

Minicurso 03: OpenDSS - Introdução, Modelos Avançados de Recursos Distribuídos e Estudos de Caso

Lista de Exercícios

Arquivos de Simulação

Para resolver os exercícios dessa lista é necessário utilizar os arquivos de simulação presentes na pasta *ListaExercicios*. Nessa pasta, você encontrará duas pastas: *8500-Node-Questao_1* e *8500-Node-Questao_2_3*.

Questão 1 - Simulação no modo *Snapshot*

Na solução dessa questão, utilize os arquivos presentes na pasta *8500-Node-Questao_1* e considere a simulação no modo *snapshot*. Abra no OpenDSS o arquivo *Run_8500Node.dss*.

Pede-se:

1. As potências ativa e reativa fornecida da rede AT para a subestação (elemento *Circuit*)
2. As perdas ativas e “reativas” totais do alimentador, em *kW* e *kvar*
3. As perdas ativas nas linhas e nos transformadores, em *kW*
4. Para a linha chamada “LN6379462-3”, encontre:
 - (A) Os nomes das barras nas quais a linha é conectada
 - (B) O nome do arranjo (*linecode*) que define os parâmetros elétricos da linha
 - (C) A matriz de resistências (*Ohm/km*), de reatâncias (*Ohm/km*) e de capacitâncias (*nF/km*) que define essa linha
 - (D) As tensões e correntes nas barras às quais essa linha se conecta
 - (E) A potência aparente que entra na linha (na primeira barra à qual ela se conecta)
5. A posição do TAP dos seguintes reguladores
 - (A) *feeder_regA*
 - (B) *feeder_regB*
 - (C) *feeder_regC*
6. Figura do alimentador indicando as posições dos reguladores
7. Figura do alimentador indicando as posições dos bancos de capacitores

8. Simule usando $Loadmult=1.1$. Por que não convergiu? Solucione este problema
9. Com $Loadmult=1$, apresente o perfil de tensão ao longo do alimentador. Há subtensão em alguma fase de uma barra MT? Caso haja, proponha uma solução local utilizando suporte de reativo para mitigar esse problema
10. Simule novamente e apresente o novo perfil de tensão sem subtensão

Questão 2 - Simulação no modo *Daily*

Na solução dessa questão, utilize os arquivos presentes na pasta *8500-Node-Questao_2_3* e considere a simulação no modo *daily*.

Pede-se:

1. Acrescente as linhas de comando necessárias no arquivo *Run_8500Node.dss* para realizar a simulação no modo diário (*daily*)
2. Para a carga “328365B0”, encontre:
 - (A) Qual é o nome da curva de carga (*loadshape*) associada à essa carga?
 - (B) Plote essa curva de carga. Seus valores estão normalizados?
 - (C) Normalize essa curva de carga e plote novamente (normalize também a outra curva de carga presente no arquivo *Master.dss*)
3. Os gráficos das seguintes grandezas elétricas na subestação. (*Considere a medição na primeira linha do alimentador, elemento Line.LN5815900-1*)
 - (A) $v_a(t)$, $v_b(t)$ e $v_c(t)$ [pu]
 - (B) $p_a(t)$, $p_b(t)$ e $p_c(t)$ [kW]
 - (C) $i_a(t)$, $i_b(t)$ e $i_c(t)$ [A]
4. Potência ativa máxima fornecida pela subestação, a energia diária fornecida pela subestação e as perdas diárias em energia
5. A posição do TAP para $t = 12h$ dos seguintes reguladores:
 - (A) *feeder_regA*
 - (B) *feeder_regB*
 - (C) *feeder_regC*
6. Apresentar a tensão ao longo do dia na carga “328365B0” e observar se há subtensão. Se sim, proponha uma solução para mitigar esse problema. Simule novamente e plote a tensão ao longo dia, verificando se o problema foi solucionado

Questão 3 - Simulação no modo *Daily* com a presença de Recursos Energéticos Distribuídos

Para a resolução desse exercício é necessário retirar a solução sugerida no item 6 da Questão 2.

