شامل عملیات ریاضی پیشرفته ، simulink و گرافیک و ... می شود.

برای خروج از matlab یکی از دو دستور exit یا quit را به کار می بریم .

# بخش اول

## شبیه‌سازی یک مدار ساده

قطعات سیستم قدرت به شما اجازه ساخت و شبیه‌سازی مدارات الکتریکی که شامل المان‌های خطی و غیرخطی هستند را می‌دهد. از بخش ۱ تا بخش ۳ مدار زیر ساخته و شبیه‌سازی می‌شود.

در این بخش با :

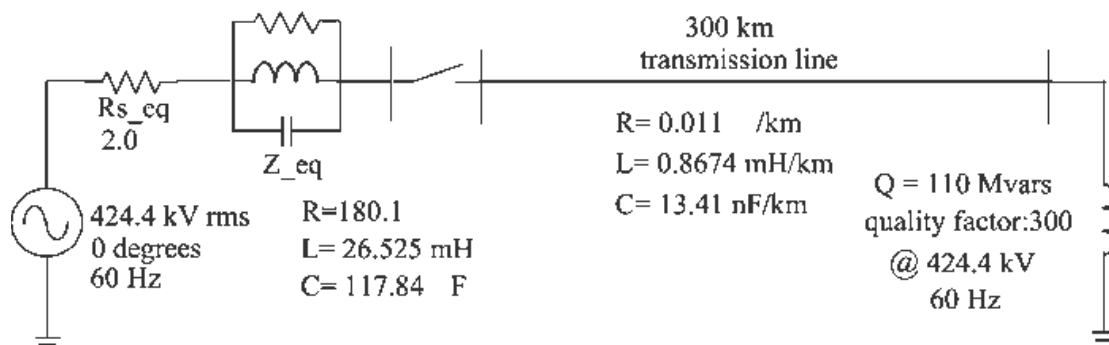
- کتابخانه قطعات سیستم قدرت، **powerlib** را بررسی خواهید کرد.

- یاد خواهید گرفت که چگونه یک مدار ساده از کتابخانه **powerlib** بسازید.

- قطعات **Simulink** را به مدارتان وصل می‌نمایید.

## مثال :

مدار زیر یک سیستم قدرت هم توان را که یک خط انتقال ۳۰۰ کیلومتری را تغذیه می‌کند نشان می‌دهد. خط در طرف تغذیه با القاگر شنت جبران شده‌است. یک **Breaker** اجازه باردار و بی‌بار کردن خط را می‌دهد. برای ساده کردن بحث فقط یکی از سه فاز نمایش داده شده است. پارامترهای نشان داده شده در شکل مقادیر مربوط به سیستم قدرت **powerlib** می‌باشند.



شکل ۱-۱: مداری که با قطعات سیستم قدرت باید مدل شود.

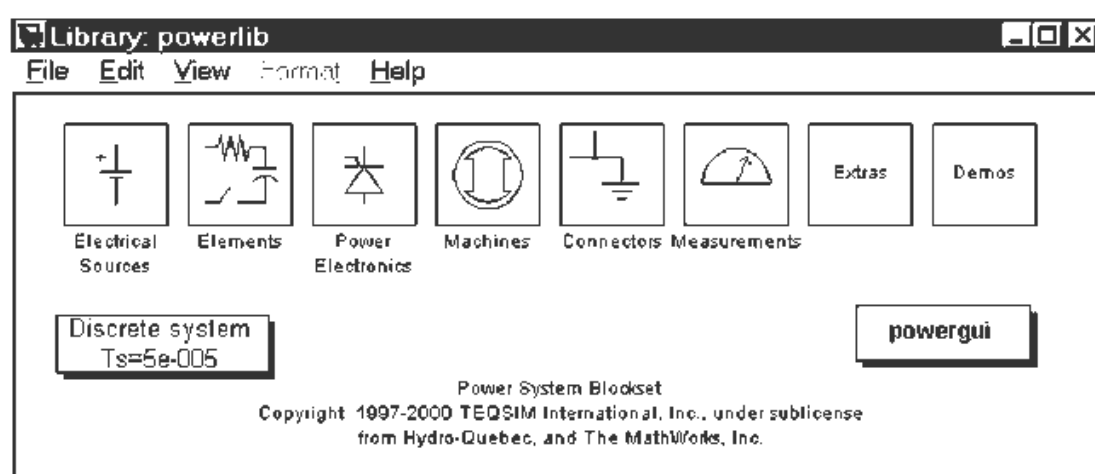
## ساختن مدار با کتابخانه powerlib

استفاده از رابط گرافیکی، اتصال قطعات **Simulink** به قطعات قدرت را امکان‌پذیر می‌نماید. قطعات در کتابخانه ویژه‌ای به اسم **powerlib** گردآوری شده‌اند.

با وارد کردن دستور زیر در محیط **MATLAB**، کتابخانه قطعات سیستم قدرت را باز نمایید:

### powerlib

این فرمان یک پنجره **Simulink** را نمایش می‌دهد که آیکون کتابخانه‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شما می‌توانید این کتابخانه‌ها را باز نمایید تا قطعاتی که به مدارتان کپی خواهد شد را ببینید. هر قطعه با آیکونی که دارای ورودی و خروجی‌های منطبق بر ترمینالهای قطعه می‌باشد، نمایش داده می‌شود.

۱- در پنجره **powerlib** از منوی **File**، یک پنجره جدید که اولین مدار شما خواهد بود باز نمایید. آنرا با نام **circuit1** ذخیره نمایید.

۲- کتابخانه منابع تغذیه (**Electrical Sources**) را باز نموده و یک منبع ولتاژ **AC** (**AC\_Voltage\_Source**) به پنجره **circuit1** کپی کنید.

۳- با دوبار کلیک کردن روی منبع ولتاژ **AC**، پنجره تنظیمات آنرا باز نموده و پارامترهای دامنه ( **Peak amplitude (V** )، فاز ( **Phase (deg)** ) و فرکانس ( **Frequency (Hz)** ) را مانند مقادیر نشان داده شده در شکل ۱-۱ وارد نمایید.

