Distribuição de Energia Elétrica

Elemento *Load* do OpenDSS

Lucas Melo

Universidade Federal do Ceará

Setembro 2024

Objetivos

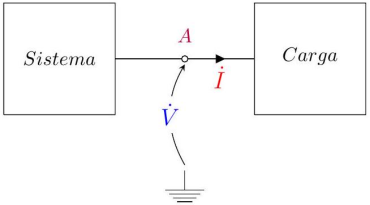
O objetivo desse documento é descrever os principais parâmetros que o OpenDSS utiliza para definir o elemento Load. Além disso, os principais modelos de representação de carga são estudados, bem como a sua implementação no software.
Por fim, exemplos de códigos na linguagem de programação do OpenDSS são apresentados para diferentes conexões.

Por quê?

As cargas são um dos principais elementos de um sistema elétrico de potência. Elas são responsáveis pela existência dos sistemas de transmissão e distribuição. Afinal, o objetivo dos mesmos é realizar a conexão entre geração e carga. Nesse sentido, é importante compreender como as cargas são usualmente modeladas e as particularidades de cada modelo no OpenDSS.

Modelos de Carga

A imagem apresenta um sistema que impõe uma tensão, $\dot{V}$, em uma carga conectada no ponto A. A carga, por sua vez, absorve uma corrente, $\dot{I}$, que depende de sua natureza. A dependência entre a tensão aplicada e a corrente absorvida por uma carga pode ser descrita pela Equação 1.



$$\dot{I} = f(\dot{V}) \tag{1}$$

A potência consumida pela carga pode ser descrita pela Equação 2.

$$\bar{S} = |\bar{S}|_{\phi} = P + j \times Q = \dot{V} \times \dot{I}^* \qquad (2)$$

Onde,

- $\dot{V} = |\dot{V}|\angle\theta$ é o fasor da tensão que o sistema fornece à carga
- $\dot{I} = |\dot{I}|_{\swarrow\alpha}$ é o fasor da corrente absorvida pela carga
- $\bar{S}$ é a potência complexa consumida pela carga
- $|\bar{S}|$ é a potência aparente consumida pela carga
- P é a potência ativa consumida pela carga
- Q é a potência reativa consumida pela carga
- φ é o ângulo cujo cosseno é igual ao fator de potência da carga

Para a situação em que o sistema fornece tensão nominal, $\dot{V}_n = \left|\dot{V}_n\right| \angle\theta$, a carga absorve e consome corrente e potência nominais, respectivamente, conforme apresentado em (3) e (4).

$$\dot{I} = \dot{I}_n = |\dot{I}_n|\underline{/\alpha} = |\dot{I}_n|\underline{/\theta - \varphi} \tag{3}$$

$$\bar{S} = \bar{S}_n \tag{4}$$

A natureza da carga em função da tensão aplicada pode ser tratada através de diversos modelos. Entretanto, nesse documento, apenas os mais comuns são destacados:

- Modelo de Potência Constante
- Modelo de Corrente Constante
- Modelo de Impedância Constante
- Modelo ZIP

Modelo de Potência Constante

Uma carga representada pelo modelo de potência constante consome sua potência complexa nominal, $\bar{S}_n$, independentemente da tensão aplicada no seu terminal. A relação entre a corrente absorvida e a tensão aplicada pelo sistema elétrico é dada por:

$$\dot{I} = \frac{\bar{S}_n^*}{\dot{V}^*} = \frac{P_n - j \times Q_n}{\dot{V}^*} \tag{5}$$

A potência consumida pela carga pode ser escrita aplicando-se (4) em (2):

$$\bar{S} = \bar{S}_n = P_n + j \times Q_n \tag{6}$$

$$\begin{aligned} P &= \mathrm{Re}(\bar{S}) = P_n \\ Q &= \mathrm{Im}(\bar{S}) = Q_n \end{aligned} \tag{7}$$

Assim, as potências ativa e reativa são constantes e iguais aos seus valores nominais.

