

RELATÓRIO DE PROGRAMA

Sumário

1.	Descrição do programa.....	2
1.1.	Plataforma de programação.....	2
1.2.	Saída de dados.....	2
1.3.	Dados de entrada	2
1.4.	Descrição do algoritmo adotado	4
2.	Resultados de saída	8
2.1.	Comparação com exercício 1 prova 1, sistema de 4 barras e 6 ramos	8
2.2.	Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 13 ramos	9
2.3.	Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 12 ramos	10
2.4.	Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.1, sistema radial de 4 barras e 5 ramos	11
2.5.	Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.2, sistema anel de 5 barras e 8 ramos	12
2.6.	Comparação com exercício 14 da lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 12 ramos	15
2.7.	Comparação com exercício 30 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 15 ramos	16
2.8.	Comparação com sistema exemplo IEEE 13 barras	18
3.	Conclusão.....	23
4.	Dados de entrada	24
4.1.	Comparação com exercício 1 prova 1, sistema de 4 barras e 6 ramos	24
4.2.	Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 13 ramos	24
4.3.	Comparação com exercício 2 prova 1, sistema de 8 barras e 12 ramos	25
4.4.	Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.1, sistema radial de 4 barras e 5 ramos	25
4.5.	Comparação com exemplo livro [1] capítulo 6 seção 6.2, sistema anel de 5 barras e 8 ramos	25
4.6.	Comparação com exercício 14 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 12 ramos	26
4.7.	Comparação com exercício 30 lista de exercício, sistema anel de 8 barras e 15 ramos	26
4.8.	Comparação com sistema exemplo IEEE 13 barras	27
5.	Referências	28

1. Descrição do programa

1.1. Plataforma de programação

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

1.2. 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.

1.3. 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
---	---	----	----	---	-----	-----	----------	----------	----------	-----------


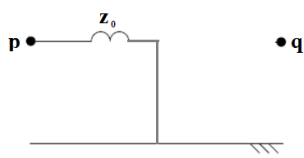
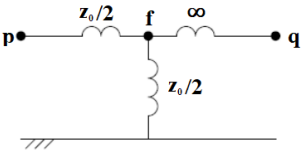

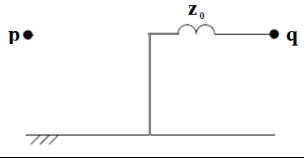
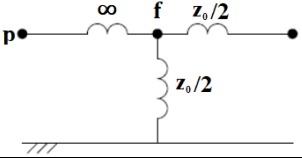

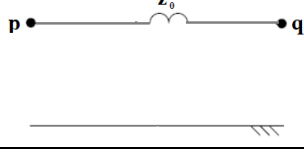
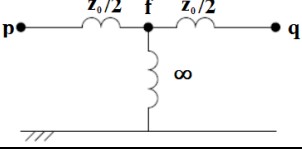


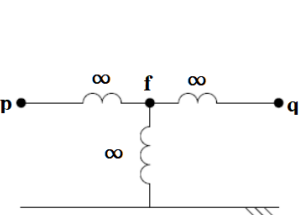

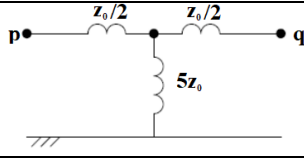
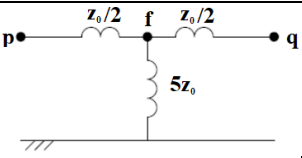

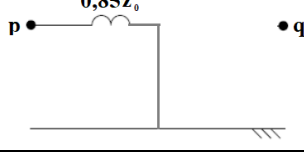
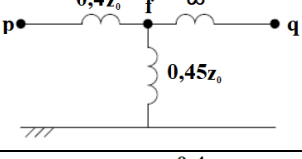