۴- اسم منبع ولتاژ را به **Vs** تغییر دهید.

۵- قطعه شاخه موازی **RLC (Parallel RLC Branch)** را که می‌توانید آنرا در کتابخانه عناصر ( **Elements** ) بیابید به مدار خود کپی نموده و پارامترهای آنرا هماگونه که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است تغییر دهید و اسم آنرا **Z eq** بگذارید.

۶- مقاومت **Rs eq** می‌تواند از شاخه موازی **RLC** درست شود. قطعه شاخه موازی **RLC** که در حال حاضر از مدارتان وجود دارد را دوباره ایجاد نمایید و پارامتر مقاومت ( **Resistan R (ohms)** ) را طبق شکل ۱-۱ تغییر دهید و پارامترهای اندوکتانس ( **Inductance L (H)** ) و کاپاسیتانس ( **Capasitance C(F)** ) را به ترتیب به بینهایت ( **inf** ) و صفر ( **0** ) تغییر دهید.

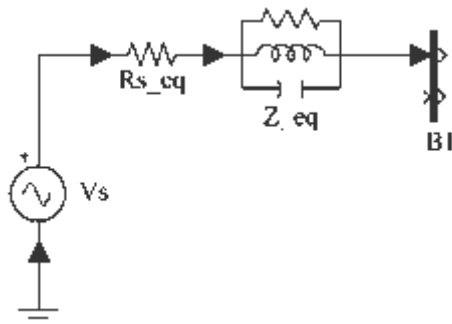
وقتی پنجره تنظیمات را می‌بندید، متوجه می‌شوید که قطعات **L** و **C** نشان داده نمی‌شوند و اکنون در حال حاضر یک مقاومت ساده را نمایش می‌دهد. نتیجه مشابه‌ای می‌تواند با شاخه سری **RLC (Series RLC Branch)** رخ می‌دهد. با تغییر **L** و **C** به ترتیب به صفر و بینهایت.

۷- این قطعه را **Rs eq** بنامید.

۸- کتابخانه اتصالات ( **Connectors** ) از **powerlib** را باز نمایید و یک باس‌بار ( **Bus Bar** ) کپی کنید.

۹- پنجره تنظیمات باس‌بار را باز نمایید و پارامترهای آنرا به دو ورودی ( **Number of input** ) و دو خروجی ( **Number of output** ) تغییر دهید و نام آنرا **B1** قرار دهید. همچنین یک قطعه زمین ( **Ground** ) کپی کنید (قطعه زمین را با یک خروجی را انتخاب نمایید)

اجزا مختلف را جا به جا نمایید و قطعات را با کشیدن خطوط از خروجی‌ها به ورودی‌های قطعات به هم وصل نمایید.



برای تکمیل مدار مطابق شکل ۱-۱ شما نیاز به اضافه کردن یک خط انتقال و یک راکتور شنت دارید. **Breaker** را بعداً در بخش ۳ اضافه خواهید کرد. مدل یک خط با توزیع یکنواخت پارامترهای  $R$ ،  $L$  و  $C$  در طول خط شامل یک تاخیر زمانی است که مساوی با زمان انتشار موج در طول خط است. این مدل نمی‌تواند به عنوان یک سیستم خطی شبیه‌سازی گردد. زیرا یک تاخیر، مشابه یک سری حالت سری بی‌کران می‌باشد. ولیکن یک تقریب خوب از یک خط با یک سری از حالات پایدار می‌تواند با سری کردن مدار **PI** که هرکدام به عنوان بخش کوچکی از خط ظاهر می‌شود قابل دست‌یابی است.

یک بخش **PI** شامل یک شاخه سری  $RL$  و دو شاخه شنت **PI** می‌باشد. دقت مدل بستگی به تعداد بخش‌های **PI** دارد که برای مدل استفاده شده‌است. قطعه خط **PI (PI Section Line)** را از کتابخانه عناصر (**Elements**) به پنجره **PI** کپی نمایید و پارامترهای آنرا مانند آنچه در شکل ۱-۱ نشان داده شده‌است تغییر دهید و تعداد بخش‌های **PI** خط (**Number of pi Section**) را برابر ۱ قرار دهید.

راکتور شنت با یک مقاومت و القاگر سری مدل شده است. می‌توانید از شاخه سری **RLC (Series\_RLC\_Branch)** برای مدل کردن راکتور شنت استفاده نمایید. مقدار  $R$  و  $L$  را بر طبق توان اکتیو و راکتیو که در شکل ۱-۱ نشان داده شده‌است تغییر دهید. ( $P=110/300=0.37MW$  و  $Q=110Mvars$  در  $V=4242.4kV(rms)$  و  $f=60Hz$ )

شما شاید راحت‌تر باشید که از قطعه بار سری **RLC (Series RLC Load)** استفاده نمایید که به شما اجازه می‌دهد مستقیماً توان اکتیو و راکتیو جذب شده توسط راکتور شنت را تعیین نمایید. قطعه بار سری



**RLC** را که می‌توانید آنرا در کتابخانه عناصر (**Elements**) از **powerlib** بیابید را کپی کنید. اسم آنرا **Mvars110** قرار دهید و پارامترهای آنرا مانند زیر قرار دهید:

**Nominal votage Vn (Vrms) : 424.4e3**

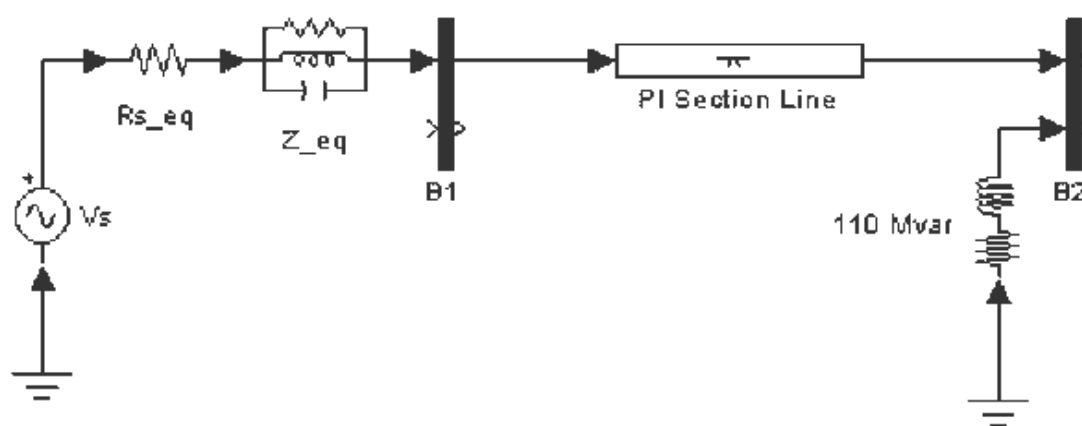
**Nominal frequency fn (Hz) : 60**

**Avtive power P(W) : 110e6/300**

**Inductive reactive power QL (positive var) : 110e6**

**Capasitive reactive power QC (negative var) : 0**

توجه کنید که وقتی توان راکتیو خازنی تعیین نشده، با بسته شدن پنجره تنظیمات، خازن در آیکون قطعه نمایش داده نمی‌شود. یک باس پایانی گیرنده **PI** با کپی کردن **PI** اضافه نمایید و تمام قطعات جدید را همانطور که نشان داده شده به هم وصل نمایید.

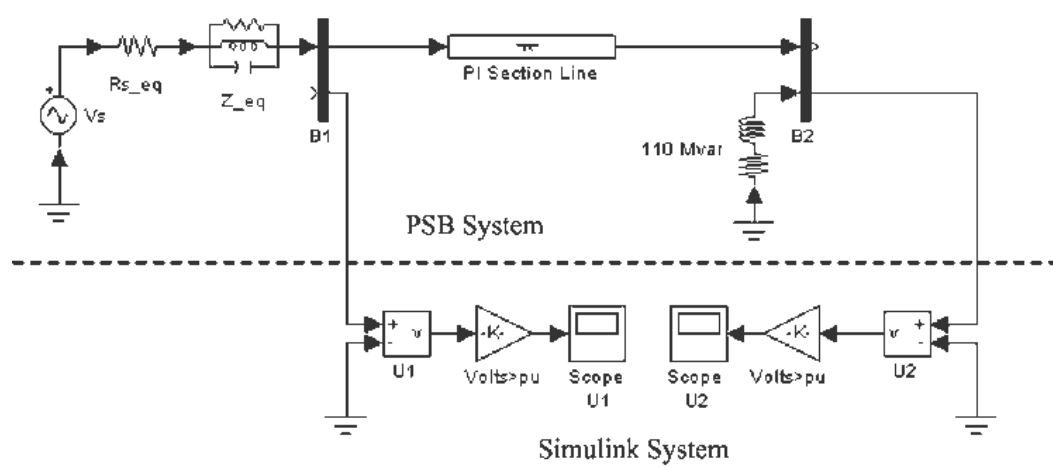


شما یک قطعه اندازه‌گیر ولتاژ (**Voltage Measurement**) برای اندازه‌گرفتن ولتاژ در باس **B1** نیاز دارید. این قطعه در کتابخانه اندازه‌گیرها (**Measurement**) از **powerlib** یافت می‌شود. آنرا کپی کنید و آنرا **U1** بنامید. ورودی مثبت آنرا به خروجی دوم باس بار **B1** و ورودی منفی را به یک زمین جدید وصل نمایید.

برای مشاهده ولتاژ اندازه گرفته شده توسط قطعه اندازه‌گیر ولتاژ که **U1** نامیده شده؛ یک سیستم نمایش مورد نیاز است. این سیستم می‌تواند هر وسیله‌ای که در کتابخانه **Sinks** از **Simulink** یافت می‌شود باشد.

کتابخانه **Sinks** از **Simulink** را باز نمایید و قطعه اسکوپ **Scope** را به پنجره مدارتان **circuit1** کپی نمایید. اگر اسکوپ؛ مستقیماً به خروجی اندازه‌گیر ولتاژ وصل شود، ولتاژ را به ولت نمایش می‌دهد. ولیکن مهندسان قدرت در سیستم‌های قدرت با مقادیر نرمال‌شده (سیستم پریونیت) کار می‌کنند. ولتاژ با تقسیم به مقدار پیک ولتاژ نامی سیستم به عنوان مقدار مبنا نرمالیزه می‌شود.

قطعه گین (**Gain**) را از کتابخانه **Simulink** انتخاب کنید و گین (**Gain**) آنرا مطابق بالا وارد نمایید. خروجی آنرا به قطعه اسکوپ و خروجی قطعه اندازه‌گیر ولتاژ را به قطعه گین اتصال دهید این سیستم اندازه‌گیر ولتاژ را کپی کنید و در باس بار **B2** قرار دهید. همانند شکل زیر:

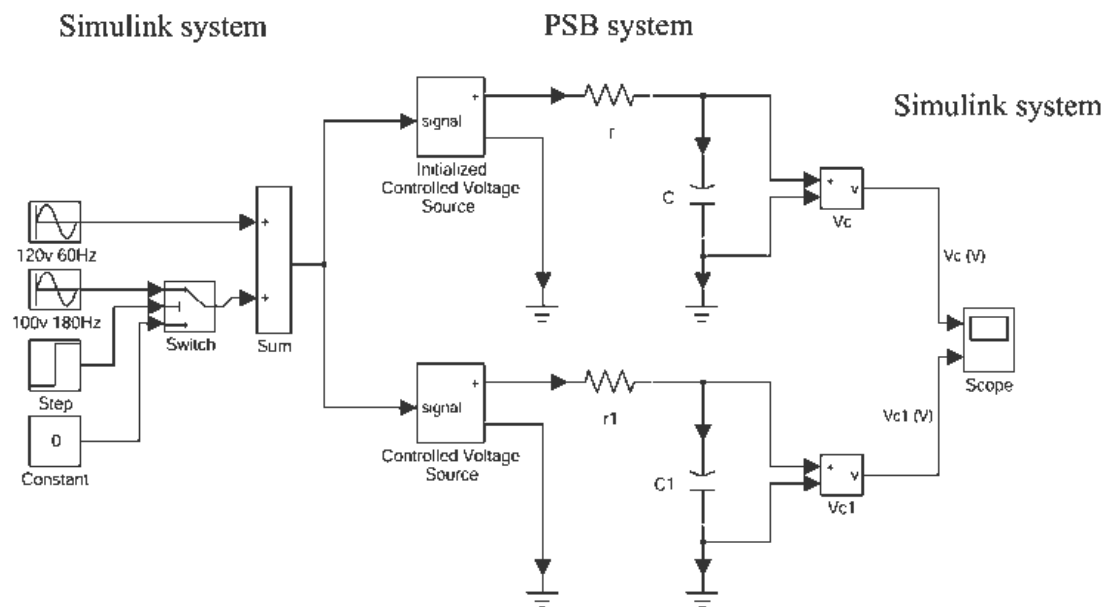


## هماهنگ کردن مدار با Simulink

قطعه اندازه گیر ولتاژ به عنوان یک هماهنگ کننده بین قطعات **Simulink** عمل می نماید. برای سیستم نشان داده شده در بالا؛ ارتباط بین سیستم قدرت و سیستم **Simulink** انجام شده است. قطعات اندازه گیر ولتاژ، ولتاژهای اندازه گیری شده را به سیگنال **Simulink** تبدیل می نماید.

توجه کنید که قطعه اندازه گیر جریان (**Current Measurement**) از کتابخانه اندازه گیرهای **powerlib** می تواند برای تبدیل جیرانهای اندازه گیری شده به سیگنال **Simulink** مورد استفاده قرار گیرد.

اتصال قطعات **Simulink** به سیستم قدرت نیز امکان پذیر می باشد. به عنوان مثال، می توانید یک قطعه منبع ولتاژ کنترل شده (**Controlled Voltage Source**) برای تزریق ولتاژ در یک مدار الکتریکی استفاده نمایید. آنگاه ولتاژ با سیگنال **Simulink** کنترل می شود.



## شبیه‌سازی مدار :

حال شما می‌توانید شبیه‌سازی را از منوی **Simulation** شروع کنید. طبق انتظار ولتاژ سینوسی و با مقدار پیک  $1\text{ p.u.}$  می‌باشد.

وقتی شبیه‌سازی در حال اجرا می‌باشد؛ پنجره تنظیمات قطعه **Vs** را باز نمایید و دامنه را تغییر دهید. اثر آنرا روی دو اسکوپ مشاهده نمایید. همچنین می‌توانید فرکانس و فاز آنرا تغییر دهید. به یاد داشته‌باشید که می‌توانید بر روی قسمت مورد علاقه‌تان با کشیدن مسیر بسته روی آن (از کلید چپ موس و کشیدن آن روی ناحیه مورد نظر استفاده کنید) بزرگنمایی داشته باشید.

تذکر: برای شبیه‌سازی این مدار الگوریتم پیش‌فرض (**ode45**) استفاده شده‌است. ولی به سبب نیاز بیشتر قطعات سیستم قدرت مدارات شما شامل کلیدها و سایر مدل‌های غیرخطی خواهدبود. در چنین مواردی شما باید الگوریتم کامل سازی متفاوتی تعیین نمایید. این موضوع در بخش ۳ قسمت شبیه‌سازی حالت گذرا، هنگامیکه یک **Breaker** به مدارتان وصل می‌شود مورد بحث قرار می‌گیرد

## بخش دوم

### تحلیل یک مدار ساده

در این بخش با :

- از قطعه **powergui** (نمایشگر گرافیکی) استفاده خواهید نمود.

- خروجی‌های حالت پایدار سیستم را بدست می‌آورید.

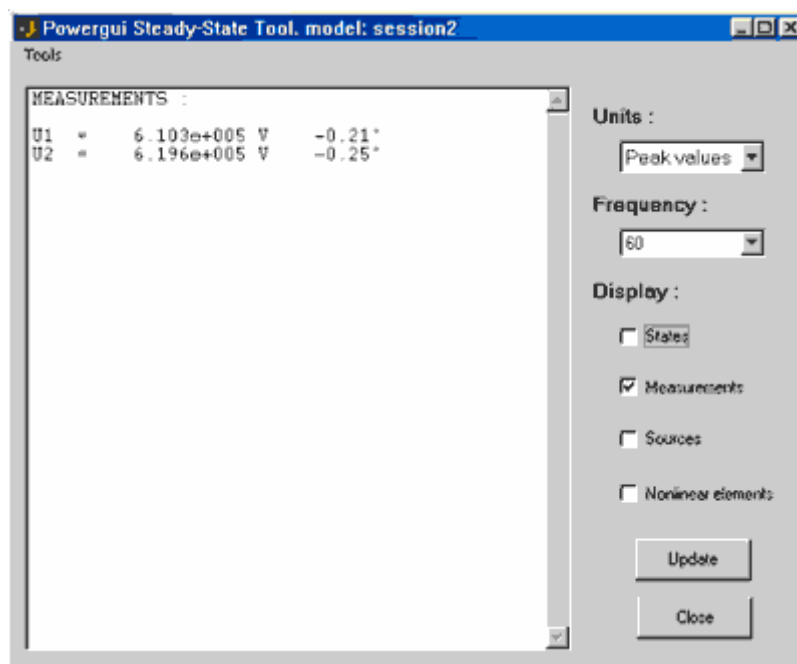
- مدارتان را با تابع **power2sys** تحلیل می‌نمایید.

- یک مدار الکتریکی را در ناحیه فرکانسی تحلیل می‌نمایید.

