Filipe Salles de Oliveira, RA149175 - IT603A 2S2019 – Cálculo de curto-circuito

RelatóriO de Programa

Sumário

[1. Descrição do programa 2](#_Toc24314299)

[1.1. Plataforma de programação 2](#_Toc24314300)

[1.2. Saída de dados 2](#_Toc24314301)

[1.3. Dados de entrada 2](#_Toc24314302)

[1.4. Descrição do algoritmo adotado 4](#_Toc24314303)

[2. Resultados de saída 8](#_Toc24314304)

[2.1. Comparação com exercício 1 prova 1, sistema de 4 barras e 6 ramos 8](#_Toc24314305)

[2.2. Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 13 ramos 9](#_Toc24314306)

[2.3. Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 12 ramos 10](#_Toc24314307)

[2.4. Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.1, sistema radial de 4 barras e 5 ramos 11](#_Toc24314308)

[2.5. Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.2, sistema anel de 5 barras e 8 ramos 12](#_Toc24314309)

[2.6. Comparação com exercício 14 da lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 12 ramos 15](#_Toc24314310)

[2.7. Comparação com exercício 30 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 15 ramos 16](#_Toc24314311)

[2.8. Comparação com sistema exemplo IEEE 13 barras 18](#_Toc24314312)

[3. Conclusão 23](#_Toc24314313)

[4. Dados de entrada 24](#_Toc24314314)

[4.1. Comparação com exercício 1 prova 1, sistema de 4 barras e 6 ramos 24](#_Toc24314315)

[4.2. Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 13 ramos 24](#_Toc24314316)

[4.3. Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 12 ramos 25](#_Toc24314317)

[4.4. Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.1, sistema radial de 4 barras e 5 ramos 25](#_Toc24314318)

[4.5. Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.2, sistema anel de 5 barras e 8 ramos 25](#_Toc24314319)

[4.6. Comparação com exercício 14 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 12 ramos 26](#_Toc24314320)

[4.7. Comparação com exercício 30 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 15 ramos 26](#_Toc24314321)

[4.8. Comparação com sistema exemplo IEEE 13 barras 27](#_Toc24314322)

[5. Referências 28](#_Toc24314323)

## Descrição do programa

### Plataforma de programação

A plataforma de programação MATLAB versão R2015a foi utilizada para o desenvolvimento deste programa.

### Saída de dados

O programa “CC\_REV8.m”, após ser executado na interface do MATLAB, irá avaliar a topologia informada através dos dados de entrada, então retornará ao usuário informações sobre curto-circuito dos tipos monofásico, bifásico (fase-fase) e trifásico.

No console do MATLAB será possível visualizar as seguintes informações por tipo de curto-circuito:

* Corrente de curto-circuito na barra indicada em curto-circuito em kA
* Tensão de fase em todas barras da topologia informada em kV
* Fluxo de corrente entre ramos da topologia informada em kA

As mesmas informações visualizadas no formato de tabela no console do MATLAB serão exportadas para pasta raiz do programa nos arquivos “analise3f.csv”, “analise2f.csv” e “analise1f.csv” com os resultados dos tipos de curto-circuito trifásico, bifásico (fase-fase) e monofásico respectivamente.

### Dados de entrada

A topologia da rede a ser analisada pelo programa deve ser organizada em um arquivo de entrada no formato de texto separado por vírgulas (extensão “.csv”). Cada ramo da topologia será representado por uma linha do arquivo de texto que deve ter os seguintes parâmetros separados por vírgula:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| p | q | z+ | z0 | L | Vpb | Vqb | Sb\_equip | Vp\_equip | Vq\_equip | tipo\_seq0 |

Onde:

* p: barra origem do ramo em número [inteiro]
* q: barra destino do ramo em número [inteiro]
* z+: impedância de sequência positiva em [] ou [pu] entre o ramo pq
* z+: impedância de sequência zero em [] ou [pu] entre o ramo pq
* L: comprimento entre o ramo pq em [m, ft, mile, etc]
* Vpb: tensão de base da barra p em [kV]
* Vqb: tensão de base da barra q em [kV]
* Sb\_equip: potência aparente base do equipamento entre o ramo pq em [MVA]
* Vp\_equip: tensão de base do equipamento referida a barra p em [kV]
* Vq\_equip: tensão de base do equipamento referida a barra q em [kV]
* tipo\_seq0: tipo de conexão de sequência zero entre o ramo pq em número [inteiro]

