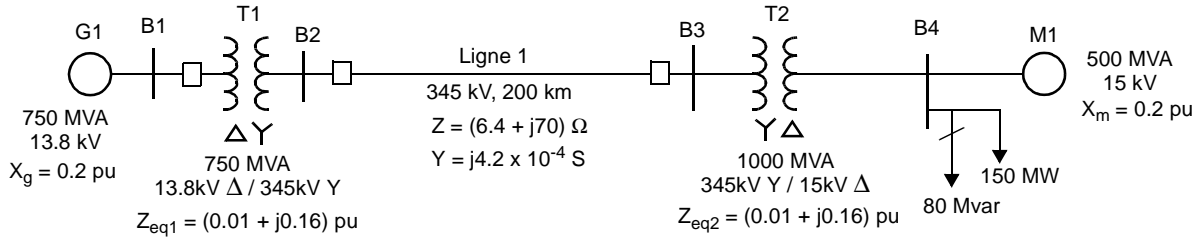


Exercices tirés de l'examen partiel A2003

Problème no. 1 (20 points)

a) Un réseau triphasé est représenté par le schéma unifilaire suivant:



À la barre B4, la charge absorbe 150 MW et 80 Mvar à une tension de 14 kV.

En utilisant $S_{base3\phi} = 100$ MVA et $V_{baseLL} = 13.8$ kV (côté générateur), tracer un schéma du réseau en p.u. (incluant l'impédance de la charge).

(12 points)

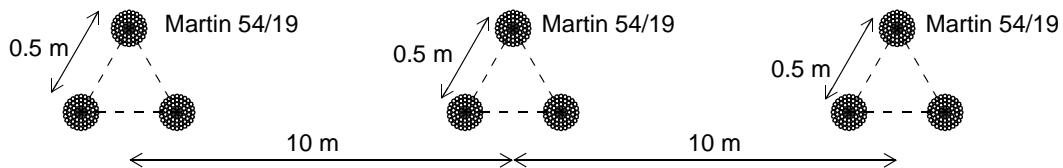
b) Une source de tension triphasée équilibrée 600 V, 60 Hz est connectée à une charge déséquilibrée en Y avec $R = 10 \Omega$ dans la phase a, $X = 12 \Omega$ dans la phase b, et $X = -15 \Omega$ dans la phase c. Le neutre de la charge est connecté au neutre de la source.

Déterminer les composantes de séquence (composantes symétriques) des courants de ligne I_a , I_b , I_c .

(8 points)

Problème no. 2 (20 points)

Une ligne triphasée 500 kV, 60 Hz complètement transposée utilise trois faisceaux de trois conducteurs ACSR du type Martin 54/19 par faisceau. Les conducteurs dans un faisceau sont distancés de 0.5 m. Les faisceaux sont dans un plan horizontal et distancés de 10 m, 10 m, et 20 m.



a) Calculer l'inductance série de la séquence directe L_1 en H/m. Déduire la réactance série de la séquence directe X_1 en Ω/km .

Calculer la résistance série R_1 en Ω/km . La température des conducteurs est de 50°C .

b) Calculer la capacité shunt de la séquence directe C_1 en F/km. Déduire l'admittance shunt de la séquence directe Y_1 en S/km.

c) Calculer le champ électrique maximal à la surface des conducteurs en kV/cm.

Problème no. 3 (20 points)

Considérons une ligne de transport triphasée non compensée 230 kV, 60 Hz de longueur 250 km. En séquence directe, l'impédance série est $z = (0.088 + j0.465) \Omega/\text{km}$ et l'admittance shunt est $y = j3.524 \times 10^{-6} \text{ S/km}$.

Pour simplifier les calculs, on utilisera le modèle de ligne «moyenne» (circuit équivalent en pi nominal).

- a) À pleine charge, la ligne fournit à la charge une puissance de 200 MW à une tension de 200 kV avec un facteur de puissance de 1.0.

Calculer la tension V_s et le courant I_s de la ligne au bout de la source.

