

## Sistema Teste NORDIC

O arquivo Nordic\_preliminar.fdx disponível no site do Simulight apresenta uma versão ainda preliminar do sistema benchmark proposto em [1], primariamente, para estudos de estabilidade de tensão de longo prazo.

Os dados originais do sistema NORDIC estão disponíveis gratuitamente na URL: <https://cmte.ieee.org/pes-psdp/489-2/> para os softwares Anatem, PSS/E, DigSilent Power Factory and Ramses.

A Tabela I apresenta uma comparação de resultados de fluxo de potência entre Simulight<sup>1</sup>, Anarede e descritos em [1].

Tabela I – Comparação do resultado de flow do sistema Nordic

Barras PV	Relatório IEEE [1]		Anarede		Simulight	
	MVAR	graus	MVAR	graus	MVAR	graus
G1	58,3	2,59	56,4	2,6	59,569	2,56
G2	17,2	5,12	18,0	5,10	17,773	5,09
G3	20,9	10,27	21,8	10,3	21,374	10,25
G4	30,4	8,03	30,8	8,0	31,122	8,0
G5	60,1	-12,36	60,0	-12,4	61,471	-12,4
G6	138,6	-59,42	138,8	-59,5	141,424	-59,64
G7	60,4	-68,95	61,2	-69,0	67,852	-69,19
G8	232,6	-16,81	233,9	-16,8	234,879	-16,89
G9	201,3	-1,63	202,5	-1,6	203,704	-1,65
G10	255,7	0,99	257,3	1,0	257,309	0,96
G11	60,7	-29,04	60,0	-29,0	63,392	-29,12
G12	98,3	-31,88	97,3	-31,9	101,725	-31,97
G13	50,1	-54,30	51,7	-54,3	55,406	-54,45
G14	295,9	-49,90	297,2	-49,9	305,326	-50,05
Barra Swing	Relatório IEEE		Anarede		Simulight	
	MW		MW		MW	
G20	2137,5		2137,9		2138,753	

Para efeito de comparação, as figuras a seguir mostram resultados de simulação feitas no Simulight, considerando que em 1s há a perda da LT 4032-4044, conforme indicado na Figura 1.

<sup>1</sup> Aqui cabe uma nota importante dizer que para obtenção dos resultados mostrados na Tabela I pelo Simulight, o fluxo de potência deve ser rodado uma primeira vez com os LTCs bloqueados e logo em seguida com os mesmos desbloqueados.