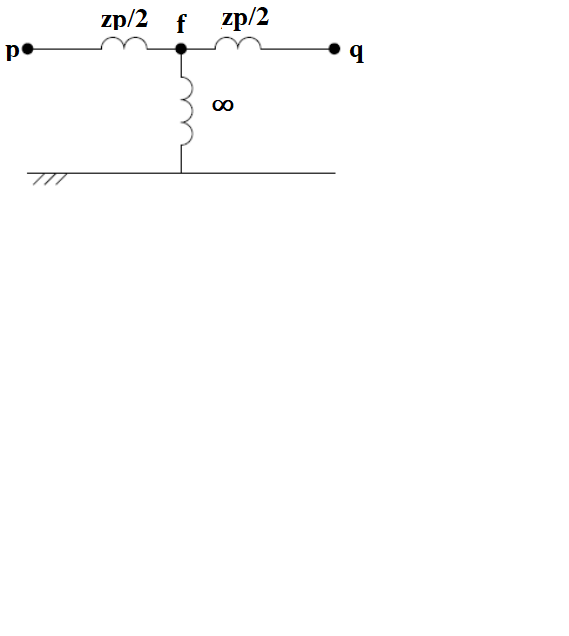
Todos os parâmetros de entrada devem estar preenchidos, caso algum parâmetro seja inexistente para o ramo expresso o valor atribuído deverá ser zero.

O ramo formado entre elementos shunt e uma barra da topologia deve ter como origem (p ou q) a barra de número zero, a referência, no arquivo de entrada.

O parâmetro tipo\_seq0 determina como o programa irá interpretar a topologia do ramo relacionado dada sua conexão. Para diferentes tipos de conexão de enrolamentos entre p e q existem diferentes formas de modelar a topologia de sequência zero do ramo, portanto para flexibilizar o modelo interpretado pelo programa é necessário a adição de uma barra fictícia f entre as barras p e q. Em resumo, o parâmetro tipo\_seq0 é interpretado pelo programa como uma ordem para substituição do ramo atual avaliado por 3 novos ramos que ligam p e f, f e a referência e f à barra q. A tabela abaixo apresenta os valores válidos para tipo\_seq0 por conexão e sua interpretação pelo programa.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Conexão | Topologia de sequência zero | tipo\_seq0 | Topologia de sequência zero interpretada |
| \*Núcleo envolvente |  | 1 |  |
| \*Núcleo envolvente |  | 2 |  |
| \*Núcleo envolvente |  | 3 |  |
| \*Núcleo envolvido ou envolvente |  | 4 |  |
| \*Núcleo envolvido |  | 5 |  |
| \*Núcleo envolvido |  | 6 |  |
| \*Núcleo envolvido |  | 7 |  |

Caso o valor de tipo\_seq0 seja diferente de zero os ramos adicionais na topologia de sequência positiva serão interpretados como na figura abaixo, ou seja, como se não houvesse barra fictícia.



Na interface do MATLAB, após carregado o programa de análise de curto-circuito, o usuário deverá entrar manualmente com os seguintes parâmetros:

* barra\_cc: barra em que ocorrerá o curto-circuito na topologia informada em número [inteiro]
* Sb: potência base do sistema em [MVA]
* rf: resistência de falta em [pu]

### Descrição do algoritmo adotado

O programa de análise de curto-circuito aqui descrito segue os seguintes passos:

#### Leitura dos dados de entrada.

rf=0; %RESISTÊNCIA DE FALTA [pu]

Sb=100; %DEFINIR POTENCIA DE BASE DO SISTEMA [MVA]

barra\_cc=7; %NOME DA BARRA COMO NO ARQUIVO DE ENTRADA

entrada=csvread('./8bar\_ex30\_OK.txt'); %ex 30 lista p1 cc barra 7

#### Organização dos dados para que o programa não dependa do nome das barras informadas na entrada para a posição de barras na matriz de impedâncias.