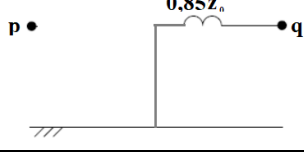
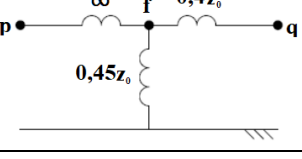
Onde:

- p: barra origem do ramo em número [inteiro]
- q: barra destino do ramo em número [inteiro]
- z+: impedância de sequência positiva em $[\Omega/L]$ ou [pu] entre o ramo pq
- z0: impedância de sequência zero em $[\Omega/L]$ 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]

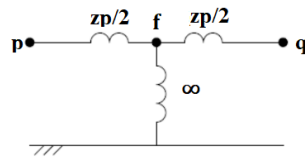
Todos os parâmetros de entrada devem estar preenchidos, caso algum parâmetro seja inexistente para o ramo expresso o valor atribuído deverá ser zero.

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]

1.4. 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 z^0 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
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',' ');

```

2. 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).

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

- Construção da matriz de impedâncias

Resultado programa				
<pre>>> imag(z_pos_barra)*100</pre>				
<pre>ans =</pre>				
12.1636	1.2701	3.0887	2.1794	
1.2701	1.9238	1.8147	1.8692	
3.0887	1.8147	4.4129	3.1138	
2.1794	1.8692	3.1138	4.0665	
Resultado referência				
j12,16%	j1,27%	j3,09%	j2,18%	
j1,27%	j1,92%	j1,81%	j1,87%	
j3,09%	j1,81%	j4,41%	j3,11%	
j2,18%	j1,87%	j3,11%	j4,06%	

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

- Construção da matriz de impedâncias

Resultado programa							
>> imag(z_pos_barra)*100							
ans =							
0.8785	0.1465	0.0119	0.2852	0.0626	0.5182	0.2908	0.1134
0.1465	1.1154	0.0550	0.7400	0.1413	0.4505	0.5299	0.2277
0.0119	0.0550	0.4757	0.1107	0.4216	0.0907	0.1780	0.3674
0.2852	0.7400	0.1107	5.5606	0.7869	3.0257	3.8298	1.4631
0.0626	0.1413	0.4216	0.7869	3.8875	0.6964	1.4843	3.3535
0.5182	0.4505	0.0907	3.0257	0.6964	6.8385	3.4220	1.3021
0.2908	0.5299	0.1780	3.8298	1.4843	3.4220	7.3627	2.7906
0.1134	0.2277	0.3674	1.4631	3.3535	1.3021	2.7906	6.3395
Resultado referência							
j0,88	j0,15	j0,01	j0,29	j0,06	j0,52	j0,29	j0,11
j0,15	j1,12	j0,05	j0,74	j0,14	j0,45	j0,53	j0,23
j0,01	j0,05	j0,48	j0,11	j0,42	j0,09	j0,18	j0,37
j0,29	j0,74	j0,11	j5,56	j0,79	j3,03	j3,83	j1,46
j0,06	j0,14	j0,42	j0,79	j3,89	j0,70	j1,48	j3,35
j0,52	j0,45	j0,09	j3,03	j0,70	j6,84	j3,42	j1,30
j0,29	j0,53	j0,18	j3,83	j1,48	j3,42	j7,36	j2,79
j0,11	j0,23	j0,37	j1,46	j3,35	j1,30	j2,79	j6,34

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

- Curto-circuito trifásico

Resultado programa			
====RESULTADO PARA CURTO-CIRCUITO BARRA 6=====			
*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****			
Barra	I_cc_kA	deg	
6	4.7878	-90	
Barra	Vfase_kV	deg	
1	73.891	0	
2	76.881	0	
3	78.938	0	
4	63.603	0	
5	73.736	0	
6	0	0	
7	50.325	0	
8	68.534	0	
p	q	I_kA	deg
0	1	3.037	-90
0	2	0.9778	-90
0	3	0.77296	-90
1	6	3.2333	-90
1	2	0.19629	90
2	4	0.87153	-90
2	3	0.090018	90
3	5	0.68294	-90
4	7	0.87153	-90
5	8	0.68294	-90
6	7	1.5545	90
7	8	0.68294	90
Resultado referência			
a) $\hat{I}_{cc6} = 100 / Z'_{6,6} = -j11,44 \text{ pu} \rightarrow \hat{i}_{cc6} \times S_B / (\sqrt{3} \times V_B) = -j4786,15 \text{ A}$			
b) $V_5 = 1 - Z'_{5,6} / Z'_{6,6} = 0,924 \text{ pu}$			