Modelo de Corrente Constante

Nesse modelo, o módulo da corrente absorvida, $|\dot{I}|$, e o fator de potência da carga, $\cos(\varphi)$, são invariantes com a tensão aplicada, sendo a corrente igual ao seu valor nominal, $\left|\dot{I}_n\right|$, e o ângulo φ, aquele definido pela potência consumida na condição nominal, $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{Q_n}{P_n}\right)$. Assim, a relação entre a corrente absorvida pela carga e a tensão aplicada em seu terminal pode ser escrita conforme a Equação 9.

$$\dot{I} = \left|\dot{I}_n\right| \angle\alpha = \frac{\left|\bar{S}_n\right|}{\left|\dot{V}_n\right|} \angle\alpha \tag{8}$$

Porém, ao isolar a corrente na Equação 2, genérica, temos que

$$\dot{I} = \frac{\bar{S}^*}{\dot{V}^*} = \frac{|\bar{S}|\underline{/-\varphi}}{|\dot{V}|\underline{/-\theta}} \tag{9}$$

Modelo de Corrente Constante

Assim, combinando as equações 9 e 10

$$\dot{I} = \frac{\left|\bar{S}_n\right|}{\left|\dot{V}_n\right|} \times 1\angle{-\varphi} \times 1\angle{\theta} \tag{10}$$

Note que $1\angle{\theta}$ **pode ser reescrito como** $\frac{\dot{V}}{|\dot{V}|}$ **e** $\left|\bar{S}_n\right| \times 1\angle{-\varphi}$ **como** $P_n - j \times Q_n$**.**

Posto isto, a Equação 11 pode ser reescrita conforme apresentado abaixo:

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}}{|\dot{V}|} \times \frac{\left(P_n - j \times Q_n\right)}{\left|\dot{V}_n\right|} \tag{11}$$

Modelo de Corrente Constante

A potência consumida pela carga, por sua vez, pode ser escrita aplicando-se (12) em (2), conforme a Equação 13

$$\bar{S} = \dot{V} \times \frac{\dot{V}^*}{|\dot{V}|} \times \frac{(P_n + j \times Q_n)}{|\dot{V}_n|} = \frac{|\dot{V}|}{|\dot{V}_n|} \times (P_n + j \times Q_n) \tag{12}$$

$$P = \mathrm{Re}(\bar{S}) = \frac{|\dot{V}|}{|\dot{V}_n|} \times P_n \tag{13}$$

$$Q = \mathrm{Im}(\bar{S}) = \frac{|\dot{V}|}{|\dot{V}_n|} \times Q_n \tag{14}$$

Portanto, no modelo de corrente constante, as potências ativa e reativa consumidas pela carga variam linearmente com o módulo da tensão aplicada.

Modelo de Impedância Constante

A carga representada por esse modelo possui sua impedância nominal, $\bar{Z}_n$, constante em função da tensão aplicada. A impedância nominal pode ser calculada através da Equação 16.

$$\bar{Z}_n = \frac{\left|\dot{V}_n\right|^2}{\bar{S}_n^*} \tag{15}$$

Dessa forma, a relação entre a corrente absorvida pela carga e sua tensão pode ser escrita conforme a Equação 17.

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}}{\bar{Z}_n} = \dot{V} \times \frac{\bar{S}_n^*}{\left|\dot{V}_n\right|^2} = \frac{\dot{V}}{\left|\dot{V}_n\right|^2} \times \left(P_n - j \times Q_n\right) \tag{16}$$

Modelo de Impedância Constante

A potência consumida pela carga pode ser escrita aplicando-se (17) em (2).

$$\bar{S} = \frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{V}_n|^2} \times (P_n + j \times Q_n) \tag{17}$$

$$P = \mathrm{Re}(\bar{S}) = \frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{V}_n|^2} \times P_n \tag{18}$$

$$Q = \mathrm{Im}(\bar{S}) = \frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{V}_n|^2} \times Q_n \tag{19}$$

Portanto, no modelo de impedância constante, as potências ativa e reativa consumidas pela carga variam quadraticamente com o módulo da tensão aplicada.