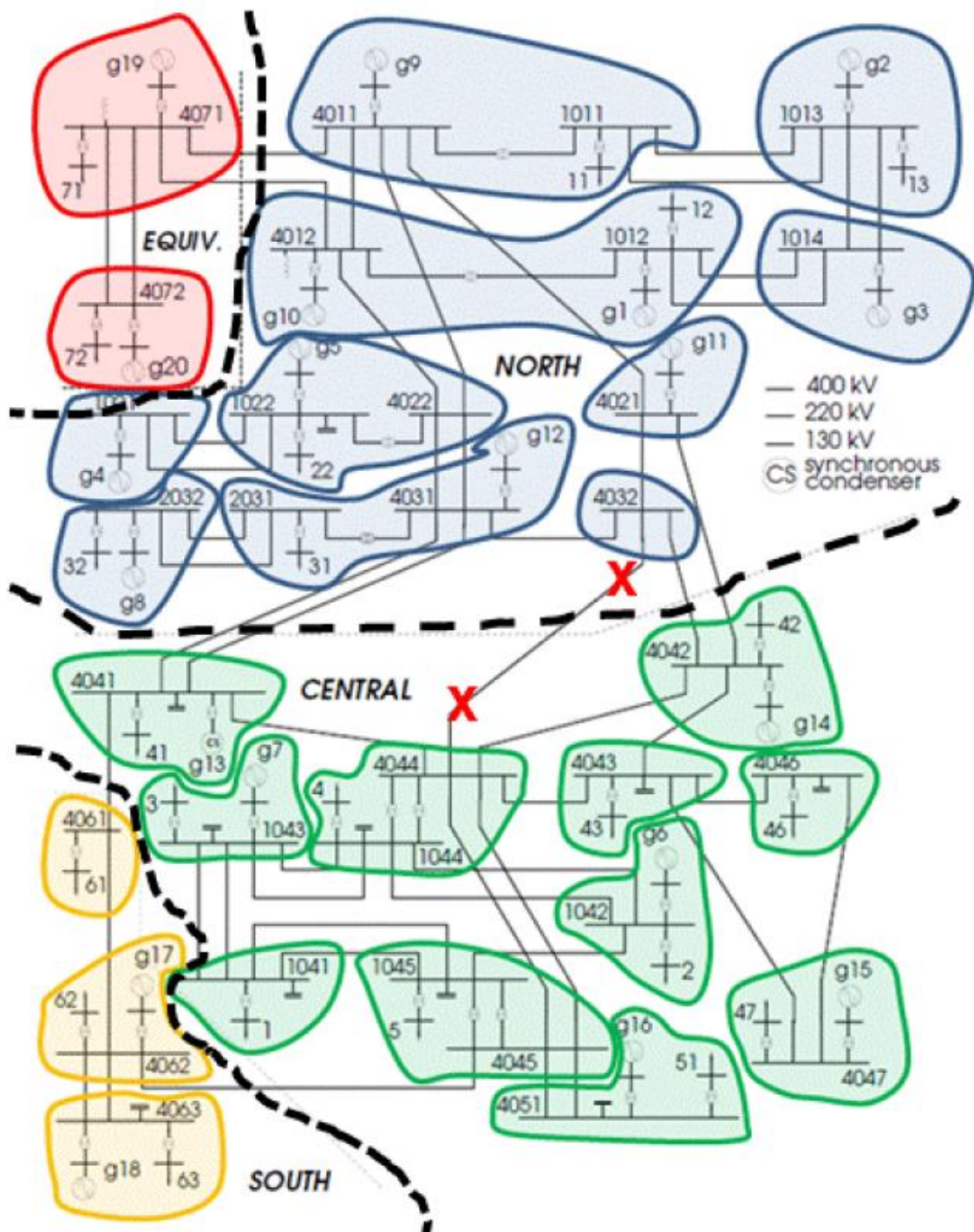


Figura 1. Diagrama unifilar do sistema NORDIC<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Pelo fato do Simulight considerar a classe de subestações, as envoltórias coloridas representam barras e equipamentos de uma mesma subestação.