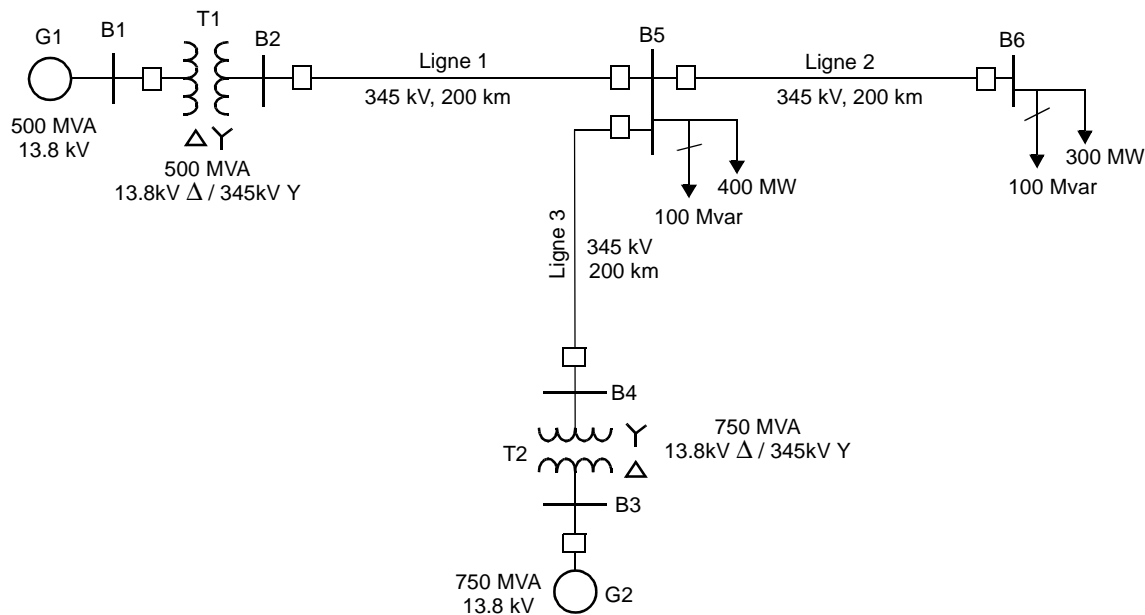
- b) En gardant la tension V_s égale à la valeur calculée précédemment, on enlève la charge. Calculer la tension (ligne-ligne) de la ligne au bout de la charge (V_r) pour ce cas.

Déterminer la réactance shunt que l'on doit connecter en parallèle avec la charge pour ramener la tension de la ligne au bout de la charge à 230 kV.

- c) Avec l'hypothèse que $V_s = 1.0 \text{ pu}$, $V_r = 0.95 \text{ pu}$, $\delta_{\max} = 35^\circ$, et $\text{fp} = 1.0$, calculer la puissance maximale que cette ligne peut transporter (limite pratique).

Problème no. 4 (20 points)

On désire étudier l'écoulement de puissance dans le réseau suivant:



Les paramètres du réseau sont donnés dans le tableau suivant:

Barre	V (pu)	δ (degré)	P_G (pu)	Q_G (pu)	P_L (pu)	Q_L (pu)	$Q_{G\max}$ (pu)	$Q_{G\min}$ (pu)
B1	1.0	0						
B2			0	0	0	0		
B3	1.05		4.0				5.0	-5.0
B4			0	0	0	0		
B5			0	0	4.0	1.0		
B6			0	0	3.0	1.0		

Les paramètres des lignes sont donnés dans le tableau suivant:

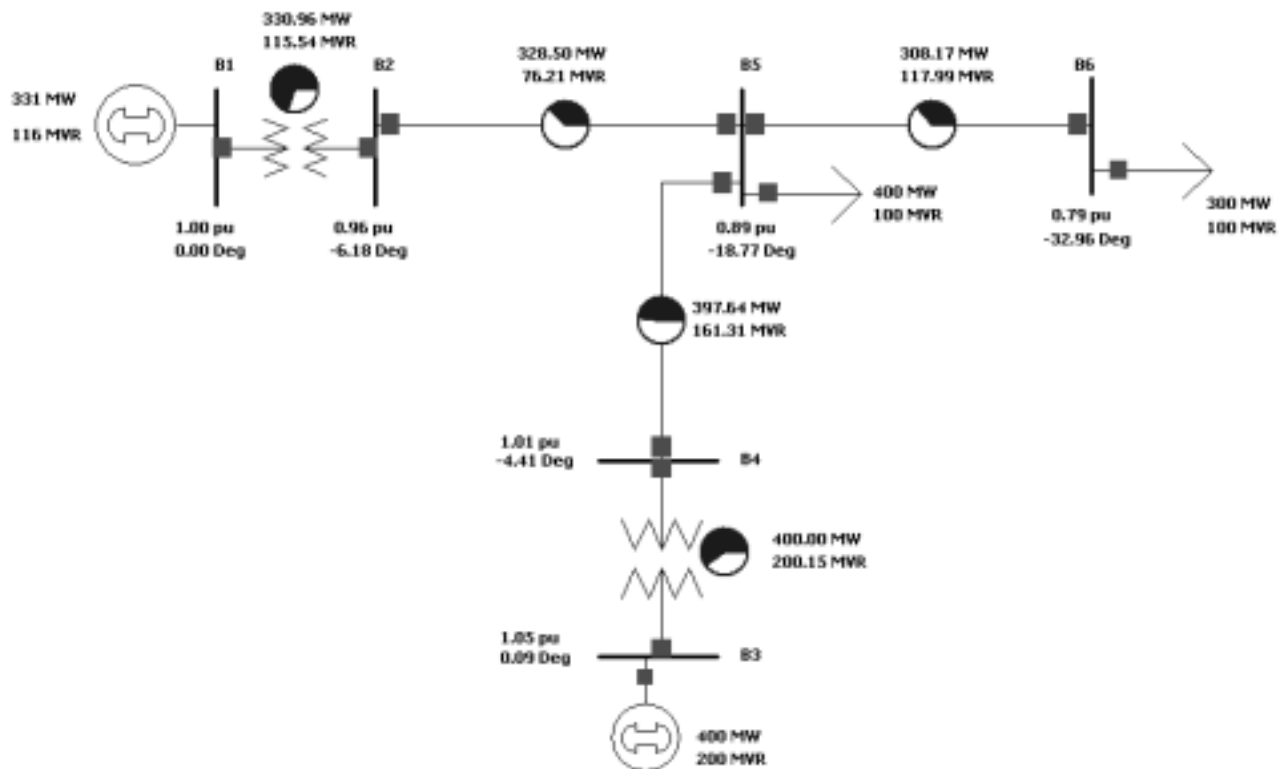
Ligne	Connexion	R' (pu)	X' (pu)	G' (pu)	B' (pu)	S _{max} (pu)
1	B2 - B5	0.0054	0.0588	0	1.0	9.0
2	B5 - B6	0.0054	0.0588	0	1.0	9.0
3	B4 - B5	0.0054	0.0588	0	1.0	9.0

Les paramètres des transformateurs sont donnés dans le tableau suivant:

Transformateur	Connexion	R (pu)	X (pu)	G _c (pu)	B _m (pu)	S _{max} (pu)	Rapport de prise (pu)
T1	B1 - B2	0.0020	0.0320	0	0	5.0	
T2	B3 - B4	0.0013	0.0214	0	0	7.5	

Note: $S_{base} = 100 \text{ MVA}$ $V_{base} = 13.8 \text{ kV}$ aux barres 1, 3 $V_{base} = 345 \text{ kV}$ aux barres 2, 4, 5, 6

- Pour chacune des barres, donner la nature de la barre et identifier les variables connues et inconnues.
- Tracer le réseau équivalent.
Écrire la matrice des admittances Y_{bus} de ce réseau (il est suffisant de donner les éléments de la matrice sous forme brute, par exemple $\frac{1}{0.01 + j0.02} + j0.05$)
- Les résultats d'écoulement de puissance obtenus avec *PowerWorld* sont donnés dans le diagramme et les tableaux suivants.