Modelo ZIP

A carga representada pelo modelo ZIP, como o próprio nome sugere, é composta por parcelas dos modelos de potência, corrente e impedância constantes. As potências ativa e reativa consumidas pela carga podem ser calculadas através das equações (21) e (22), espectivamente.

$$P = \mathrm{Re}(\bar{S}) = (K_{Pa} + K_{Ia} \times \frac{|\dot{V}|}{|\dot{V}_n|} + K_{Za} \times \frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{V}_n|^2}) \times P_n \tag{20}$$

$$Q = \mathrm{Im}(\bar{S}) = (K_{Pr} + K_{Ir} \times \frac{|\dot{V}|}{|\dot{V}_n|} + K_{Zr} \times \frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{V}_n|^2}) \times Q_n \tag{21}$$

Modelo ZIP

Onde,

- K_{Pa} **coeficiente que define o quanto da potência ativa da carga é representada pelo modelo de potência constante**
- K_{Pr} **é o coeficiente que define o quanto da potência reativa da carga é representada pelo modelo de potência constante**
- K_{Ia} **é o coeficiente que define o quanto da potência ativa da carga é representada pelo modelo de corrente constante**
- K_{Ir} **é o coeficiente que define o quanto da potência reativa da carga é representada pelo modelo de corrente constante**
- K_{Za} **é o coeficiente que define o quanto da potência ativa da carga é representada pelo modelo de impedância constante**
- K_{Zr} **é o coeficiente que define o quanto da potência reativa da carga é representada pelo modelo de impedância constante**

Modelo ZIP

Tanto os coeficientes responsáveis pela definição da potência ativa da carga quanto os reponsáveis pela potência reativa devem totalizar uma unidade, conforme as equações (23) e (24). Assim, na condição nominal, isto é, quando $|\dot{V}| = |\dot{V}_n|$, as potências ativa e reativa consumida pela carga são exatamente iguais a P_n e Q_n.

$$K_{Pa} + K_{Ia} + K_{Za} = 1 \tag{22}$$

$$K_{Pr} + K_{Ir} + K_{Zr} = 1 \tag{23}$$

Modelo ZIP

A corrente absorvida pela carga, por sua vez, pode ser calculada através da Equação 25.

$$\dot{I} = \frac{\bar{S}^*}{\dot{V}^*} = \frac{P - j \times Q}{\dot{V}^*} \tag{24}$$

$$= (K_{Pa} + K_{Ia}\frac{|\dot{V}|}{|\dot{V}_n|} + K_{Za}\frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{V}_n|^2}) \times \frac{P_n}{\dot{V}^*} - j \times (K_{Pr} + K_{Ir}\frac{|\dot{V}|}{|\dot{V}_n|} + K_{Zr}\frac{|\dot{V}|^2}{|\dot{V}_n|^2}) \times \frac{Q_n}{\dot{V}^*} \tag{25}$$

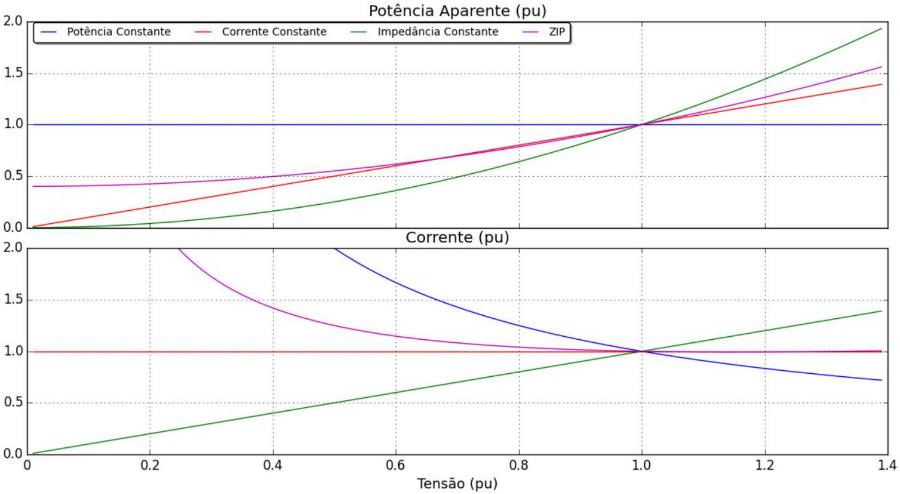
Comparação entre os Modelos

A imagem do proximo slide, ilustra as curvas da evolução da potência aparente e da corrente em função da tensão aplicada em uma carga, para os quatros diferentes tipos de modelo. Note que, na condição de tensão nominal, todas as curvas se tocam, não havendo distinção entre cada um dos modelos. Os coeficientes utilizados para o levantamento das curvas para o modelo ZIP foram:

- $K_{Pa} = K_{Pr} = 0.4$
- $K_{Ia} = K_{Ir} = 0.3$
- $K_{Za} = K_{Zr} = 0.3$

Percebe-se que a sua curva fica sempre entre as curvas descritas pelos outros três modelos, pois ele é representado por uma parcelas de cada um desses.

Comparação entre os Modelos



Modelos de Cargas no OpenDSS

No OpenDSS há oito modelos de carga, porém essa nota técnica foca apenas nos quatro mais importantes.

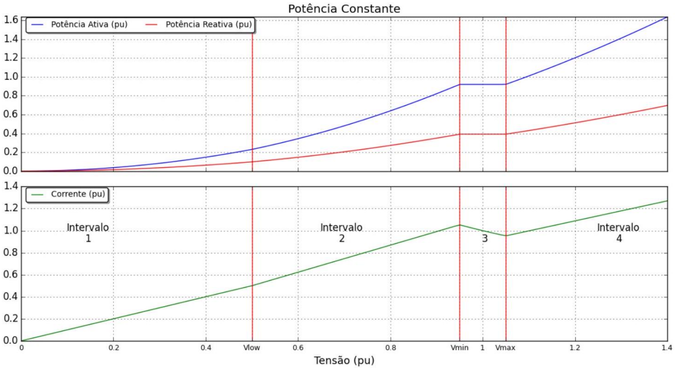
Cada um dos quatro modelos (potência constante, corrente constante, impedância constante e ZIP) apresenta o comportamento já descrito apenas para uma determinada faixa de operação, isto é, uma determinada faixa de tensão.

Por *default*, essa faixa de operação vai de 0.95 *pu* até 1.05 *pu*. Entretanto, ela pode ser modificada através dos parâmetros do elemento Load v_{minou} e v_{maxpu}, respectivamente.

Ao todo há quatro intervalos de operação para cada um dos modelos de carga abordados. A seguir, cada um desses intervalos é apresentado para cada um dos modelos.

Modelo de Potência Constante

A imagem apresenta as potências ativa e reativa consumidas e a corrente absorvida por uma carga modelada por uma potência constante em função da tensão de alimentação. Como pode-se notar, há quatro intervalos que apresentam características diferentes.



Modelo de Potência Constante: Primeiro Intervalo

O primeiro intervalo é definido para condições de tensões extremamente baixas, menores que o valor definido pelo parâmetro $v_{\mathbf{lowpu}}$, conforme a Equação 27 , onde $V_{\mathbf{Blow}}$ é igual a $v_{lowpu} \times \left|\dot{V}_n\right|$.

$$|\dot{V}| \leq V_{\mathbf{Blow}} \tag{26}$$

Nesse intervalo, por motivos de convergência numérica, a carga é convertida para o modelo de impedância constante, sendo que essa impedância é igual a sua impedância na condição nominal. Assim, a corrente absorvida segue a Equação 28.

$$\dot{I} = \bar{Y}_n \times \dot{V} = \frac{\dot{V}}{\bar{Z}_n} = \frac{\bar{S}_n^*}{\left|\dot{V}_n\right|^2} \times \dot{V} \tag{27}$$

Modelo de Potência Constante: Segundo Intervalo

O segundo intervalo é definido para a condição em que as tensões são baixas, porém maiores que $v_{\textbf{lowpu}}$ e menores que $v_{\textbf{minpu}}$, conforme a Equação 29.

$$V_{\textbf{Blow}} < |\dot{V}| \leq V_{B\,\mathrm{min}} \tag{28}$$

Onde,

$$V_{B\,\mathrm{min}} = v_{\mathrm{minpu}} \times \left|\dot{V}_n\right| \tag{29}$$

Nesse intervalo, a carga é convertida para uma impedância (ou admitância) calculada através da interpolação entre os valores de tensão e corrente nas condições de transição com o primeiro e o terceiro intervalo, de tal modo que a relação entre tensão e corrente resulta linear.