barraNome=unique(entrada(:,[1 2])); %esta ordenado menor para o maior devido função unique

barraNum=0:1:length(barraNome)-1; %barra 0 é sempre o primeiro elemento do vetor

V\_barra\_base=[entrada(:,1) entrada(:,6);entrada(:,2) entrada(:,7)]; %tensão de base por barra

barraNum\_sem\_barras\_ficticias=barraNum; %usado para calculo de tensão nas barras

entrada(:,[1 2])=sort(entrada(:,[1 2]),2); %ordenar dados de linha para que p<q

entrada=sortrows(entrada,1); %ordenar dados da barra(:,1) do menor para o maior

entrada\_sem\_ramos\_ficticios=entrada; %usado para calculo de corrente nos ramos

for i=1:1:length(entrada(:,1))

entrada(i,1)=barraNum(find(barraNome==entrada(i,1))); %mapear nome barra p ao numero

entrada(i,2)=barraNum(find(barraNome==entrada(i,2))); %mapear nome barra q ao numero

end

#### Conversão dos parâmetros z+ e z0 para pu e adição de ramos extras a depender do parâmetro tipo\_seq0, descrito na seção “Dados de entrada”.

for m=1:1:size(entrada,1) %tratamento de topologia seq pos e zero

X=entrada(m,:); %para facilitar leitura das variaveis

[p,q,zp,z0,L,Vpb,Vqb,Sequip,Vp\_equip,Vq\_equip,t\_z0]=deal(X(1),X(2),X(3),X(4),X(5),X(6),X(7),X(8),X(9),X(10),X(11));

if(L>0) %LT

zp=zp\*L\*(Sb/Vpb^2);

z0=z0\*L\*(Sb/Vpb^2);

entrada\_aux=[entrada\_aux;[p q zp z0 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]];

elseif(Sequip>0) %TR e UGs

if(Vp\_equip==0) %evitar casos ramo p ou q é ref para geradores

zp=zp\*((Vq\_equip^2)/Sequip)\*(Sb/Vqb^2);

z0=zp;

else

zp=zp\*((Vp\_equip^2)/Sequip)\*(Sb/Vpb^2);

z0=zp;

end

if(t\_z0==0) %gerador

entrada\_aux=[entrada\_aux;[p ficticia zp/2 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão geradores

elseif(t\_z0==1) %trafo seq zero conexão p-ficticia-0 |q

barraNum=[barraNum max(barraNum)+1];

ficticia=barraNum(end);

entrada\_aux=[entrada\_aux;[p ficticia zp/2 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão p-ficticia

entrada\_aux=[entrada\_aux;[0 ficticia 9999 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão ficticia-0

entrada\_aux=[entrada\_aux;[ficticia q zp/2 9999 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão ficticia-q

elseif(t\_z0==2) %trafo seq zero conexão p| 0-ficticia-q

barraNum=[barraNum max(barraNum)+1];

ficticia=barraNum(end);

entrada\_aux=[entrada\_aux;[p ficticia zp/2 9999 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão p-ficticia

entrada\_aux=[entrada\_aux;[0 ficticia 9999 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão ficticia-0

entrada\_aux=[entrada\_aux;[ficticia q zp/2 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão ficticia-q

elseif(t\_z0==3) %trafo seq zero conexão p-ficticia-q e ficticia-0

barraNum=[barraNum max(barraNum)+1];

ficticia=barraNum(end);

entrada\_aux=[entrada\_aux;[p ficticia zp/2 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão p-ficticia

entrada\_aux=[entrada\_aux;[0 ficticia 9999 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão ficticia-0

entrada\_aux=[entrada\_aux;[ficticia q zp/2 z0/2 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]]; %conexão ficticia-q

end

else %equivalente de sistemam em pu

entrada\_aux=[entrada\_aux;[p q zp z0 L Vpb Vqb Sb Vp\_equip Vq\_equip t\_z0]];

end

end

#### Construção da matriz de impedâncias de sequência positiva e negativa. Abaixo é reproduzido o código para construção da matriz de impedância de sequência positiva que é o mesmo utilizado para sequência zero.