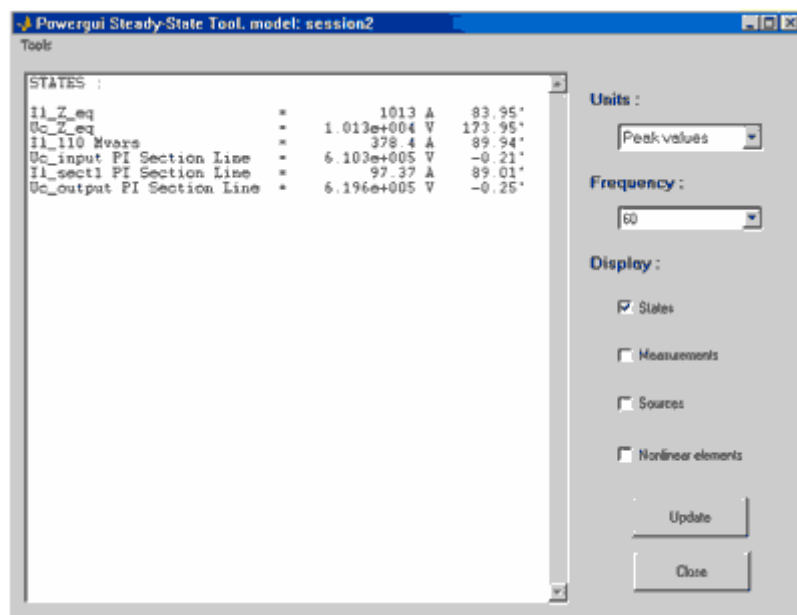
## تحلیل حالت پایدار

برای آسان کردن تحلیل حالت پایدار، یک نمایشگر گرافیکی (**powergui**) در کتابخانه **powerlib** در نظر گرفته شده است. قطعه نمایشگر گرافیکی (**powergui**) را به پنجره **circuit1** کپی نمایید و روی آیکون آن دو بار کلیک کنید تا صفحه آن باز شود.

پنجره حالت پایدار را با کلیک روی دکمه ولتاژها و جریان‌های حالت پایدار (**Steady State Voltages and Currents**) باز نمایید که در آن فازورهای اندازه گرفته شده توسط دو قطعه اندازه‌گیری به فرم قطبی نشان داده شده‌است.



خروجی هر اندازه‌گیر با تطبیق آن با اسم قطعه اندازه‌گیر مشخص می‌شود. اندازه فازورهای **U1** و **U2** با مقدار پیک ولتاژ سینوسی تطبیق یافته‌اند. در پنجره حالت پایدار، همچنین می‌توانید مقدار حالت پایدار منبع ولتاژ یا مقدار حالت پایدار شرایط را با علامت زدن در جعبه علامت کنار هر یک از منابع (**Sources**) یا شرایط (**States**) انتخاب نمایید تا نمایش داده شوند.



اسم متغیرهای حالت؛ شامل اسم قطعه‌ای می‌باشد که در آن القاگر یا خازن وجود دارد. معرفی شده‌ها با پیشوند **(Il)** برای جریان القاگر و یا معرفی شده‌ها با پیشوند **(Uc)** برای ولتاژ خازن می‌باشند.

قرارداد علامت منابع ولتاژ و جریان و متغیرهای حالت بر مبنای وضعیت آنها در مدار می‌باشد.

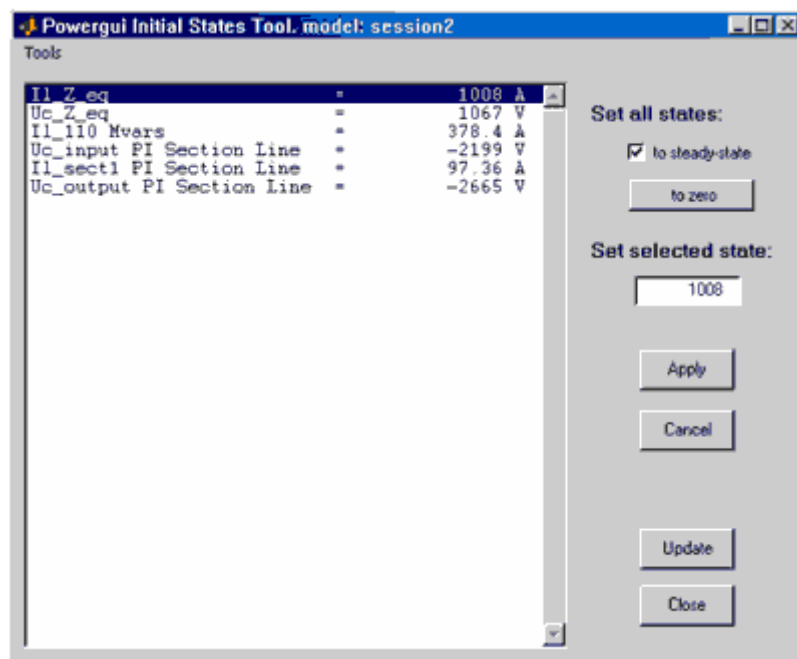
- جریان القاگرها اگر در جهت فلش جاری باشد مثبت است.

- ولتاژ خازن‌ها عبارت است از ولتاژ خروجی قطعه منهای ولتاژ ورودی قطعه

## تذکر:

بر حسب موقعیت دقیق چندین قطعه در دیاگرام **circuit1** ممکن است مقادیر حالت پایدار قطعات همانند آنچه که در مدار دیده می‌شود نمایش داده نشود.

حالا از جعبه ابزار نمایشگر گرافیکی (**powergui**) روی دکمه تنظیم مقادیر اولیه (**Initial States Setting**) کلیک نمایید. مقادیر اولیه شش شرط مدار (جریان سه القاگر و ولتاژ سه خازن) نشان داده می‌شوند. این مقادیر اولیه برای شروع شبیه‌سازی حالت پایدار تنظیم شده‌اند.



## تحلیل فرکانسی

کتابخانه اندازه‌گیرها (**Measurments**) از **powerlib** دارای قطعه اندازه‌گیر امپدانس (**Impedance Measurement**) می‌باشد که امپدانس بین دو گره از یک مدار را اندازه می‌گیرد. در دو بخش آتی شما امپدانس بین **B2** و زمین مدارتان را به دو روش اندازه می‌گیرید.