Modelo de Potência Constante: Segundo Intervalo

O ponto de transição entre o primeiro e o segundo intervalo é definido pelo par $(\dot{I}, \dot{V}) = \left(\dot{I}_{\mathbf{low}}, \dot{V}_{\mathbf{Blow}}\right)$, que pode ser obtido através da Equação 28, para $\dot{V} = \dot{V}_{\mathbf{Blow}} = V_{\mathbf{Blow}} / \theta_{\mathbf{Blow}}$, conforme a expressão abaixo:

$$\dot{I}_{\mathbf{low}} = \bar{Y}_n \times \dot{V}_{\mathbf{Blow}} = \left|\dot{I}_{\mathbf{low}}\right| \times 1 \angle -\varphi = \left|\bar{Y}_n\right| \times V_{\mathbf{Blow}} \times 1 \underline{/-\varphi} \tag{30}$$

Modelo de Potência Constante: Terceiro Intervalo

É nesse intervalo que a carga se comporta como um modelo de potência constante em si. A faixa de tensão onde ele se aplica vai de $V_{B\,\mathrm{min}}$ a $V_{B\,\mathrm{max}}$, conforme a Equação 32, sendo este último definido por $v_{\mathrm{maxpu}} \times \left|\dot{V}_n\right|$.

$$V_{B\,\mathrm{min}} < |\dot{V}| \leq V_{B\,\mathrm{max}} \tag{31}$$

Como visto nos slides de Modelo de Potência Constante, o comportamento da corrente em função da tensão aplicada descreve uma hipérbole equilateral, conforme a Equação 33.

$$\dot{I} = \frac{\bar{S}_n^*}{\dot{V}^*} = \frac{P_n - j \times Q_n}{\dot{V}^*} \tag{32}$$

Modelo de Potência Constante: Quarto Intervalo

A partir de $V_{\mathbf{Bmax}}$, Equação 34, a carga modelada por potência constante passa a se comportar como uma impedância constante, sendo a impedância aquela definida pela condição de contorno com o terceiro intervalo, $(\dot{I}, \dot{V}) = \left(\dot{I}_{\text{max}\ \mathbf{Pcte}}, \dot{V}_{\mathbf{Bmax}}\right)$.

$$|\dot{V}| > V_{B\,\text{max}} \tag{33}$$

Aplicando a condição de contorno na Equação 33, temos que:

$$\dot{I}_{\mathbf{max\ Pcte}} = \frac{\bar{S}_n^*}{\dot{V}^*} = \frac{P_n - j \times Q_n}{\dot{V}^*_{\mathbf{Bmax}}} \tag{34}$$

Modelo de Potência Constante: Quarto Intervalo

Assim, a impedância (admitância), constante nesse intervalo, é definida como:

$$\bar{Y}_{105\ \mathbf{Pcte}} = \frac{\dot{I}_{\max\ \mathbf{Pcte}}}{\dot{V}_{\mathbf{Bmax}}} = \frac{P_n - j \times Q_n}{\dot{V}_{B\max} \times \dot{V}^{*}_{B\max}} = \frac{P_n - j \times Q_n}{V^2_{B\max}} \tag{35}$$

Porém, como $V_{B\max} = v_{\text{maxpu}} \times \left|\dot{V}_n\right|$ e $\frac{P_n - j \times Q_n}{\left|\dot{V}_n\right|^2}$ corresponde à admitância na condição nominal da carga (Equação 28), pode-se dizer que:

$$\bar{Y}_{105\ \mathbf{Pcte}} = \frac{\bar{Y}_n}{v^2_{\mathbf{maxpu}}} \tag{36}$$

Finalmente, a corrente absorvida pela carga nesse intervalo é calculada a partir da Equação 38.