for m=1:1:size(entrada,1)

p=entrada(m,1);

q=entrada(m,2);

z\_pos\_lt=entrada(m,3);

if(p==0) %conexão com barra ref

if(z\_pos\_barra(q,q)==0) %barra é uma nova conexão

z\_pos\_barra(q,q)=z\_pos\_lt;

else

z\_pos\_barra=z\_pos\_barra-(1/(z\_pos\_barra(q,q)+z\_pos\_lt))\*z\_pos\_barra(:,q)\*z\_pos\_barra(q,:);

end

else

if(z\_pos\_barra(q,q)==0) %barra q é uma nova conexão

z\_pos\_barra(:,q)=z\_pos\_barra(:,p);

z\_pos\_barra(q,:)=z\_pos\_barra(p,:);

z\_pos\_barra(q,q)=z\_pos\_barra(p,p)+z\_pos\_lt;

elseif(z\_pos\_barra(p,p)==0) %barra p é uma nova conexão

z\_pos\_barra(:,p)=z\_pos\_barra(:,q);

z\_pos\_barra(p,:)=z\_pos\_barra(q,:);

z\_pos\_barra(p,p)=z\_pos\_barra(q,q)+z\_pos\_lt;

else

z\_pos\_barra=z\_pos\_barra-(1/(z\_pos\_barra(q,q)+z\_pos\_barra(p,p)-(2\*z\_pos\_barra(p,q))+z\_pos\_lt))\*(z\_pos\_barra(:,p)-z\_pos\_barra(:,q))\*(z\_pos\_barra(p,:)-z\_pos\_barra(q,:));

end

end

end

#### Cálculo de curto-circuito do tipo trifásico, bifásico e monofásico com saída de dados na console do MATLAB e arquivo de texto. Abaixo é reproduzido o código com cálculos referente ao tipo de curto circuito trifásico. A mesma lógica é utilizada para o cálculo dos demais tipos de curto-circuito, modificado apenas pela formulação como descrito em [1].

%Cálculo corrente de curto-circuito

[row,~]=find(V\_barra\_base(:,1)==barra\_cc);

Vbase=V\_barra\_base(row(1),2);

Ibase=Sb/(Vbase\*sqrt(3));

Icc3f=Ibase/z\_pos\_barra(barra\_cc,barra\_cc);

Icc3f\_abs=abs(Icc3f);

Icc3f\_angle=radtodeg(angle(Icc3f));

%Cálculo tensão nas barras

V3f=zeros(1,total\_barras\_sem\_ficticias);

for i=1:1:total\_barras\_sem\_ficticias %quantidade de barras menos a referencia e barras ficticias

[row,~]=find(V\_barra\_base(:,1)==i);

Vbase=V\_barra\_base(row(1),2)/sqrt(3);

V3f(i)=Vbase\*(1-z\_pos\_barra(i,barra\_cc)/z\_pos\_barra(barra\_cc,barra\_cc));

V3f\_abs(i)=abs(V3f(i));

V3f\_angle(i)=radtodeg(angle(V3f(i)));

end

%Cálculo fluxo de corrente nos ramos

Ipq3f=zeros(1,size(entrada\_sem\_ramos\_ficticios,1));

for m=1:1:size(entrada\_sem\_ramos\_ficticios,1)

X=entrada\_sem\_ramos\_ficticios(m,:); %para facilitar leitura das variaveis

[p,q,zp,z0,L,Vpb,Vqb,Sequip,Vp\_equip,Vq\_equip,t\_z0]=deal(X(1),X(2),X(3),X(4),X(5),X(6),X(7),X(8),X(9),X(10),X(11));

if(L>0) %LT

zp=zp\*L\*(Sb/Vpb^2);

elseif(Sequip>0) %TR e UGs

if(Vp\_equip==0) %evitar casos ramo p ou q é ref para geradores

zp=zp\*((Vq\_equip^2)/Sequip)\*(Sb/Vqb^2);

else

zp=zp\*((Vp\_equip^2)/Sequip)\*(Sb/Vpb^2);

end

end

if(p==0)

Ibase=Sb/(Vqb\*sqrt(3)); %sempre considerando corrente do ramo p ao ramo q

Ipq3f(m)=Ibase\*z\_pos\_barra(q,barra\_cc)/(z\_pos\_barra(barra\_cc,barra\_cc)\*zp);