c) $\hat{I}_{4,7} = ((Z'_{7,6} - Z'_{4,6}) / Z'_{6,6}) \times (100 / z_{4,7}) = -j2,07 \text{ pu}$			
*resultado em pu, considerar Vbase do sistema de 138kV e Sbase de 100MVA			

- Curto-circuito trifásico

- Curto-circuito bifásico

- Curto-circuito monofásico

Resultado programa						
*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
4	4.3387	-81.652	0	0	0	0

Resultado referência
$\hat{I}_{cc1\phi} = 4338,5 \angle -81,66^\circ \text{ A}$

2.5.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																																																												
<p>====RESULTADO PARA CURTO-CIRCUITO BARRA 5====</p> <p>*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****</p> <table><tr><th>Barra</th><th>I_cc_kA</th><th>deg</th></tr><tr><td>5</td><td>3.3796</td><td>-90</td></tr></table> <table><tr><th>Barra</th><th>Vfase_kV</th><th>deg</th></tr><tr><td>1</td><td>185.92</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>143.57</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>125.5</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>117.88</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> <table><tr><th>p</th><th>q</th><th>I_kA</th><th>deg</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1.8106</td><td>-90</td></tr><tr><td>0</td><td>3</td><td>1.569</td><td>-90</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>0.68587</td><td>-90</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>1.1247</td><td>-90</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>0.41611</td><td>-90</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>0.26976</td><td>-90</td></tr><tr><td>3</td><td>5</td><td>1.8388</td><td>-90</td></tr><tr><td>4</td><td>5</td><td>1.5409</td><td>-90</td></tr></table>	Barra	I_cc_kA	deg	5	3.3796	-90	Barra	Vfase_kV	deg	1	185.92	0	2	143.57	0	3	125.5	0	4	117.88	0	5	0	0	p	q	I_kA	deg	0	1	1.8106	-90	0	3	1.569	-90	1	2	0.68587	-90	1	4	1.1247	-90	2	4	0.41611	-90	2	3	0.26976	-90	3	5	1.8388	-90	4	5	1.5409	-90	$\hat{I}_{cc3\phi Ak} = -j3.379,8 \text{ A}$ $\hat{V}_4^R = 0,408 \left(\frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 117,8 \text{ kV}$ $\hat{I}_{2,4} = -j416,1 \text{ A}$
Barra	I_cc_kA	deg																																																											
5	3.3796	-90																																																											
Barra	Vfase_kV	deg																																																											
1	185.92	0																																																											
2	143.57	0																																																											
3	125.5	0																																																											
4	117.88	0																																																											
5	0	0																																																											
p	q	I_kA	deg																																																										
0	1	1.8106	-90																																																										
0	3	1.569	-90																																																										
1	2	0.68587	-90																																																										
1	4	1.1247	-90																																																										
2	4	0.41611	-90																																																										