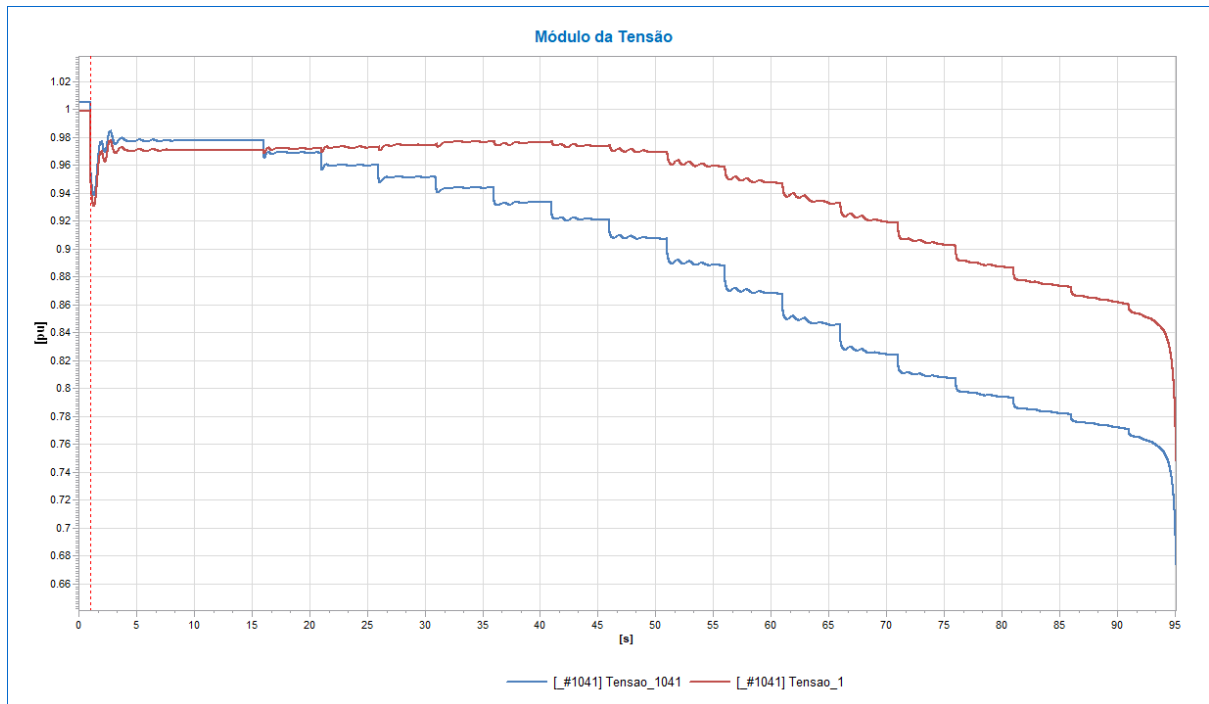


Figura 2. Tensões das Barras 1041 e 1 contidas na SE#1041 na região Central

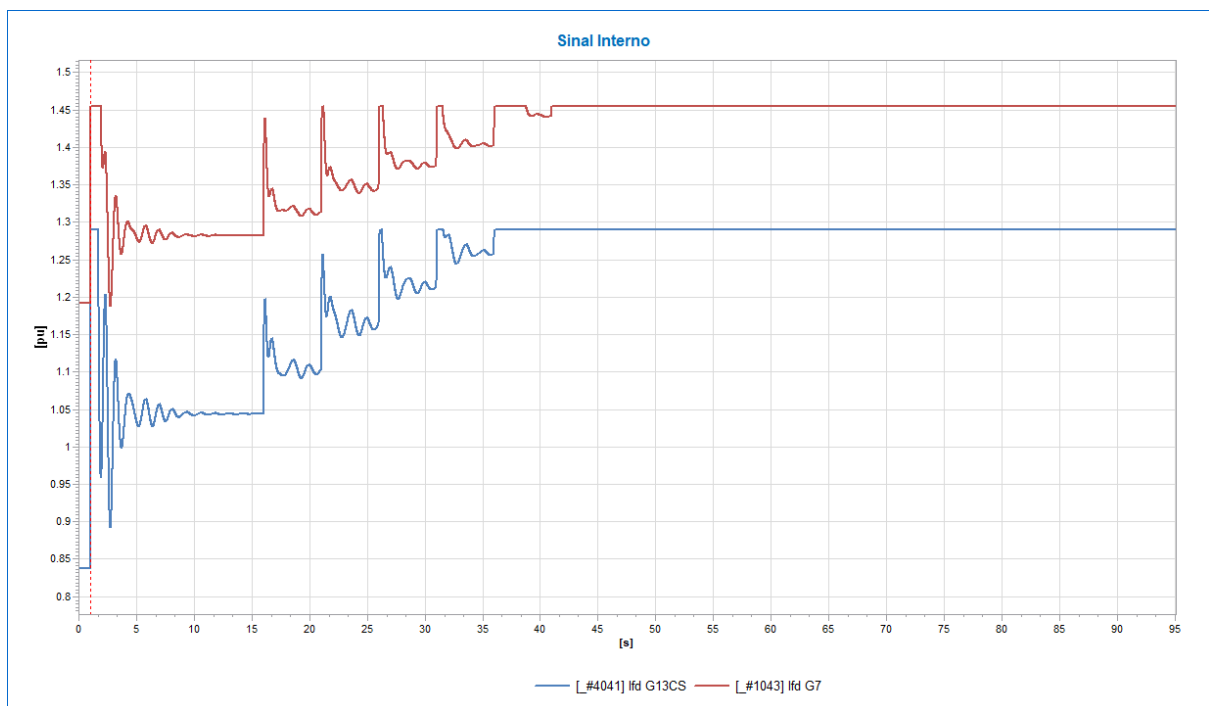


Figura 3. Correntes de campo do compensador síncrono G13 (SE#4041) e do gerador G7 (SE#1043)

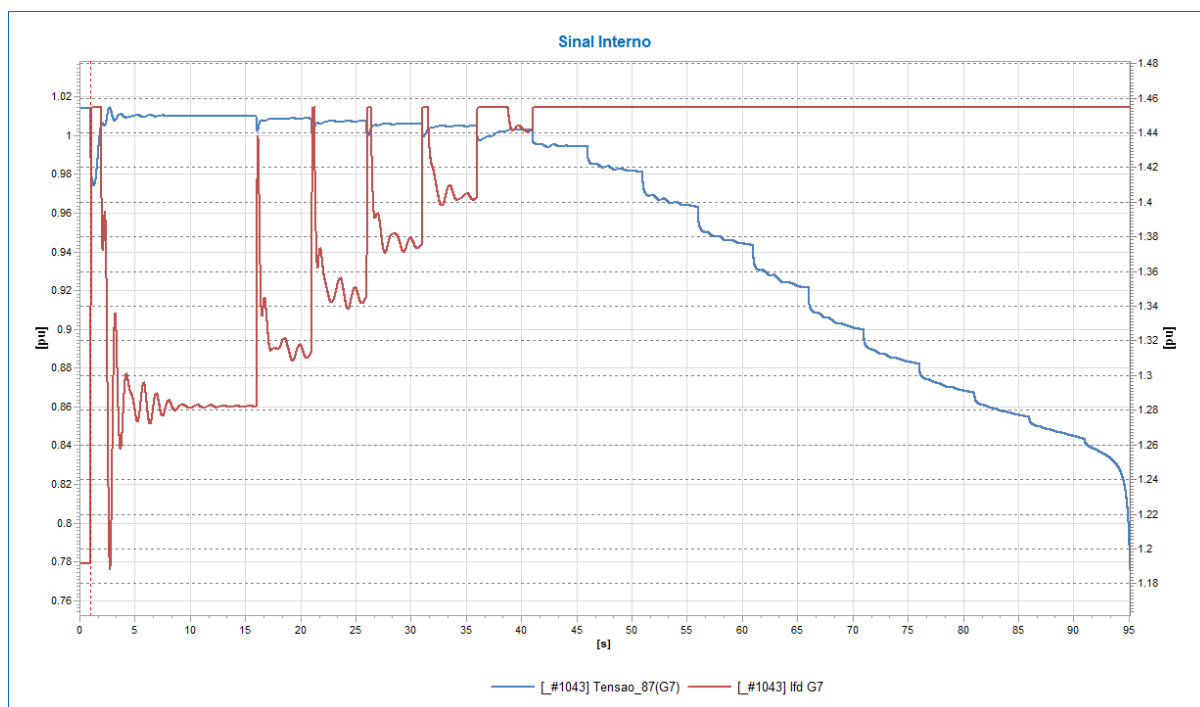


Figura 4. Tensão terminal do Gerador G7 (Barra 87 – SE#1043) e Corrente de campo de G7<sup>3</sup>

Na Figura 4 cabe observar que quando a corrente de campo atinge definitivamente o limite de corrente máxima (limite do OEL) entorno de 41 s, o gerador perde o controle de tensão e sua tensão terminal mergulha numa pendência mais acentuada, como esperado. A conjugação das máquinas atingindo o OEL e a atuação dos LTCs (claramente observado na Figura 4) tentando recuperar a tensão baixa em seus secundários, se transforma no principal mecanismo da perda de estabilidade de longo prazo.