Bus Records										
	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1	B1	1	1.00000	13.000	0.00			330.96	115.54
2	2	B2	1	0.96200	331.891	-6.18				
3	3	B3	1	1.05000	14.490	0.09			400.00	200.15
4	4	B4	1	1.00736	347.540	-4.41				
5	5	B5	1	0.89008	307.076	-18.77	400.00	100.00		
6	6	B6	1	0.79142	273.038	-32.96	300.00	100.00		

Line and Transformer Records													
	From	From Name	To Number	To Name	Circuit	Status	Xfrmr	From MW	From Mvar	From MVA	Lim MVA	Max Percent	MW Loss
1	1	B1	2	B2	1	Closed	Yes	331.0	115.5	350.5	500.0	70.1	2.46
2	2	B2	5	B5	1	Closed	No	328.5	76.2	337.2	900.0	37.5	7.17
3	3	B3	4	B4	1	Closed	Yes	400.0	200.1	447.3	750.0	59.6	2.36
4	4	B4	5	B5	1	Closed	No	397.6	161.3	429.1	900.0	47.7	10.81
5	5	B5	6	B6	1	Closed	No	308.2	118.0	330.0	900.0	36.7	8.17

Commenter ces résultats.

Déterminer les pertes dans les équipements (lignes et transformateurs).

Y-a-t-il des anomalies dans les résultats obtenus? Si oui, proposer des moyens de correction.

Caractéristiques des câbles ACSR (câble aluminium avec noyau acier)