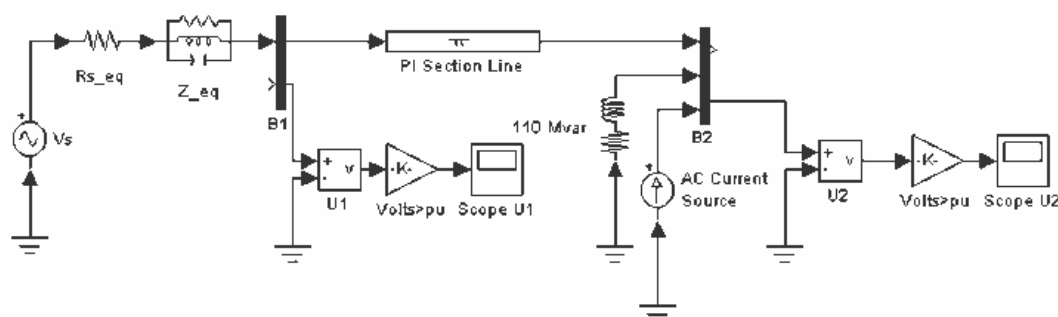
– محاسبه از مدل فضای حالت

– اندازه‌گیری اتوماتیک به کمک اندازه‌گیر امپدانس دو قطعه نمایشگر گرافیکی (**powergui**)



## بدست آوردن امپدانس متقابل فرکانسی از مدل فضای حالت

برای اندازه‌گیری امپدانس متقابل در باس بار **B2**، به یک منبع جریان در باس بار **B2** نیازمندید تا یک ورودی دوم برای مدل فضای حالت ایجاد نمایید. کتابخانه منابع الکتریکی (**Electrical Sources**) را باز نمایید و قطعه منبع جریان **AC** را به مدار خود کپی نمایید. این منبع را به باس بار **B2** همانند شکل زیر اتصال دهید و اندازه ماکزیمم منبع جریان (**Peak amplitude (A):**) را به صفر و فرکانس (**Frequency (Hz):**) آنرا به **60Hz** تغییر دهید. قطعات را مانند زیر مرتب نمایید:



شکل ۲-۱: منبع جریان AC در باس بار **B2** (مدار circuit1-1)

حالا مقادیر فضای حالت مدار **circuit1-1** را با تابع **power2sys** محاسبه نمایید. دستور زیر را در خط فرمان **MATLAB** وارد نمایید:

```
[A,B,C,D,x0,states,inputs,outputs]=power2sys('circuit1-1');
```

تابع **power2sys** مدل فضای حالت مدارتان را در چهار ماتریس **A**، **B**، **C** و **D** ارائه می‌کند. **x0** بردار شرایط اولیه‌ای است که شما در قطعه نمایشگر گرافیکی (**powergui**) نیز دیده‌اید. اسم متغیرهای حالت، ورودی‌ها و خروجی‌ها در سه ماتریس ستونی داده می‌شود.

<i>States=</i>	<b>شرایط</b>
<i>Il_110 Mvars</i>	
<i>Uc_input PI Section Line</i>	
<i>Il_sect1 PI Section Line</i>	
<i>Uc_output PI Section Line</i>	
<i>Il_Z_eq</i>	
<i>Uc_Z_eq</i>	<b>ورودی‌ها</b>
<i>Inputs=</i>	
<i>U_Vs</i>	
<i>I_AC Curent Source</i>	
<i>Outputs=</i>	<b>خروجی‌ها</b>
<i>U_U1</i>	
<i>U_U2</i>	

توجه کنید که باید اسم و ترتیب متغیرها، ورودی‌ها و خروجی‌ها را از قطعه **Powergui** استخراج نمایید.

همینکه مدل فضای حالت سیستم شناخته شده باشد، می‌تواند در حوزه فرکانسی تحلیل گردد. به عنوان مثال مدهای این مدار می‌تواند از مقادیر آیگن ماتریس **(A)** به دست بیاید (فرمان **eig** از **MATLAB** را استفاده نمایید).

```
eig(A)
ans
1.0e+05*
-2.4972
-0.0001+0.0144i ←229Hz
-0.0001-0.0144i
-0.0002+0.0056i ←89Hz
-0.0002-0.0056i
-0.0000
```

این سیستم دو مد نوسانی **89Hz** و **229Hz** دارد. فرکانس **89Hz** مربوط به منبع معادل می‌باشد که با تک قطبی معادل، مدل شده است. **229Hz** اولین مد خط است که با یک بخش **PI** مدل شده است.

اگر شما جعبه ابزار کنترل سیستم را داشته باشید، می‌توانید امپدانس شبکه را با تابع **bode** به عنوان یک تابع فرکانسی محاسبه نمایید. در فضای لاپلاس، امپدانس **Z2**، در باس **B2** به صورت تابعی بین جریان

تزریق شده به باس B2 (ورودی دوم سیستم) و ولتاژ اندازه گرفته شده در باس B2 (خروجی دوم سیستم) [انتقال یافته به محیط لاپلاس] تعریف می شود.