Deseja-se conectar 5 sistemas fotovoltaicos trifásicos (elementos *PVSystem*) idênticos na média tensão (12.47 kV) através de transformadores idênticos, conforme as seguintes condições:

- Barras MT de conexão:
 - barra 1: M1047552
 - barra 2: M1026701
 - barra 3: M1125902
 - barra 4: L3235254
 - barra 5: M1047339
- Sistemas fotovoltaicos:
 - Tensão nominal igual à 480 V
 - Potência nominal do painel de 500 kW para uma radiação de 1 kW/m² e uma temperatura de 25 °C
 - Potência do inversor 10% maior que a potência do painel
 - Fator de potência do inversor unitário, podendo ser alterado entre -0.97 e 0.97 com o objetivo de mitigar problemas de tensão
 - Curva do fator de redução da potência DC em função da temperatura

| Temperatura [°C] | Fator de Correção |
|------------------|-------------------|
| 0 | 1.2 |
| 25 | 1.0 |
| 75 | 0.8 |
| 100 | 0.6 |

- Curva de eficiência do inversor

| Eficiência | P_{dc}/kVA |
|------------|--------------|
| 0.86 | 0.1 |
| 0.90 | 0.2 |
| 0.93 | 0.4 |
| 0.97 | 1.0 |

- Transformador de interconexão:

- Tensão nominal primário: 12.47 *kV*
- Tensão nominal secundário: 0.48 *kV*
- Conexão: Estrela-Aterrada/Estrela-Aterrada
- Potência nominal: 600 *kVA*
- Reatância: 5%
- Perda total: 1.86%
- Perda no ferro: 0.39%
- Condições de Operação:
 - Radiação de base: 0.98 *kW/m²*
 - Curvas diárias de temperatura e radiação

| Hora | Temperatura [°C] | Radiação [pu] |
|------|------------------|---------------|
| 1 | 25 | 0 |
| 2 | 25 | 0 |
| 3 | 25 | 0 |
| 4 | 25 | 0 |
| 5 | 25 | 0 |
| 6 | 25 | 0 |
| 7 | 25 | 0.1 |
| 8 | 25 | 0.2 |
| 9 | 35 | 0.3 |
| 10 | 40 | 0.5 |
| 11 | 45 | 0.8 |
| 12 | 50 | 0.9 |
| 13 | 60 | 1.0 |
| 14 | 60 | 1.0 |
| 15 | 55 | 0.99 |
| 16 | 40 | 0.9 |
| 17 | 35 | 0.7 |
| 18 | 30 | 0.4 |
| 19 | 25 | 0.1 |
| 20 | 25 | 0 |
| 21 | 25 | 0 |
| 22 | 25 | 0 |
| 23 | 25 | 0 |
| 24 | 25 | 0 |

A partir do item 4 deve-se conectar 2 armazenadores no circuito de acordo com os dados a seguir:

Dados do armazenador:

- Pontos de Conexão MT:

- barra 1: M1069515
- barra 2: M1125968
- Transformador de Interconexão: utilize o mesmo usado para a interconexão dos sistemas fotovoltaicos
- Dados de cada armazenador:
 - Tensão Nominal igual à 480 V
 - Fator de potência unitário
 - Potência nominal de 1.6 MW
 - Estado de Carga Inicial: 30%
 - Estado de Carga Mínimo: 20%
 - Capacidade nominal de 3200 kWh
 - Modo de operação: *Follow*

Pede-se

1. Compare para as condições com e sem geração distribuída
 - (A) A potência fornecida pela subestação (Apresente as curvas)
 - (B) As perdas de energia ativa diária no alimentador
2. Escolha um sistema fotovoltaico e apresente as seguintes curvas
 - (A) $v_a(t)$, $v_b(t)$ e $v_c(t)$ [pu]
 - (B) $p_a(t)$, $p_b(t)$ e $p_c(t)$ [kW]
3. Adicione os armazenadores à rede. Crie uma curva de despacho para o armazenador (apenas uma para os dois armazenadores), isto é, um Loadshape. Defina taxas de carga entre 30% e 50% e uma taxa de descarga entre 30% e 100% da potência nominal, respectivamente. A curva de despacho deve ser definida de modo a reduzir a demanda de pico na subestação para no mínimo 3000 kW por fase.
4. Plote a potência de saída e o estado de carga de um dos armazenadores.
5. Plote a potência fornecida pela subestação ao longo do dia e compare com o caso 1.(A)