Ipq3f\_abs(m)=abs(Ipq3f(m));

Ipq3f\_angle(m)=radtodeg(angle(Ipq3f(m)));

else

Ibase=Sb/(Vpb\*sqrt(3)); %sempre considerando corrente do ramo p ao ramo q

Ipq3f(m)=Ibase\*(z\_pos\_barra(q,barra\_cc)-z\_pos\_barra(p,barra\_cc))/(z\_pos\_barra(barra\_cc,barra\_cc)\*zp);

Ipq3f\_abs(m)=abs(Ipq3f(m));

Ipq3f\_angle(m)=radtodeg(angle(Ipq3f(m)));

end

end

for i=1:1:length(entrada\_sem\_ramos\_ficticios(:,1))

entrada\_sem\_ramos\_ficticios(i,1)=barraNome(find(barraNum==entrada\_sem\_ramos\_ficticios(i,1))); %mapear numero barra p ao nome

entrada\_sem\_ramos\_ficticios(i,2)=barraNome(find(barraNum==entrada\_sem\_ramos\_ficticios(i,2))); %mapear numero barra q ao nome

end

TI3F=array2table([barraNome(find(barraNum==barra\_cc)) Icc3f\_abs Icc3f\_angle], 'VariableNames',{'Barra', 'I\_cc\_kA', 'deg'});

disp(TI3F)

TV3F=array2table([barraNome(2:end) V3f\_abs.' V3f\_angle.'], 'VariableNames',{'Barra', 'Vfase\_kV', 'deg'});

disp(TV3F)

TIPQ3F=array2table([entrada\_sem\_ramos\_ficticios(:,[1 2]) Ipq3f\_abs.' Ipq3f\_angle.'], 'VariableNames',{'p', 'q', 'I\_kA', 'deg'});

disp(TIPQ3F)

writetable(TI3F,'I\_cc\_3F.txt','Delimiter',' ');

writetable(TV3F,'V\_cc\_3F.txt','Delimiter',' ');

writetable(TIPQ3F,'Ipq\_cc\_3F.txt','Delimiter',' ');

## Resultados de saída

Os dados de entrada utilizados estão disponíveis na seção 4.

Os resultados de saída, após execução do programa no MATLAB, são salvos no mesmo diretório do programa com os nomes: “I\_cc\_3F.txt”, “V\_cc\_3F.txt”, “Ipq\_cc\_3F.txt”, “I\_cc\_2F.txt”, “V\_cc\_2F.txt”, “Ipq\_cc\_2F.txt”, “I\_cc\_1F.txt”, “V\_cc\_1F.txt”, “Ipq\_cc\_1F.txt”. Onde o sufixo indica o tipo de curto circuito, se trifásico, bifásico ou monofásico (3F, 2F e 1F respectivamente) e o prefixo indica a informação armazenada, se corrente de curto circuito, tensão nas barras e fluxo de corrente entre ramos (I, V, Ipq).

### Comparação com exercício 1 prova 1, sistema de 4 barras e 6 ramos

#### Construção da matriz de impedâncias

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

### Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 13 ramos

#### Construção da matriz de impedâncias

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

### Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 12 ramos

#### Curto-circuito trifásico

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
| \*resultado em pu, considerar Vbase do sistema de 138kV e Sbase de 100MVA |

### Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.1, sistema radial de 4 barras e 5 ramos

#### Curto-circuito trifásico

|  |  |
| --- | --- |
| Resultado programa | Resultado referência |
|  |  |

#### Curto-circuito bifásico

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

### Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.2, sistema anel de 5 barras e 8 ramos

#### Curto-circuito trifásico

|  |  |
| --- | --- |
| Resultado programa | Resultado referência |
|  |  |

#### Curto-circuito bifásico

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

### Comparação com exercício 14 da lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 12 ramos

#### Curto-circuito trifásico

|  |  |
| --- | --- |
| Resultado programa | Resultado referência |
|  | \*atentar que o resultado do fluxo de corrente depende da referência do ramo |