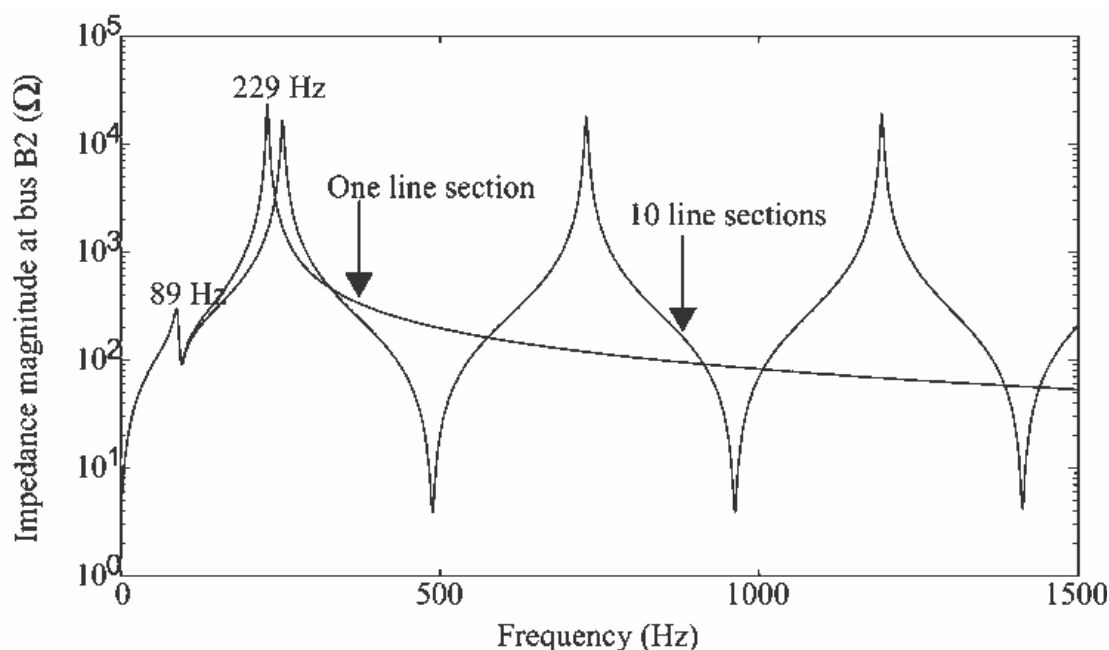
امپدانس در باس B2 در بازه 0 تا 1500 هرتز می تواند به صورت زیر محاسبه شود:

```
Freq=0:1500;
W=2*pi*freq;
[mag1,phase1]=bode(A,B,C,D,2,w);
semilogy(freq,mag1(:,2));
```

عملیات مشابهی را برای بدست آوردن پاسخ مدل خط با ۱۰ بخش تکرار کنید. جعبه محاوره ای خط مدل PI را باز کنید و تعداد بخشها را از ۱ به ۱۰ تغییر دهید. برای محاسبه پاسخ فرکانسی جدید و انداختن آن روی پاسخ بدست آمده از مدل تک بخشی، دستورات زیر را بنویسید:

```
[A,B,C,D]=power2sys('circuit1-1');
[mag10,phase10]=bode(A,B,C,D,2,w);
semilogy(freq,mag1(:,2),freq,mag10(:,2));
```

این نتیجه رسم می باشد:



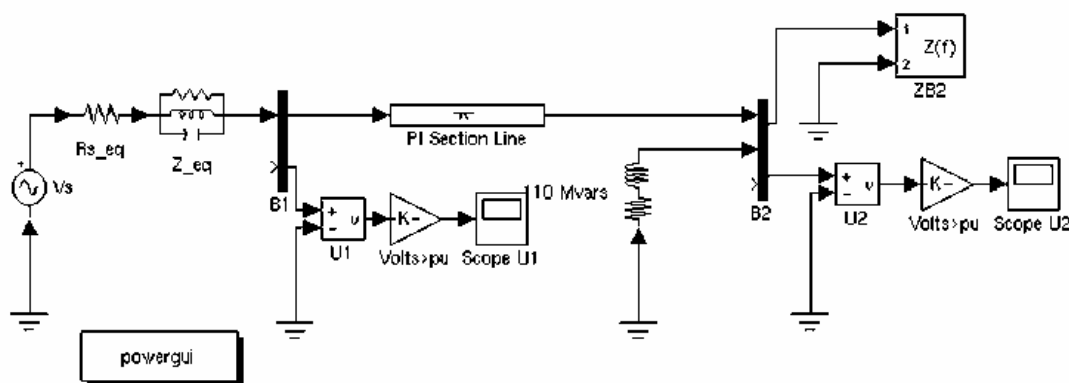
شکل ۳-۱: امپدانس باس B2 تابع فرکانسی

این شکل نشان می دهد، ناحیه فرکانسی که توسط یک خط با یک بخش ظاهر می شود تقریباً به ۱۵۰ هرتز محدود شده است. برای فرکانس های بالاتر یک خط با ۱۰ بخش تقریب بهتری می باشد.

بنابراین زمان انتشار برای 300km برابر است با:  $T=300/293.208=1.023$  s و فرکانس اولین مدل خط برابر است با  $f_1=1/4T=244$  Hz. یک خط تکه تکه شده باید تعدادی نامتناهی از مدها را هر  $224+n*488$  Hz ( $n=1,2,3,...$ ) داشته باشد. خط ۱۰ بخشی؛ ۱۰ مد اول را شبیه‌سازی می‌کند. سه مد اول خط در شکل ۳-۱ دیده می‌شود.

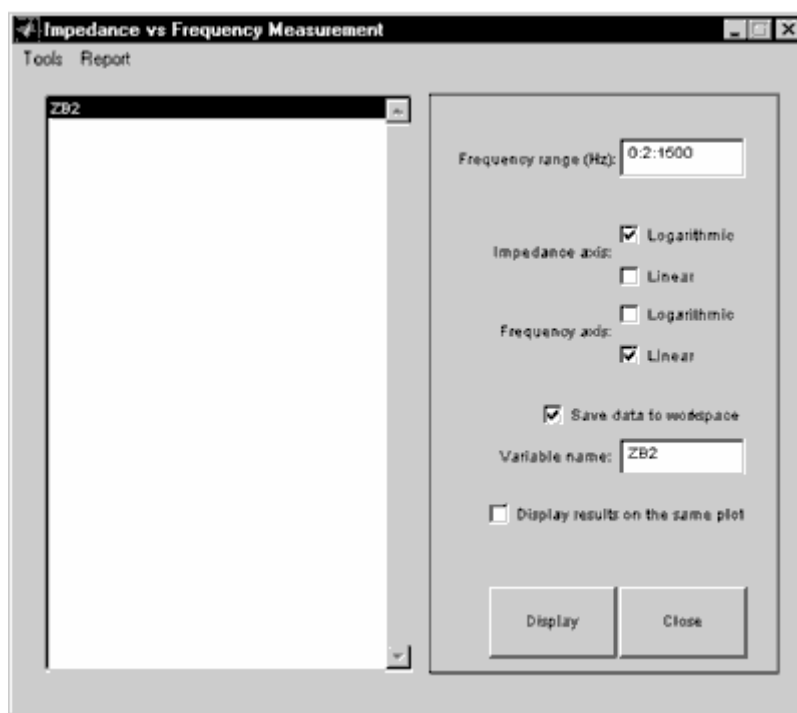
## بدست آوردن امپدانس فرکانسی از قطعه اندازه‌گیر امپدانس (Measurement\_Impedance) و قطعه نمایشگر گرافیکی (Powergui)