Dicas para a Solução dos Exercícios

Dica 1: Exercício 1.1 e 1.2

!Utilizar o relatório de potência nos elementos
!Show -> Powers -> Powers kVA Elem

Dica 2: Exercício 1.3

!Utilizar o relatório de Perdas
!Show -> Losses

Dica 3: Exercícios 1.4.A, 1.4.B e 1.4.C

!Opção 1: pesquisar a definição da linha
!Opção 2: utilizar o ‘‘FormEdit’’ (Ativar o elemento e selecionar o botão do FormEdit
)

Dica 4: Exercícios 1.4.D e 1.4.E

!Opção 1: Através dos relatórios de Tensão e Potência
!Show -> Voltages -> Voltages LN Nodes
!Show -> Powers -> Powers kVA Elem
!Opção 2: Utilizar o menu ‘‘Visualize’’ (Ativar o elemento e selecionar o menu
Visualize -> Voltages/Powers)

Dica 5: Exercício 1.5

!Utilizar o relatório de taps de transformadores
!Show -> Taps

Dica 6: Exercício 1.6

!Ativar a marcação de reguladores e plotar o circuito utilizando o menu ‘‘Plot’’
Set markRegulators=yes RegMarkersize=5
!Plot -> Circuit Plots -> Circuit Plot

Dica 7: Exercício 1.7

!Ativar a marcação de capacitores e plotar o circuito utilizando o menu ‘‘Plot’’
Set markCapacitors=yes CapMarkersize=5
!Plot -> Circuit Plots -> Circuit Plot

Dica 8: Exercício 1.8

!Configurar o multiplicador global
Set loadmult = 1.1
!Verificar o resumo da solução
!Show -> Summary

Dica 9: Exercício 1.9

!Confirmar a existência de um elemento ‘‘EnergyMeter’’ no início do circuito e plotar
o perfil de tensão utilizando o menu ‘‘Plot’’

```
!Plot -> Profile
!Adicione um elemento capacitor no circuito
New Capacitor.Nome_Capacitor bus1=Barras_nós kv=Tensão kvar=Potência_Reativa
  phases=Número_Fases conn=conexão
```

Dica 10: Exercício 2.1

```
Set mode=Daily
Set stepsize=1h
Set number=24
Solve
```

Dica 11: Exercício 2.2.B

```
!Utilizar o menu ‘‘Plot’’
!Plot -> Loadshapes (Ativar o elemento previamente)
```

Dica 12: Exercício 2.2.C

```
!Utilizar o parâmetro ‘‘action’’ do elemento loadshape
```

Dica 13: Exercício 2.3

```
!Declare os monitores de tensão e potência
New Monitor.Monitor_V_I element=ClasseElemento.Nome_Objeto terminal=1_ou_2 mode= 0
  vipolar=Yes/No
New Monitor.Monitor_P_Q element=ClasseElemento.Nome_Objeto terminal=1_ou_2 mode=1
  ppolar=Yes/No
!Plote as amostras armazenadas nos monitores através do menu ‘‘Plot’’
!Plot -> Monitors -> Nome_do_Monitor
```

Dica 14: Exercício 2.4

```
!Utilizar o relatório dos medidores de energia
!Show -> Energy Meters
```

Dica 15: Exercício 2.5

```
!Realizar a simulação até as primeiras 12 horas do dia somente
!e obter os resultados através do relatório de taps
Set mode = Daily
Set number = 12
Solve
!Show -> Taps
!Outras opções:
!- Adicionar um monitor no modo 2 nos respectivos transformadores
!- Verificar o registro de eventos dos elementos de controle (Show -> Event Log)
```