<sup>3</sup> A escala esquerda corresponde à tensão terminal de G7 e a escala direita à sua corrente de campo.

## 1 Implementações a serem feitas

Para que o arquivo Nordic\_preliminar.fdx se torne definitivo ainda falta incluir:

- Os modelos de regulador de tensão e de velocidade. Os que estão no arquivo Nordic\_preliminar.fdx são modelos simplificados disponibilizados na LIBMODELS do Simulight;
- O modelo exponencial das cargas na simulação dinâmica. Está se considerando o tradicional modelo ZIP;
- Adequação dos modelos dos OLTCs;
- Os modelos de PSSs. No arquivo Nordic\_preliminar.fdx não há PSSs. Para eliminar as oscilações eletromecânicas que estavam mascarando a instabilidade de tensão de longo prazo, considerou-se provisoriamente o amortecimento das máquinas (termo D) iguais a 10. Os valores originais são nulos em todas as máquinas. Mas isso só deve ser feito quando todos os modelos originais forem implementados, principalmente incluindo os PSSs.

# Sistema Teste NORDIC

A Figura 5 e a Figura 6 mostram os modos eletromecânicos do sistema NORDIC considerando o termo D das máquinas iguais a 10 e 0, respectivamente. Note que na Figura 6 há modos praticamente sem nenhum amortecimento, com a utilização dos modelo simplificados de reguladores de tensão e velocidade. Salienta-se que o artifício aqui utilizado não deve ser feito na vida real, isto foi um “truque” para analisar o fenômeno de maior interesse enquanto os modelos originais não forem incluídos no arquivo do Simulight.

Análise Modal

Calcular Todos | Exportar para MATLAB | Salvar como Texto | Fechar | Ajuda

Lista de Autovalores | Mapa de Autovalores

Modo N°	Real	Imag	Frequência	Amort.	F. Part.	Estado	Modelo	Dispositivo	Subestação
51, 52	-2.4545	±10.7375	1.71 Hz	22.3 %	22.9 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG81	
53, 54	-2.2033	±10.6960	1.70 Hz	20.2 %	30.2 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG812	_#4031
55, 56	-2.1743	±10.4944	1.67 Hz	20.3 %	29.3 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG85	_#1022
57, 58	-1.9824	±10.2276	1.63 Hz	19.0 %	27.4 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG811	_#4021
59, 60	-2.3251	±10.2529	1.63 Hz	22.1 %	16.9 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG89	_#4011
61, 62	-2.4795	±10.3091	1.64 Hz	23.4 %	35.1 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG819	_#4071
63, 64	-2.4537	±10.2707	1.63 Hz	23.2 %	18.9 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG82	_#1013
67, 68	-4.7557	±9.9776	1.59 Hz	43.0 %	28.3 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG813	_#4041
69, 70	-1.8890	±9.5793	1.52 Hz	19.3 %	13.2 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG83	_#1014
81, 82	-0.9415	±7.9974	1.27 Hz	11.7 %	35.6 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG814	_#4042
83, 84	-0.9081	±7.8505	1.25 Hz	11.5 %	33.0 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG817	_#4062
85, 86	-0.9393	±7.7585	1.23 Hz	12.0 %	35.5 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG87	_#1043
87, 88	-0.8093	±7.5704	1.20 Hz	10.6 %	22.8 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG88	_#2032
89, 90	-1.0027	±7.4607	1.19 Hz	13.3 %	11.3 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG84	_#1021
91, 92	-0.7440	±7.0665	1.12 Hz	10.5 %	29.0 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG816	_#4051
93, 94	-0.7574	±6.6886	1.06 Hz	11.3 %	16.3 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG84	_#1021
95, 96	-0.4801	±6.0643	0.97 Hz	7.9 %	32.8 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG86	_#1042
97, 98	-0.4391	±5.2659	0.84 Hz	8.3 %	16.3 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG818	_#4063
100, 101	-0.8883	±4.1295	0.66 Hz	21.0 %	13.9 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG820	_#4072

Figura 5. Modos eletromecânicos do sistema NORDIC considerando o termo D = 10.