عملیاتی که در بالا برای اندازه‌گیری امپدانس یک مدار توضیح داده شد در قطعات سیستم قدرت اتوماتیک شده است. کتابخانه اندازه‌گیرها (Measurements) از powerlib را باز کرده و قطعه اندازه‌گیر امپدانس (Impedance\_Measurement) را به مدل خود کپی نمایید و اسم آنرا به ZB2 تغییر دهید. قطعه؛ یک منبع جریان و یک اندازه‌گیر ولتاژ را برای اندازه‌گیری امپدانس به کار می‌برد. دو ورودی این قطعه را بین باس بار B2 و زمین همانگونه که نشان داده شده است، وصل نمایید.



شکل ۳-۴: اندازه‌گیری امپدانس فرکانسی با قطعه اندازه‌گیر امپدانس

حالا پنجره **powergui** را باز کنید و در منوی آن **Impedance\_vs\_Frequency\_Measurement** را انتخاب نمایید. پنجره جدیدی باز می شود که لیستی از اندازه گیرهای امپدانسی که در مدارتان وجود دارد را نشان می دهد.



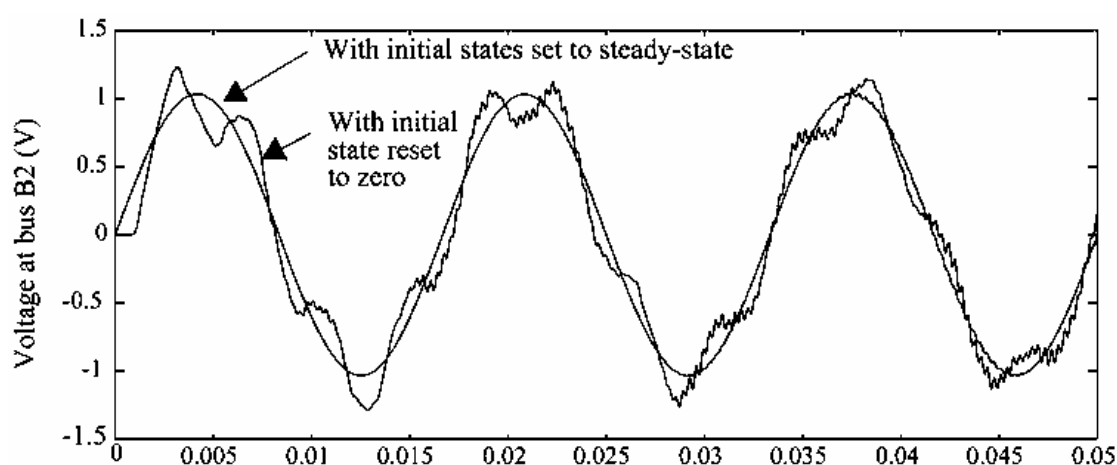
در این مورد، فقط یک امپدانس اندازه گرفته شده است و به عنوان **ZB2** در پنجره شناخته شده است (اسم قطعه **ZB2**). در محدوده فرکانس، مقدار **0:2:1500** (که بین صفر تا **1500** هرتز با پله های **2Hz** می باشد) را وارد نمایید. تقسیم بندی لگاریتمی (**Logarithmic\_Impedance**) را برای نمایش اندازه **Z** انتخاب کنید. گزینه **Save\_data\_to\_workspace** را انتخاب نمایید و **ZB2** را در جای اسم متغیر (**Variable\_name**) که شامل امپدانس فرکانسی **vs** خواهد شد، تایپ نمایید.

وقتی که محاسبات تمام شد، پنجره نمودار اندازه و فاز به عنوان تابع فرکانسی نمایش داده می شود. نمودار اندازه باید مانند شکل ۱-۳ (برای خط یک بخشی) باشد. اگر به محیط کار خود (**workspace**) نگاه کنید باید یک متغیر با اسم **ZB2** داشته باشید. **ZB2** یک ماتریس دو ستونی می باشد که ستون اول شامل فرکانس می باشد و ستون دوم شامل امپدانس مختلط می باشد.

حالا از منوی **Simulation** گزینه **Simulation parameters** را انتخاب نموده و در قسمت حلال (Solver)، الگوریتم **ode23tb** را انتخاب نمایید. تغییرات وابسته (Relative tolerance) را به  $1e-4$  تغییر داده و سایر متغیرها را در حالت **auto** نگه دارید. زمان پایان (Stop time) را به **0.05** تغییر دهید. اسکوپ‌ها را باز نمایید و شبیه‌سازی را آغاز نمایید.

به شکل موج ولتاژ در ابتدا و انتها روی اسکوپ **U1** و **U2** نگاه کنید. از آنجا که متغیرهای حالت به صورت خودکار پردازش شده‌اند، سیستم در حالت پایدار شروع شده و شکل موج‌های سینوسی نمایش داده شده‌اند.

سرانجام پنجره **powergui** را باز کرده و تنظیم مقادیر اولیه (Initial States Setting) را باز نموده و تمام مقادیر را با کلیک روی دکمه **Set all states to zero** به صفر تغییر دهید و دکمه **Apply** را کلیک نمایید. شبیه‌سازی را تکرار کنید و زمان گذرا را از صفر که خط باردار می‌شود، مشاهده نمایید.



شکل ۵-۱: ولتاژ انتها (**U2**) با خط شامل ۱۰ بخش **PI**