Code Word	Circular Mils Aluminum	Aluminum			Steel		Outside Diameter (inches)	Copper Equivalent* Circular Mils or A.W.G.	Ultimate Strength (pounds)	Weight (pounds per mile)	Geometric Mean Radius at 60 Hz (feet)	Approx. Current Carrying Capacity† (amps)	Resistance (Ohms per Conductor per Mile)						Inductive Reactance (ohms per mile at 1 ft spacing all currents)	X _s Shunt Capacitive Reactance (megohms per mile at 1 ft spacing)	
		Strand Diameter (inches)		Strand Diameter (inches)	50°C (122°F) Current Approx. 75% Capacity‡								60 Hz								
		Strand Diameter (inches)	Strand Diameter (inches)		dc	25 Hz								50 Hz	60 Hz						
																60 Hz	50 Hz	25 Hz	50 Hz	60 Hz	
Joree	2515 000	76	0.1819	19	0.0849	1.880	1 000 000	61 700	10 777	0.0821	1 380	0.0587	0.0588	0.0590	0.0591	0.0646	0.0656	0.0675	0.0684	0.337	0.0755
Thrasher	2312 000	76	0.1744	19	0.0814	1.802	950 000	57 300	10 237	0.0507	1 340	0.0618	0.0619	0.0621	0.0622	0.0680	0.0690	0.0710	0.0720	0.342	0.0767
Kwi	2167 000	72	0.1735	7	0.1157	1.735	900 000	49 800	9 699	0.0493	1 300	0.0652	0.0653	0.0655	0.0656	0.0718	0.0729	0.0749	0.0760	0.348	0.0778
Bluebird	2156 000	84	0.1602	19	0.0961	1.762	850 000	60 300	10 061	0.0588	1 250	0.0691	0.0692	0.0694	0.0695	0.0761	0.0771	0.0792	0.0803	0.344	0.0774
Chukar	1781 000	84	0.1456	19	0.0874	1.602	800 000	51 000	8 621	0.0534	1 200	0.0734	0.0735	0.0737	0.0738	0.0808	0.0819	0.0840	0.0851	0.355	0.0802
Falcon	1590 000	54	0.1716	19	0.1030	1.545	750 000	43 100	8 082	0.0465	1 160	0.0783	0.0784	0.0786	0.0788	0.0862	0.0872	0.0894	0.0906	0.359	0.0814
Parrot	1510 500	54	0.1673	19	0.1004	1.506	700 000	40 200	7 544	0.0520	1 110	0.0839	0.0840	0.0842	0.0844	0.0924	0.0935	0.0957	0.0969	0.362	0.0821
Plover	1431 000	54	0.1628	19	0.0977	1.465	650 000	37 100	7 019	0.0507	1 060	0.0903	0.0905	0.0907	0.0909	0.0984	0.1005	0.1025	0.1035	0.365	0.0830
Martin	1351 000	54	0.1582	19	0.0949	1.424	600 000	34 200	6 479	0.0493	1 010	0.0979	0.0980	0.0981	0.0982	0.1078	0.1088	0.1118	0.1128	0.369	0.0838
Pheasant	1272 000	54	0.1535	19	0.0921	1.382	566 000	32 300	6 112	0.0479	970	0.104	0.104	0.104	0.104	0.1145	0.1155	0.1175	0.1185	0.372	0.0847
Grackle	1192 500	54	0.1486	19	0.0892	1.338	500 000	31 400	5 940	0.0465	950	0.107	0.107	0.107	0.108	0.1178	0.1188	0.1218	0.1228	0.376	0.0857
Finch	1113 000	54	0.1436	19	0.0862	1.293	420 000	28 500	5 399	0.0450	900	0.117	0.118	0.118	0.119	0.1288	0.1308	0.1358	0.1378	0.401	0.0917
Curlew	1033 500	54	0.1384	7	0.1384	1.246	700 000	37 100	7 019	0.0435	1 110	0.0839	0.0840	0.0842	0.0844	0.0924	0.0935	0.0957	0.0969	0.380	0.0867
Cardinal	954 000	54	0.1329	7	0.1329	1.196	650 000	34 200	6 479	0.0420	1 060	0.0903	0.0905	0.0907	0.0909	0.0984	0.1005	0.1025	0.1035	0.385	0.0878
Canary	900 000	54	0.1291	7	0.1291	1.162	566 000	32 300	6 112	0.0403	1 010	0.0979	0.0980	0.0981	0.0982	0.1078	0.1088	0.1118	0.1128	0.390	0.0890
Crane	874 500	54	0.1273	7	0.1273	1.146	550 000	31 400	5 940	0.0391	970	0.104	0.104	0.104	0.104	0.1145	0.1155	0.1175	0.1185	0.393	0.0898
Condor	795 000	54	0.1214	7	0.1214	1.093	500 000	28 500	5 399	0.0386	950	0.107	0.107	0.107	0.108	0.1178	0.1188	0.1218	0.1228	0.395	0.0903
Drake	795 000	26	0.1749	7	0.1360	1.108	419 000	24 500	4 527	0.0368	900	0.117	0.118	0.118	0.119	0.1288	0.1308	0.1358	0.1378	0.401	0.0917