Análise Modal

Calcular Todos | Exportar para MATLAB | Salvar como Texto | Fechar | Ajuda

Lista de Autovalores | Mapa de Autovalores

Modo N°	Real	Imag	Frequência	Amort.	F. Part.	Estado	Modelo	Dispositivo	Subestação
91, 92	-0.0059	±6.6294	1.06 Hz	0.1 %	16.9 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG84	_#1021
66, 67	-1.5168	±10.3849	1.65 Hz	14.5 %	16.2 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG82	_#1013
68, 69	-1.0076	±9.6316	1.53 Hz	10.4 %	12.5 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG83	_#1014
93, 94	-0.0468	±6.0982	0.97 Hz	0.8 %	31.0 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG86	_#1042
79, 80	-0.0415	±7.6471	1.22 Hz	0.5 %	29.4 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG88	_#2032
83, 84	-0.4845	±7.8714	1.25 Hz	6.1 %	33.0 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG817	_#4062
95, 96	-0.0513	±5.3375	0.85 Hz	1.0 %	14.5 %	w	MaqSincr #Mdl:V	UG818	_#4063
99, 100	-0.2121	±4.0913	0.65 Hz	5.2 %	13.1 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG820	_#4072
64, 65	-1.5395	±10.4097	1.66 Hz	14.6 %	32.3 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG819	_#4071
62, 63	-1.4100	±10.3354	1.64 Hz	13.5 %	15.7 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG89	_#4011
60, 61	-1.1026	±10.3152	1.64 Hz	10.6 %	28.3 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG811	_#4021
54, 55	-1.5251	±10.8343	1.72 Hz	13.9 %	22.5 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG81	
87, 88	-0.1646	±7.4384	1.18 Hz	2.2 %	17.4 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG84	_#1021
58, 59	-1.2650	±10.5815	1.68 Hz	11.9 %	29.3 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG85	_#1022
56, 57	-1.2944	±10.7924	1.72 Hz	11.9 %	30.6 %	w	MaqSincr #Mdl:IV	UG812	_#4031
89, 90	-0.3247	±7.0950	1.13 Hz	4.6 %	32.4 %	delt	MaqSincr #Mdl:V	UG816	_#4051
85, 86	-0.5214	±7.7635	1.24 Hz	6.7 %	37.5 %	delt	MaqSincr #Mdl:V	UG87	_#1043
81, 82	-0.5023	±8.0019	1.27 Hz	6.3 %	35.3 %	delt	MaqSincr #Mdl:V	UG814	_#4042
52, 53	-2.9033	±10.4735	1.67 Hz	26.7 %	35.1 %	delt	MaqSincr #Mdl:IV	UG813	_#4041

Figura 6. Modos eletromecânicos do sistema NORDIC considerando o termo D = 0.

## 2 Referência Bibliográfica

- [1] T. VAN CUTSEM ET AL., “TEST SYSTEMS FOR VOLTAGE STABILITY ANALYSIS AND SECURITY ASSESSMENT”, IEEE PES TECHNICAL REPORT PES-TR19 – TASK FORCE OF THE POWER SYSTEM STABILITY SUBCOMMITTEE, USA, AUGUST 2015. DISPONÍVEL EM [HTTPS://CMTE.IEEE.ORG/PES-PSDP/489-2/](https://cmte.ieee.org/pes-psdp/489-2/)