### Comparação com exercício 30 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 15 ramos

#### Curto-circuito trifásico

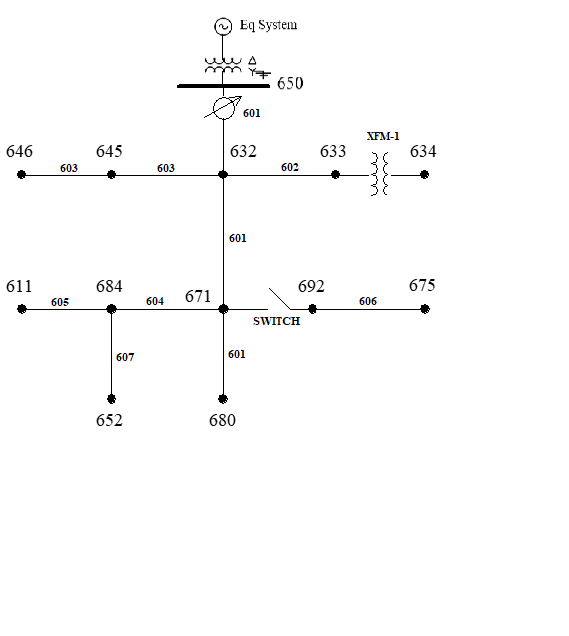
|  |  |
| --- | --- |
| Resultado programa | Resultado referência |
|  | \*resultado em pu, considerar Vbase do sistema de 500kV |

#### Curto-circuito monofásico

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
| \*resultado em pu, considerar Vbase do sistema de 500kV |

### Comparação com sistema exemplo IEEE 13 barras

O sistema exemplo IEEE 13 barras é dado pela topologia apresentada na figura abaixo. A resolução do problema pelo programa aqui apresentado seria trivial se não fosse pelos seus ramos apresentarem impedância mútua entre as fases desequilibradas, o que resulta em impedâncias de sequência não desacopladas. Além deste problema, parte dos ramos da topologia é bifásica ou monofásica, o que impede sua correta resolução pelo algoritmo descrito na seção 1.4.

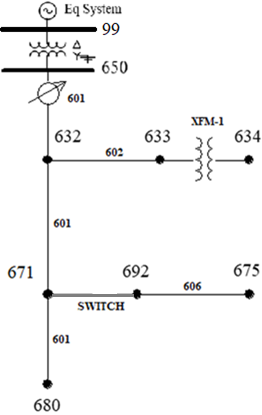


Portanto, para adaptar o problema a resolução solicitada foram adotadas as seguintes hipóteses simplificadoras:

* Ramos bifásicos e monofásicos são considerados como circuito aberto.
* Impedâncias de sequências são consideradas perfeitamente desacopladas, logo são considerados iguais os valores de impedância mútua entre fases.
* O programa não consegue interpretar equivalentes de sistema conectados diretamente a transformadores sem antes passar por uma barra, portanto foi adicionado uma barra fictícia (99) manualmente através dos dados de entrada.
* A seccionadora “SWITCH” foi considerada fechada entre os ramos 671-692, devido os resultados de referência apresentarem valores de corrente de curto-circuito diferentes de zero para barras 692 e 657, o que seria impossível com a seccionadora aberta.

As informações sobre parâmetros de conexão entre as barras foram obtidas de [2] e os resultados de referência para comparação foram obtidos de [3, 4].

As simplificações resultam na seguinte topologia:



#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 650

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 632

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 633

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 634

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 671

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 680

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 692

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

#### Curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico na barra 675

|  |
| --- |
| Resultado programa |
|  |
| Resultado referência |
|  |

Comparando os resultados do programa com a referência observa-se que o desvio dos resultados se acentua quanto mais afastado o curto-circuito da fonte, devido as hipóteses simplificadoras adotadas. Portanto, na barra 650 é esperado o menor desvio e na barra 672 o maior desvio dentre os três tipos de curto-circuito em relação a referência.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Programa Icc [A] | Referência Icc [A] | Desvio máx. |
| Barra 650 | C.C. 1 | 8303 | 8479 | -3,05% |
| C.C. 2 | 7066 | 7289 |
| C.C. 3 | 8159 | 8416 |
| Barra 675 | C.C. 1 | 2051 | 2074 | -5,36% |
| C.C. 2 | 2552 | 2450 |
| C.C. 3 | 2947 | 3114 |