Mallard	795 000	30	0.1628	19	0.0977	1.140	500 000	31 200	5 770	0.0375	900	0.117	0.117	0.117	0.117	0.1288	0.1288	0.1288	0.1288	0.399	0.0912
Crow	715 500	54	0.1151	7	0.1151	1.036	450 000	26 300	4 859	0.0393	910	0.117	0.117	0.117	0.117	0.1288	0.1288	0.1288	0.1288	0.393	0.0904
Starling	715 500	26	0.1659	7	0.1290	1.051	450 000	28 100	5 193	0.0349	830	0.131	0.131	0.131	0.131	0.1442	0.1452	0.1472	0.1482	0.407	0.0932
Redwing	715 500	30	0.1544	19	0.0926	1.081	450 000	34 600	5 865	0.0355	840	0.131	0.131	0.131	0.131	0.1442	0.1442	0.1442	0.1442	0.405	0.0928
Flamingo	666 600	54	0.1111	7	0.1111	1.000	419 000	24 500	4 527	0.0372	800	0.131	0.131	0.131	0.131	0.1442	0.1442	0.1442	0.1442	0.399	0.0920
Rook	636 000	54	0.1085	7	0.1085	0.977	400 000	23 600	4 319	0.0337	800	0.140	0.140	0.140	0.141	0.1541	0.1571	0.1591	0.1601	0.412	0.0943
Grosbeak	636 000	26	0.1564	7	0.1216	0.990	400 000	25 000	4 616	0.0329	770	0.147	0.147	0.147	0.148	0.1618	0.1638	0.1678	0.1688	0.414	0.0950
Egret	636 000	30	0.1456	19	0.0874	1.019	400 000	31 500	4 616	0.0335	780	0.147	0.147	0.147	0.147	0.1618	0.1618	0.1618	0.1618	0.412	0.0946
Peacock	605 000	54	0.1059	7	0.1059	0.953	380 500	22 500	4 109	0.0351	780	0.147	0.147	0.147	0.147	0.1618	0.1618	0.1618	0.1618	0.406	0.0937
Squab	605 000	26	0.1463	7	0.1186	0.966	380 500	24 100	4 391	0.0321	750	0.154	0.155	0.155	0.155	0.1695	0.1715	0.1755	0.1775	0.417	0.0957
Dove	556 500	26	0.1463	7	0.1138	0.927	350 000	22 400	4 039	0.0327	760	0.154	0.154	0.154	0.154	0.1700	0.1720	0.1720	0.1720	0.415	0.0953
Eagle	556 500	30	0.1362	7	0.1362	0.953	350 000	27 200	4 588	0.0313	730	0.168	0.168	0.168	0.168	0.1849	0.1859	0.1859	0.1859	0.420	0.0965
Hawk	477 000	26	0.1355	7	0.1054	0.858	300 000	19 430	3 482	0.0328	730	0.168	0.168	0.168	0.168	0.1849	0.1859	0.1859	0.1859	0.415	0.0957
Hen	477 000	30	0.1261	7	0.1261	0.883	300 000	23 300	3 933	0.0290	670	0.196	0.196	0.196	0.196	0.216	0.216	0.216	0.216	0.430	0.0988
Ibis	397 500	26	0.1236	7	0.0961	0.783	250 000	16 190	2 885	0.0265	590	0.235	0.235	0.235	0.235	0.259	0.259	0.259	0.259	0.424	0.0980
Lark	397 500	30	0.1151	7	0.1151	0.806	250 000	19 980	3 277	0.0278	600	0.235	0.235	0.235	0.235	0.259	0.259	0.259	0.259	0.441	0.1015
Linnet	336 400	26	0.1138	7	0.0855	0.721	4/0	14 050	2 442	0.0278	530	0.278	0.278	0.278	0.278	0.306	0.306	0.306	0.306	0.435	0.1006
Oriole	336 400	30	0.1059	7	0.1059	0.741	4/0	17 040	2 774	0.0244	530	0.278	0.278	0.278	0.278	0.306	0.306	0.306	0.306	0.451	0.1039
Ostrich	300 000	26	0.1074	7	0.0835	0.680	188 700	12 650	2 178	0.0255	530	0.278	0.278	0.278	0.278	0.306	0.306	0.306	0.306	0.451	0.1032
Piper	300 000	30	0.1000	7	0.1000	0.700	188 700	15 430	2 473	0.0230	490	0.311	0.311	0.311	0.311	0.342	0.342	0.342	0.342	0.458	0.1057
Partridge	266 800	26	0.1013	7	0.0788	0.642	3/0	11 250	1 936	0.0241	500	0.311	0.311	0.311	0.311	0.342	0.342	0.342	0.342	0.462	0.1049
		26	0.1013	7	0.0788	0.642	3/0	11 250	1 936	0.0217	460	0.350	0.350	0.350	0.350	0.385	0.385	0.385	0.385	0.465	0.1074

*Based on copper 97% aluminum 61% conductivity.

†For conductor at 75°C. air at 25°C. wind 1.4 miles per hour (2 ft/sec). frequency = 60 Hz.

‡Current Approx. 75% Capacity is 75% of the Approx. Current Carrying Capacity in Amps and is approximately the current which will produce 50°C conductor temp. (25°C rise) with 75°C air temp., wind 1.4 miles per hour.

Source: Glover & Sarma