2	3	0.26976	-90																																																										
3	5	1.8388	-90																																																										
4	5	1.5409	-90																																																										

- Curto-circuito bifásico

Resultado programa

*****CURTO-CIRCUITO BIFÁSICO*****

Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC	
5	0	0	2.9269	180	2.9269	0	
Barra	VfA_kV	VfA_deg	VfB_kV	VfB_deg	VfC_kV	VfC_deg	
1	288.68	0	216.24	-131.87	216.24	131.87	
2	288.68	0	190.51	-139.26	190.51	139.26	
3	288.68	0	180.68	-143.02	180.68	143.02	
4	288.68	0	176.79	-144.73	176.79	144.73	
5	288.68	0	144.34	180	144.34	180	
p	q	IfA_kA	deg_fA	IfB_kA	deg_fB	IfC_kA	deg_fC
0	1	0	0	1.568	180	1.568	0
0	3	0	0	1.3588	180	1.3588	0
1	2	0	0	0.59398	180	0.59398	0
1	4	0	0	0.97406	180	0.97406	0
2	4	0	0	0.36036	180	0.36036	0
2	3	0	0	0.23362	180	0.23362	0
3	5	0	0	1.5924	180	1.5924	0
4	5	0	0	1.3344	180	1.3344	0

Resultado referência

$$\hat{I}_{cc2\phi_{A5}} = 0,0 \text{ A}$$

$$\hat{I}_{cc2\phi_{B5}} = -25,34 \left(\frac{1.000,0 \cdot 100,0}{\sqrt{3} \cdot 500} \right) = 2.926,0 \angle 180^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_{cc2\phi_{C5}} = 25,34 \left(\frac{1.000,0 \cdot 100,0}{\sqrt{3} \cdot 500} \right) = 2.926,0 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\hat{V}_{A4} = 1,0 \left(\frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 288,7 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

$$\hat{V}_{B4} = 0,612 \angle 215,3^\circ \left(\frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 176,7 \angle 215,3^\circ \text{ kV}$$

$$\hat{V}_{C4} = 0,612 \angle 144,8^\circ \left(\frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 176,7 \angle 144,7^\circ \text{ kV}$$

$$\hat{I}_{A2,4} = 0,0 \text{ A}$$

$$\hat{I}_{B2,4} = -3,121 \left(\frac{1.000,0 \cdot 100,0}{\sqrt{3} \cdot 500} \right) = 360,4 \angle 180^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_{C2,4} = 3,121 \left(\frac{1.000,0 \cdot 100,0}{\sqrt{3} \cdot 500} \right) = 360,4 \angle 0^\circ \text{ A}$$

- Curto-circuito monofásico

Resultado programa

*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****

Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
5	2.3583	-90	0	0	0	0

Barra	VfA_kv	VfA_deg	VfB_kv	VfB_deg	VfC_kv	VfC_deg
1	235.76	0	279.76	-116.67	279.76	116.67
2	196.32	0	284.33	-118.45	284.33	118.45
3	199.11	0	277.32	-115.65	277.32	115.65
4	154.26	0	296.58	-122.55	296.58	122.55
5	0	0	340.77	-132.81	340.77	132.81

p	q	IfA_kA	deg_fA	IfB_kA	deg_fB	IfC_kA	deg_fC
0	1	1.1083	-90	0.1552	90	0.1552	90
0	3	1.2501	-90	0.1552	-90	0.1552	-90
1	2	0.39333	-90	0.085273	90	0.085273	90
1	4	0.71493	-90	0.069923	90	0.069923	90
2	4	0.30686	-90	0.016498	-90	0.016498	-90
2	3	0.086466	-90	0.10177	90	0.10177	90
3	5	1.3365	-90	0.053425	-90	0.053425	-90
4	5	1.0218	-90	0.053425	90	0.053425	90

Resultado referência

$$\hat{I}_{cc1\phi A5} = -j20,424 \left(\frac{1.000,0 \cdot 100,0}{\sqrt{3} \cdot 500} \right) = -j2.358,3 \text{ A}$$

$$\hat{V}_{A4} = 0,534 \angle 0^\circ \left(\frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 154,2 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