## Conclusão

Analisando os resultados apresentados na seção 2 observa-se que o programa funciona corretamente para o que foi proposto: análise de curto-circuito em topologias de ramos trifásicos e em que as impedâncias de sequência são perfeitamente desacopladas, ou seja, possuem impedâncias mútuas entre fases iguais para cada ramo. Para os demais casos é necessário adotar hipóteses simplificadoras para se obter qualquer solução. As hipóteses simplificadoras adotadas na solução do problema teste IEEE 13 barras, na seção 2.8, se apresentaram como adequadas para abordagem do problema de topologias desequilibradas e acopladas, a considerar uma margem de erro de um digito. Portanto, concluo como satisfatório o programa elaborado.

## Dados de entrada

Para utilizar basta salvar os valores separados por vírgula em um arquivo de texto. Em todos os exemplos foi utilizado os parâmetros Sb e rf iguais a 100 e zero respectivamente.

### Comparação com exercício 1 prova 1, sistema de 4 barras e 6 ramos

0,1,0.3333j,0,0,0,13.8,0,0,0,0

0,2,0.02j,0,0,0,138,0,0,0,0

1,3,0.1429j,0,0,13.8,138,0,0,0,0

3,4,0.0315j,0,0,138,138,0,0,0,0

3,2,0.0525j,0,0,138,138,0,0,0,0

4,2,0.0315j,0,0,138,138,0,0,0,0

### Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 13 ramos

0,1,0.01j,0,0,0,138,0,0,0,0

0,2,0.015j,0,0,0,138,0,0,0,0

0,3,0.005j,0,0,0,138,0,0,0,0

1,6,0.12j,0,0,138,138,0,0,0,0

1,2,0.08j,0,0,138,138,0,0,0,0

2,4,0.08j,0,0,138,138,0,0,0,0

2,3,0.12j,0,0,138,138,0,0,0,0

3,5,0.04j,0,0,138,138,0,0,0,0

4,6,0.14j,0,0,138,138,0,0,0,0

4,7,0.08j,0,0,138,138,0,0,0,0

5,8,0.04j,0,0,138,138,0,0,0,0

6,7,0.17j,0,0,138,138,0,0,0,0

7,8,0.14j,0,0,138,138,0,0,0,0

### Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 12 ramos

0,1,0.01j,0,0,0,138,0,0,0,0

0,2,0.015j,0,0,0,138,0,0,0,0

0,3,0.005j,0,0,0,138,0,0,0,0

1,6,0.12j,0,0,138,138,0,0,0,0

1,2,0.08j,0,0,138,138,0,0,0,0

2,4,0.08j,0,0,138,138,0,0,0,0

2,3,0.12j,0,0,138,138,0,0,0,0

3,5,0.04j,0,0,138,138,0,0,0,0

4,7,0.08j,0,0,138,138,0,0,0,0

5,8,0.04j,0,0,138,138,0,0,0,0

6,7,0.17j,0,0,138,138,0,0,0,0

7,8,0.14j,0,0,138,138,0,0,0,0

### Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.1, sistema radial de 4 barras e 5 ramos

0,1,0.0036+0.0204j,0.0055+0.0309j,0,0,138

1,2,0.1902+0.4808j,0.4414+1.7452j,10,138,138

2,3,0.0868j,0.0868j,0,138,11.95,15,138,11.95,2

3,4,0.1903+0.3922j,0.4359+1.8540j,0.8,11.95,11.95

4,5,0.05j,0.05j,0,11.95,0.22,0.5,11.95,0.22,2

### Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.2, sistema anel de 5 barras e 8 ramos