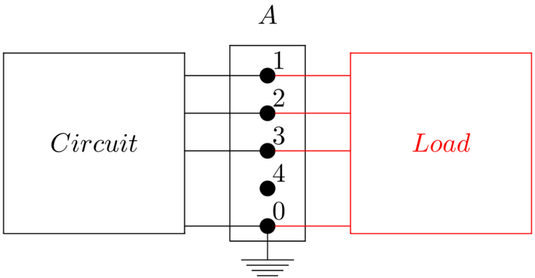
Estudo de Caso: Cargas Trifásicas Equilibradas

Para esse exemplo, é assumida uma carga trifásica equilibrada com os seguintes dados:

- Nome: *Carga*
- Tensão Nominal de Linha: $|\dot{V}_n| = 13.8\ k\text{V}$
- Potência Ativa Trifásica Nominal: $P_n = 1000\ k\text{W}$
- Fator de Potência: $cos\varphi = 0.92$
- Modelo de Potência Constante: Modelo 1
- Barra de conexão: Barra A
- Tipo de Conexão: Definida nos próximos itens

Carga Trifásica Equilibrada Conectada em Estrela Aterrada

A imagem ilustra como o terminal desse elemento deve ser conectado aos n´os da Barra A.



Carga Trifásica Equilibrada Conectada em Estrela Aterrada

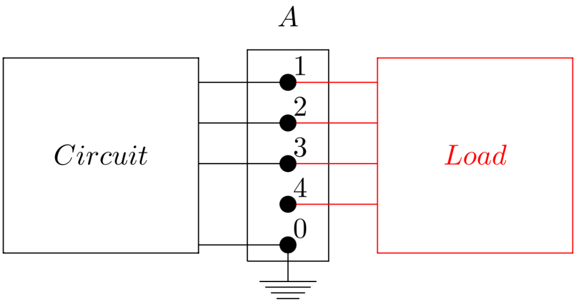
Os dados de carga e o tipo de conexão são utilizados para definir o elemento *Load*, conforme apresentado no código a seguir:

```
Clear

New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.Carga phases=3 bus1=A conn=wye kv=13.8 kw=1000 pf=0.92
model=1

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

Note que, por *default*, *bus1*=A equivale a *bus1*=A.1.2.3 ou *bus1*=A.1.2.3.0

Carga Trifásica Equilibrada Conectada em Estrela Isolada

A imagem ilustra a conexão que deve ser definida no OpenDSS. Note que, diferentemente do caso anterior, o quarto terminal desse exemplo é conectado ao nó 4 da barra A, que é isolado. De fato, pode-se utilizar qualquer nó da barra A que não esteja conectado à nenhum outro elemento e não esteja aterrado.



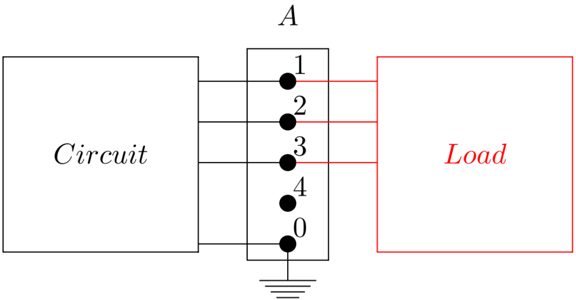
Carga Trifásica Equilibrada Conectada em Estrela Isolada

O código é apresentado a seguir:

```
Clear

New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.Carga phases=3 bus1=A.1.2.3.4 conn=wye kv=13.8 kw=1000
pf=0.92
~ model=1

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

Carga Trifásica Equilibrada Conectada em Triângulo

A imagem ilustra a conexão que deve ser definida no OpenDSS.