$$\hat{V}_{B4} = 1,027 \angle 237,5^\circ \left(\frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 296,5 \angle 237,5^\circ \text{ kV}$$

$$\hat{V}_{C4} = 1,027 \angle 122,5^\circ \left(\frac{500}{\sqrt{3}} \right) = 296,5 \angle 122,5^\circ \text{ kV}$$

$$\hat{I}_{A_{2,4}} = -j2,657 \left(\frac{100.000,0}{\sqrt{3} \cdot 500} \right) = -j306,8 \text{ A}$$

$$\hat{I}_{B_{2,4}} = -j0,143 \left(\frac{100.000,0}{\sqrt{3} \cdot 500} \right) = -j16,5 \text{ A}$$

$$\hat{I}_{C_{2,4}} = -j16,5 \text{ A}$$

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

- Curto-circuito trifásico

Resultado programa	Resultado referência
<pre> =====RESULTADO PARA CURTO-CIRCUITO BARRA 7===== *****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO***** Barra I_cc_kA deg ----- 7 5.5905 -90 Barra Vfase_kV deg ----- 1 76.739 0 2 74.009 0 3 77.707 0 4 37.004 0 5 64.272 0 6 43.851 0 7 0 0 8 50.836 0 p q I_kA deg -- -- -- -- 0 1 1.5413 -90 0 2 1.9833 -90 0 3 2.0659 -90 1 2 0.17068 -90 1 6 1.3706 -90 2 3 0.15919 90 2 4 2.3132 -90 3 5 1.9067 -90 4 7 2.3132 -90 5 8 1.9067 -90 6 7 1.3706 -90 7 8 1.9067 90 </pre>	<p>14a. $-j5.590,5 \text{ A}$</p> <p>14b. 76,73 kV, 37,00 kV e 64,27 kV</p> <p>14c. $-j1.370,6 \text{ A}$ e $-j1.906,7 \text{ A}$</p> <p>*atentar que o resultado do fluxo de corrente depende da referência do ramo</p>

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

- Curto-circuito trifásico

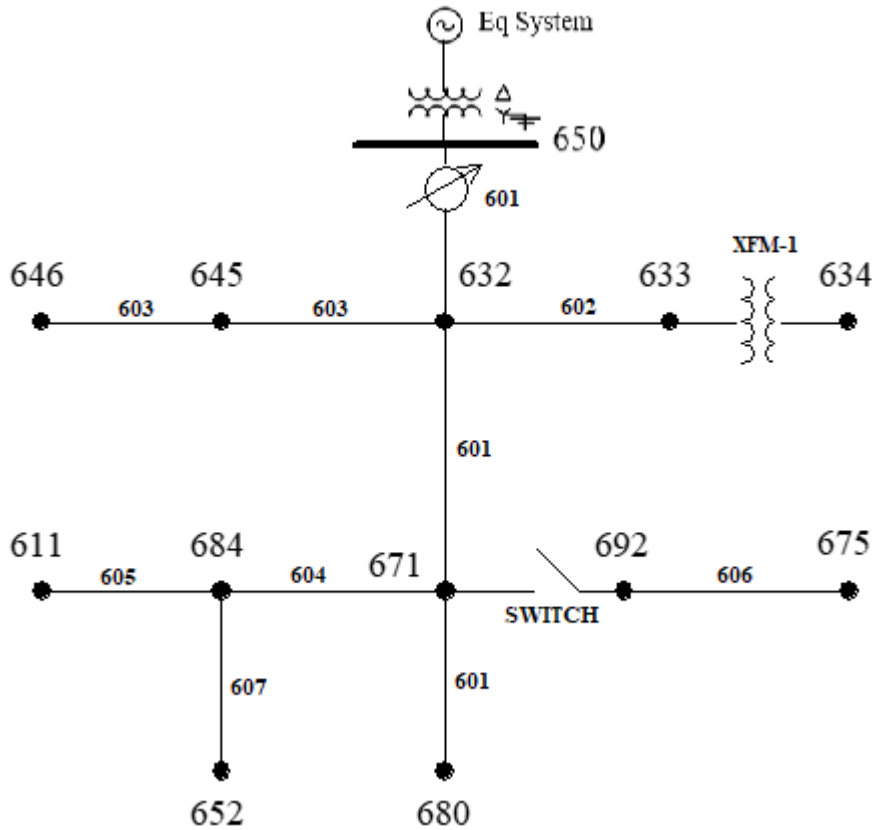
Resultado programa	Resultado referência																																																																																																	
<p>====RESULTADO PARA CURTO-CIRCUITO BARRA 7=====</p> <p>*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****</p> <table><thead><tr><th>Barra</th><th>I_cc_kA</th><th>deg</th></tr></thead><tbody><tr><td>7</td><td>9.5087</td><td>-72.39</td></tr></tbody></table> <table><thead><tr><th>Barra</th><th>Vfase_kV</th><th>deg</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>63.361</td><td>-4.4251</td></tr><tr><td>2</td><td>41.999</td><td>-4.5198</td></tr><tr><td>3</td><td>51.968</td><td>-5.0146</td></tr><tr><td>4</td><td>19.581</td><td>-4.5175</td></tr><tr><td>5</td><td>50.595</td><td>-4.9538</td></tr><tr><td>6</td><td>48.958</td><td>-4.5708</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>42.066</td><td>-5.4559</td></tr></tbody></table> <table><thead><tr><th>p</th><th>q</th><th>I_kA</th><th>deg</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>1</td><td>1.7084</td><td>-73.498</td></tr><tr><td>0</td><td>6</td><td>2.7553</td><td>-72.795</td></tr><tr><td>0</td><td>3</td><td>0.64134</td><td>-75.748</td></tr><tr><td>0</td><td>5</td><td>4.406</td><td>-71.219</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>1.0629</td><td>-73.657</td></tr><tr><td>1</td><td>6</td><td>0.64555</td><td>-73.237</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>0.51613</td><td>104.46</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>1.8824</td><td>-73.826</td></tr><tr><td>2</td><td>6</td><td>0.30386</td><td>108.49</td></tr><tr><td>3</td><td>5</td><td>0.12523</td><td>-76.616</td></tr><tr><td>4</td><td>7</td><td>1.8824</td><td>-73.826</td></tr><tr><td>5</td><td>8</td><td>2.1928</td><td>-71.563</td></tr><tr><td>5</td><td>7</td><td>2.3379</td><td>-71.186</td></tr><tr><td>6</td><td>7</td><td>3.0971</td><td>-73.013</td></tr><tr><td>7</td><td>8</td><td>2.1928</td><td>108.44</td></tr></tbody></table>	