0,1,0.0227j,0.0077j,0,500,500,0,0,0,0

0,3,0.0416j,0.0105j,0,500,500,0,0,0,0

1,2,0.0247j,0.1063j,0,500,500,0,0,0,0

2,4,0.0247j,0.1063j,0,500,500,0,0,0,0

2,3,0.0268j,0.1148j,0,500,500,0,0,0,0

1,4,0.0242j,0.1040j,0,500,500,0,0,0,0

5,4,0.0306j,0.1304j,0,500,500,0,0,0,0

5,3,0.0273j,0.1170j,0,500,500,0,0,0,0

### Comparação com exercício 14 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 12 ramos

0,1,0.01j,0,0,138,138,0,0,0,0

0,2,0.015j,0,0,138,138,0,0,0,0

1,2,0.084j,0,0,138,138,0,0,0,0

0,3,0.005j,0,0,138,138,0,0,0,0

2,3,0.122j,0,0,138,138,0,0,0,0

2,4,0.084j,0,0,138,138,0,0,0,0

3,5,0.037j,0,0,138,138,0,0,0,0

1,6,0.126j,0,0,138,138,0,0,0,0

6,7,0.168j,0,0,138,138,0,0,0,0

4,7,0.084j,0,0,138,138,0,0,0,0

5,8,0.037j,0,0,138,138,0,0,0,0

7,8,0.140j,0,0,138,138,0,0,0,0

### Comparação com exercício 30 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 15 ramos

0,1,0+0.0529j,0+0.1305j,0,0,138,0,0,0,0

0,6,0.0103+0.0584j,0.0144+0.0815j,0,0,138,0,0,0,0

1,2,0.0371+0.0988j,0.1007+0.3521j,0,138,138,0,0,0,0

0,3,0.0202+0.2306j,0.0443+0.2513j,0,0,138,0,0,0,0

2,3,0.0373+0.0944j,0.0981+0.3387j,0,138,138,0,0,0,0

2,4,0.0221+0.0585j,0.0603+0.2085j,0,138,138,0,0,0,0

4,7,0.0193+0.0511j,0.0525+0.1818j,0,138,138,0,0,0,0

3,5,0.0203+0.0539j,0.0554+0.1917j,0,138,138,0,0,0,0

1,6,0.0414+0.1096j,0.1128+0.3903j,0,138,138,0,0,0,0

6,7,0.0305+0.0772j,0.0802+0.2769j,0,138,138,0,0,0,0

5,8,0.0073+0.0191j,0.0191+0.0661j,0,138,138,0,0,0,0

7,8,0.0408+0.0921j,0.0948+0.3301j,0,138,138,0,0,0,0

0,5,0.0063+0.0347j,0.0184+0.0965j,0,0,138,0,0,0,0

2,6,0.0477+0.1104j,0.1136+0.3930j,0,138,138,0,0,0,0

5,7,0.0458+0.104j,0.1085+0.3752j,0,138,138,0,0,0,0

### Comparação com sistema exemplo IEEE 13 barras

0,99,0.0113+0.0877j,0.0362+0.1595j,0,115,115,0,0,0,0

99,650,0.01+0.08j,0.01+0.08j,0,115,4.16,5,115,4.16,2

650,632,0.1860+0.5968j,0.6535+1.9070j,0.378788,4.16,4.16,0,0,0,0

632,633,0.5921+0.7602j,1.0596+2.0704j,0.094697,4.16,4.16,0,0,0,0

633,634,0.011+0.02j,0.011+0.02j,0,4.16,0.48,0.5,4.16,0.48,3

632,671,0.1860+0.5968j,0.6535+1.9070j,0.378788,4.16,4.16,0,0,0,0

671,680,0.1860+0.5968j,0.6535+1.9070j,0.189394,4.16,4.16,0,0,0,0

671,692,0,0,0,4.16,4.16,0,0,0,0

692,675,0.4874+0.4151j,1.4107+0.4664j,0.094697,4.16,4.16,0,0,0,0

## Referências

[1] Sato, Fujio; Freitas, Walmir; Análise de Curto-circuito e Princípios de Proteção em Sistemas de Energia Elétrica – Fundamentos e Prática, Elsevier/Campus, 2015

[2] http://site.ieee.org/pes-testfeeders/files/2017/08/feeder13.zip, acessado em 10/11/19

[3] Short Circuit Analysis of IEEE Test Feeder, W. H. Kersting, Life Fellow, IEEE, Greg Shirek, Senior Member, IEEE Milsoft Utility Solutions

[4] http://site.ieee.org/pes-testfeeders/files/2017/08/Short-Circuit-Test-Case.zip, acessado em 10/11/19