Carga Trifásica Equilibrada Conectada em Triângulo

O código é apresentado a seguir:

```
Clear

New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.Carga phases=3 bus1=A conn=delta kv=13.8 kw=1000 pf=0.92
~ model=1

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

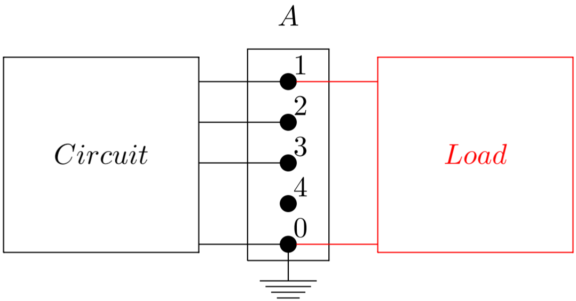
Estudo de Caso: Cargas Monofásicas

Nesse item, é assumido que a carga monofásica apresenta os seguintes dados:

- Nome: *Carga*
- Tensão Nominal:
  - Cargas Conectadas entre Fase e Neutro: $|\dot{V}_n| = \frac{13.8}{\sqrt{3}} = 7.967\ k\mathrm{V}$
  - Cargas Conectadas entre Fases (Bifásica): $|\dot{V}_n| = 13.8\ k\mathrm{V}$
- Potência Ativa Nominal: $P_n = 1000\ k\mathrm{W}$
- Fator de Potência: $cos\varphi = 0.92$
- Modelo de Potência Constante: *Modelo 1*
- Conectado na Barra: A
- Tipo de Conexão: Entre Fase e Neutro ou Entre Fases

Carga Monofásica entre Fase e Neutro

A imagem ilustra a conexão que deve ser definida no OpenDSS. Por simplicidade, assuma que o neutro se encontra aterrado. Caso a carga fosse suprida por uma linha trifásica à quatro fios, por exemplo, dever-se-ia conectá-la aos nós 1 e o nó da barra A ao qual o neutro da linha estivesse conectado, que, usualmente, é o nó 4.



Carga Monofásica entre Fase e Neutro

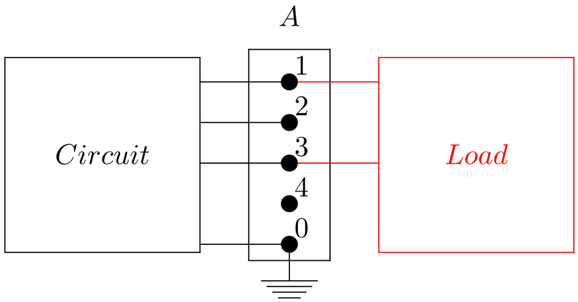
O código é apresentado a seguir:

```
Clear

New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.Carga phases=1 bus1=A.1 kv=7.967 kw=1000 pf=0.92 model=1

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

Note que, por *default*, *bus1*=A.1 equivale a *bus1*=A.1.0

Carga Monofásica entre Fases

A imagem ilustra a conexão que deve ser definida no OpenDSS.



Carga Monofásica entre Fases

O código é apresentado a seguir:

```
Clear

New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.Carga phases=1 bus1=A.1.3 kv=13.8 kw=1000 pf=0.92 model=1

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

Estudo de Caso: Cargas Trifásicas Desequilibradas

No OpenDSS, define-se uma carga trifásica desequilibrada através de três cargas monofásicas independentes, conectadas em fases distintas. Para esse exemplo, é assumida uma carga trifásica desequilibrada que apresenta os seguintes dados:

- Nome: como são definidas três cargas independentes, sugere-se um nome que relacione cada carga à respectiva fase (fases) à qual ela se conecta.
  - *Carga*A, para conexão em estrela, e *Carga*AB, para conexão em triângulo.
  - *Carga*B, para conexão em estrela, e *Carga*BC, para conexão em triângulo.
  - *Carga*C, para conexão em estrela, e *Carga*CA, para conexão em triângulo.
- Tensão Nominal:
  - Cargas Conectadas entre Fase e Neutro: $|\dot{V}_n| = \frac{13.8}{\sqrt{3}} = 7.967\ k\mathrm{V}$
  - Cargas Conectadas entre Fases (Bifásica): $|\dot{V}_n| = 13.8\ k\mathrm{V}$

Estudo de Caso: Cargas Trifásicas Desequilibradas

- **Potência Ativa Nominal de cada Carga que pode estar conectada entre fase e neutro (conexão em estrela) ou entre fases (conexão em triângulo):**
  - P_A **ou** P_{AB} = **1000** $\boldsymbol{kW}$
  - P_B **ou** P_{BC} = **1200** $\boldsymbol{kW}$
  - P_C **ou** P_{CA} = **1400** $\boldsymbol{kW}$
- **Fator de Potência Nominal em cada Carga:**
  - $\boldsymbol{cos\varphi_A}$ **ou** $\boldsymbol{cos\varphi_{AB}}$ = **0.92**
  - $\boldsymbol{cos\varphi_B}$ **ou** $\boldsymbol{cos\varphi_{BC}}$ = **0.95**
  - $\boldsymbol{cos\varphi_C}$ **ou** $\boldsymbol{cos\varphi_{CA}}$ = **0.89**
- **Modelo de cada Carga:**
  - **Carga A ou AB: Potência Constante (modelo 1)**
  - **Carga B ou BC: Impedância Constante (modelo 2)**
  - **Carga C ou CA: Corrente Constante (modelo 5)**
- **Conectado na Barra: A**
- **Tipo de Conexão: Definido nos próximos itens.**

Carga Trifásica Desequilibrada Conectada em Estrela Aterrada

O código é apresentado a seguir:

```
Clear

New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.CargaA phases=1 bus1=A.1 kv=7.967 kw=1000 pf=0.92 model=1
New Load.CargaB phases=1 bus1=A.2 kv=7.967 kw=1200 pf=0.95 model=2
New Load.CargaC phases=1 bus1=A.3 kv=7.967 kw=1400 pf=0.89 model=5

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

Carga Trifásica Desequilibrada Conectada em Estrela Isolada

O código é apresentado a seguir:

```
Clear
New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]
New Load.CargaA phases=1 bus1=A.1.4 kv=7.967 kw=1000 pf=0.92 model=1
New Load.CargaB phases=1 bus1=A.2.4 kv=7.967 kw=1200 pf=0.95 model=2
New Load.CargaC phases=1 bus1=A.3.4 kv=7.967 kw=1400 pf=0.89 model=5
Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases
Solve
```

Caso deseje definir uma carga trifásica desequilibrada conectada em estrela aterrada por impedância é necessário incluir um elemento Reactor entre os nós 4 e 0.

Carga Trifásica Desequilibrada Conectada em Triângulo

O código é apresentado a seguir:

```
Clear
New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.CargaA phases=1 bus1=A.1.2 kv=13.8 kw=1000 pf=0.92 model=1
New Load.CargaB phases=1 bus1=A.2.3 kv=13.8 kw=1200 pf=0.95 model=2
New Load.CargaC phases=1 bus1=A.3.1 kv=13.8 kw=1400 pf=0.89 model=5

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

Estudo de Caso: Cargas Representada pelo Modelo ZIP

A título de exemplo, a seguinte carga monofásica é representada pelo modelo ZIP.

- Nome: *Carga*ZIP
- Tensão Nominal:
  - Cargas Conectadas entre Fase e Neutro: $|\dot{V}_n| = \frac{13.8}{\sqrt{3}} = 7.967\ kV$
- Potência Ativa Nominal: $P_n = 1000\ kW$
- Fator de Potência: $cos\varphi = 0.92$
- Coeficientes do Modelo de Impedância Constante:: K_{Za}=0.50 e K_{Zr}=0.40
- Coeficientes do Modelo de Corrente Constante:: K_{Ia}=0.20 e K_{Ir}=0.25
- Coeficientes do Modelo de Potência Constante:: K_{Pa}=0.30 e K_{Pr}=0.35
- Conectado na Barra: A

Carga Representada pelo Modelo ZIP

O código é apresentado a seguir:

```
Clear
New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New Load.CargaZIP phases=1 bus1=A.1 kv=7.967 kw=1000 pf=0.92 model=8
ZIPV=[0.5 0.2 0.3 0.4 0.25 0.35 0.0]

Set voltagebases =[13.8]
Calcvoltagebases

Solve
```

O parâmetro *ZIPV* armazenas os seis coeficientes na seguinte ordem:

$$[K_{Za}, K_{Ia}, K_{Pa}, K_{Zr}, K_{Ir}, K_{Pr}, v_{cut-off}]$$