Barra	I_cc_kA	deg	7	9.5087	-72.39	Barra	Vfase_kV	deg	1	63.361	-4.4251	2	41.999	-4.5198	3	51.968	-5.0146	4	19.581	-4.5175	5	50.595	-4.9538	6	48.958	-4.5708	7	0	0	8	42.066	-5.4559	p	q	I_kA	deg	0	1	1.7084	-73.498	0	6	2.7553	-72.795	0	3	0.64134	-75.748	0	5	4.406	-71.219	1	2	1.0629	-73.657	1	6	0.64555	-73.237	2	3	0.51613	104.46	2	4	1.8824	-73.826	2	6	0.30386	108.49	3	5	0.12523	-76.616	4	7	1.8824	-73.826	5	8	2.1928	-71.563	5	7	2.3379	-71.186	6	7	3.0971	-73.013	7	8	2.1928	108.44	<p>Trifásico: $9.491,7 \angle -72,43^\circ$ A</p> <p>Barra 7:</p> <p>Trifásico: $0,0 \angle 0,0^\circ$ pu</p> <p>Barra 6:</p> <p>Trifásico: $0,615 \angle -4,57^\circ$ pu</p> <p>Barra 2:</p> <p>Trifásico: $0,527 \angle -4,50^\circ$ pu</p> <p>*resultado em pu, considerar Vbase do sistema de 500kV</p> <p>Linha 7-6:</p> <p>Trifásico: $3.097,0 \angle 106.99^\circ$ A</p> <p>Linha 6-1:</p> <p>Trifásico: $645,6 \angle 106.77^\circ$ A</p> <p>Linha 0-1:</p> <p>Trifásico: $1.707,8 \angle -73,51^\circ$ A</p>
Barra	I_cc_kA	deg																																																																																																
7	9.5087	-72.39																																																																																																
Barra	Vfase_kV	deg																																																																																																
1	63.361	-4.4251																																																																																																
2	41.999	-4.5198																																																																																																
3	51.968	-5.0146																																																																																																
4	19.581	-4.5175																																																																																																
5	50.595	-4.9538																																																																																																
6	48.958	-4.5708																																																																																																
7	0	0																																																																																																
8	42.066	-5.4559																																																																																																
p	q	I_kA	deg																																																																																															
0	1	1.7084	-73.498																																																																																															
0	6	2.7553	-72.795																																																																																															
0	3	0.64134	-75.748																																																																																															
0	5	4.406	-71.219																																																																																															