Dica 16: Exercício 2.6

```
!Plot - Atenção para o parâmetro ‘‘base’’
Plot Monitor object= monitor_v_i_328365b0 channels=(1 3) base=[120 120]
```

Dica 17: Exercício 3.1

```
// Definição de um PVSystem
// Curva de Eficiência do Inversor
New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[.86 .9 .93 .97]

// Curva do fator de correção da potência DC
// Potência DC nominal para T=25
New XYCurve.FatorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1.0 .8 .6]

// Curva de Radiação Diária
New LoadShape.Irrad npts=24 interval=1
~ mult=[0 0 0 0 0 0 .1 .2 .3 .5 .8 .9 1.0 1.0 .99 .9 .7 .4 .1 0 0 0 0 0]

// Curva de temperatura diária no painel
New TShape.Temp npts=24 interval=1
~ temp=[25 25 25 25 25 25 25 25 35 40 45 50 60 60 55 40 35 30 25 25 25 25 25]

// PVSystem
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A_PV Pmpp=500 kV=0.48 kVA=550 conn=wye
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT
~ pf=-0.9 kvarLimit=550 pctPmpp=100 VarFollowInverter=yes
~ irradiance=0.98 daily=Irrad Tdaily=Temp

// Definição de um Transformador
New Transformer.Trafo_PV phases=3 windings=2 xhl=5 %noloadloss=0.39 %loadloss=1.47
~ wdg=1 bus=A kV=12.47 kVA=600 conn=wye
~ wdg=2 bus=A_PV kV=0.48 kVA=600 conn=wye
```

Dica 18: Exercício 3.2

```
//Monitores PV_A

!Monitor de Potência
New monitor.Mon_PV_A_P element=PVSystem.PV_A terminal=1 mode=1 ppolar=no
!Monitor de Tensão
New monitor.Mon_PV_A_V_I element=PVSystem.PV_A terminal=1 mode=0 vipolar=yes

!Plotar
Plot monitor object= Mon_PV_A_V_I channels=(1 3 5 ) bases=[277.13 277.13 277.13]
Plot monitor object= Mon_PV_A_P channels=(1 3 5 )
```

Dica 19: Exercício 3.3

```
// Curva de despacho
New LoadShape.despacho_storage npts=24 interval=1
~ mult=[0 -0.3 -0.3 -0.3 0 0 0 0 0 0 0 0 -0.5 -0.5 0 0 0.35 0.35 1 0.3 0 0 0 0]

// Storage 1
New Storage.storage1 phases=3 bus1=storage.A kv=0.48 pf=1 kWrated=1600 %reserve=20
~ kWhrated = 3200 %stored=30 state=idling dispmode=follow model=1 daily=
despacho_storage

// Storage 2
New Storage.storage2 phases=3 bus1=storage.B kv=0.48 pf=1 kWrated=1600 %reserve=20
```



```
~ kWhrated = 3200 %stored=30 state=idling dispmode=follow model=1 daily=  
  despacho_storage  
  
// Trafo Interconexão Storage 1  
New Transformer.Trafo_storage_A phases = 3 windings=2 xhl=5 %noloadloss=0.39  
  %loadloss=1.47  
~ wdg =1 bus=M1069515 kV=12.47 kVA=600 conn=wye  
~ wdg =2 bus=storage_A kV=0.48 kVA=600 conn=wye  
  
// Trafo Interconexão Storage 1  
New Transformer.Trafo_storage_B phases = 3 windings=2 xhl=5 %noloadloss=0.39  
  %loadloss=1.47  
~ wdg =1 bus=M1125968 kV=12.47 kVA=600 conn=wye  
~ wdg =2 bus=storage_B kV=0.48 kVA=600 conn=wye
```

Dica 20: Exercício 3.4

```
!Monitores Storage  
New Monitor.Mon_Storage1_State element=Storage.storage1 terminal=1 mode=3  
  
Plot Monitor object= mon_storage1_state channels = (1 3 4)
```