1	2	1.0629	-73.657																																																																																															
1	6	0.64555	-73.237																																																																																															
2	3	0.51613	104.46																																																																																															
2	4	1.8824	-73.826																																																																																															
2	6	0.30386	108.49																																																																																															
3	5	0.12523	-76.616																																																																																															
4	7	1.8824	-73.826																																																																																															
5	8	2.1928	-71.563																																																																																															
5	7	2.3379	-71.186																																																																																															
6	7	3.0971	-73.013																																																																																															
7	8	2.1928	108.44																																																																																															

- Curto-circuito monofásico

[illegible]

2.8.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.

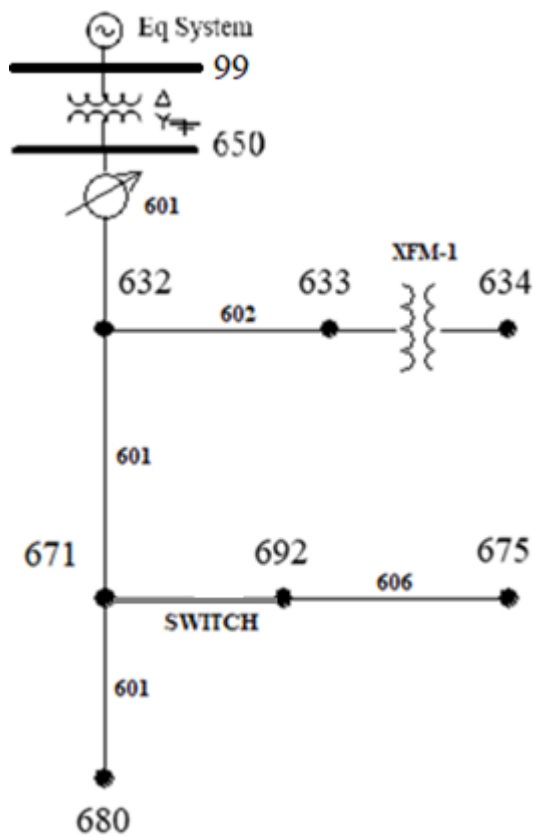


Portanto, para adaptar o problema a resolução solicitada foram adotadas as seguintes hipóteses simplificadoras:

- 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						
*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
650	8.3036	-82.865	0	0	0	0
*****CURTO-CIRCUITO BIFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
650	0	0	7.0665	-172.86	7.0665	7.139
*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****						
Barra	I_cc_kA		deg			
-----	-----		-----			
650	8.15973304602825		-82.8610269592763			
Resultado referência						
Bus Name followed by fault values in Amperes						
650	L-G	B-C	A-B-C			
Ph-A Max	, 8479.3,	0.0,	8416.8			
Ph-B Max	, 8479.3,	7289.2,	8416.8			
Ph-C Max	, 8479.3,	7289.2,	8416.8			

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

Resultado programa						
*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
632	3.4391	-76.299	0	0	0	0
*****CURTO-CIRCUITO BIFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
632	0	0	3.9315	-168.33	3.9315	11.672
*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****						
Barra	I_cc_kA	deg				
_____	_____	_____				
632	4.5397	-78.328				
Resultado referência						
Bus Name followed by fault values in Amperes						
632	L-G	B-C	A-B-C			
Ph-A Max	, 3495.5,	0.0,	4801.3			
Ph-B Max	, 3444.4,	3836.0,	4705.2			
Ph-C Max	, 3466.5,	3836.0,	4392.2			

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

Resultado programa						
*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
633	2.9066	-73.388	0	0	0	0
*****CURTO-CIRCUITO BIFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
633	0	0	3.3974	-164.55	3.3974	15.451
*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****						
Barra	I_cc_kA	deg				
_____	_____	_____				
633	3.9229	-74.549				
Resultado referência						
Bus Name followed by fault values in Amperes						
633	L-G	B-C	A-B-C			
Ph-A Max	, 2950.6,	0.0,	4150.2			
Ph-B Max	, 2910.3,	3298.5,	4023.2			
Ph-C Max	, 2921.8,	3298.5,	3802.5			

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

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

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

Resultado programa						
*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
680	1.8253	-74.138	0	0	0	0
*****CURTO-CIRCUITO BIFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
680	0	0	2.355	-166.06	2.355	13.936
*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****						
Barra	I_cc_kA	deg				
_____	_____	_____				
680	2.7194	-76.064				
Resultado referência						
Bus Name followed by fault values in Amperes						
680	L-G	B-C	A-B-C			
Ph-A Max	, 1851.9,	0.0,	2909.9			
Ph-B Max	, 1817.0,	2238.6,	2839.5			
Ph-C Max	, 1832.1,	2238.6,	2549.7			

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

Resultado programa						
*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
692	2.164	-74.592	0	0	0	0
*****CURTO-CIRCUITO BIFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
692	0	0	2.7187	-166.59	2.7187	13.415
*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****						
Barra	I_cc_kA	deg				
_____	_____	_____				
692	3.1393	-76.585				
Resultado referência						
Bus Name followed by fault values in Amperes						
692	L-G	B-C	A-B-C			
Ph-A Max ,	2193.0,	0.0,	3342.6			
Ph-B Max ,	2153.7,	2594.2,	3264.0			
Ph-C Max ,	2170.7,	2594.2,	2958.6			

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

Resultado programa						
*****CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
675	2.0511	-71.57	0	0	0	0
*****CURTO-CIRCUITO BIFÁSICO*****						
Barra	IfA_cc_kA	deg_fA	IfB_cc_kA	deg_fB	IfC_cc_kA	deg_fC
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
675	0	0	2.5528	-164.07	2.5528	15.931
*****CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO*****						
Barra	I_cc_kA	deg				
_____	_____	_____				
675	2.9477	-74.069				
Resultado referência						
Bus Name followed by fault values in Amperes						
675	L-G	B-C	A-B-C			
Ph-A Max	, 2074.0,	0.0,	3114.4			
Ph-B Max	, 2047.1,	2450.9,	3082.1			
Ph-C Max	, 2054.7,	2450.9,	2772.9			

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

3. 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 dígito. Portanto, concluo como satisfatório o programa elaborado.

4. 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.

4.1.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

4.2.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

4.3. 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

4.4. 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

4.5. 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

4.6.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

4.7.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

4.8.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

5. Referências

- [1] Sato, Fujio; Freitas, Waldir; 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