

به نام خدا



دانشگاه تهران

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پروژه پایانی

تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۱

دکتر پناهی

عرفان پناهی ۸۱۰۱۹۸۳۶۹

نیمسال دوم ۱۴۰۱-۰۲

فهرست:

چکیده صفحه ۲ (لینک)
بخش ۱ (سطح انتقال - $230kV$) صفحه ۳ (لینک)
بخش ۲ (سطح انتقال - $400kV$) صفحه ۱۰ (لینک)
بخش ۳ (مسئله پخش بار) صفحه ۱۶ (لینک)

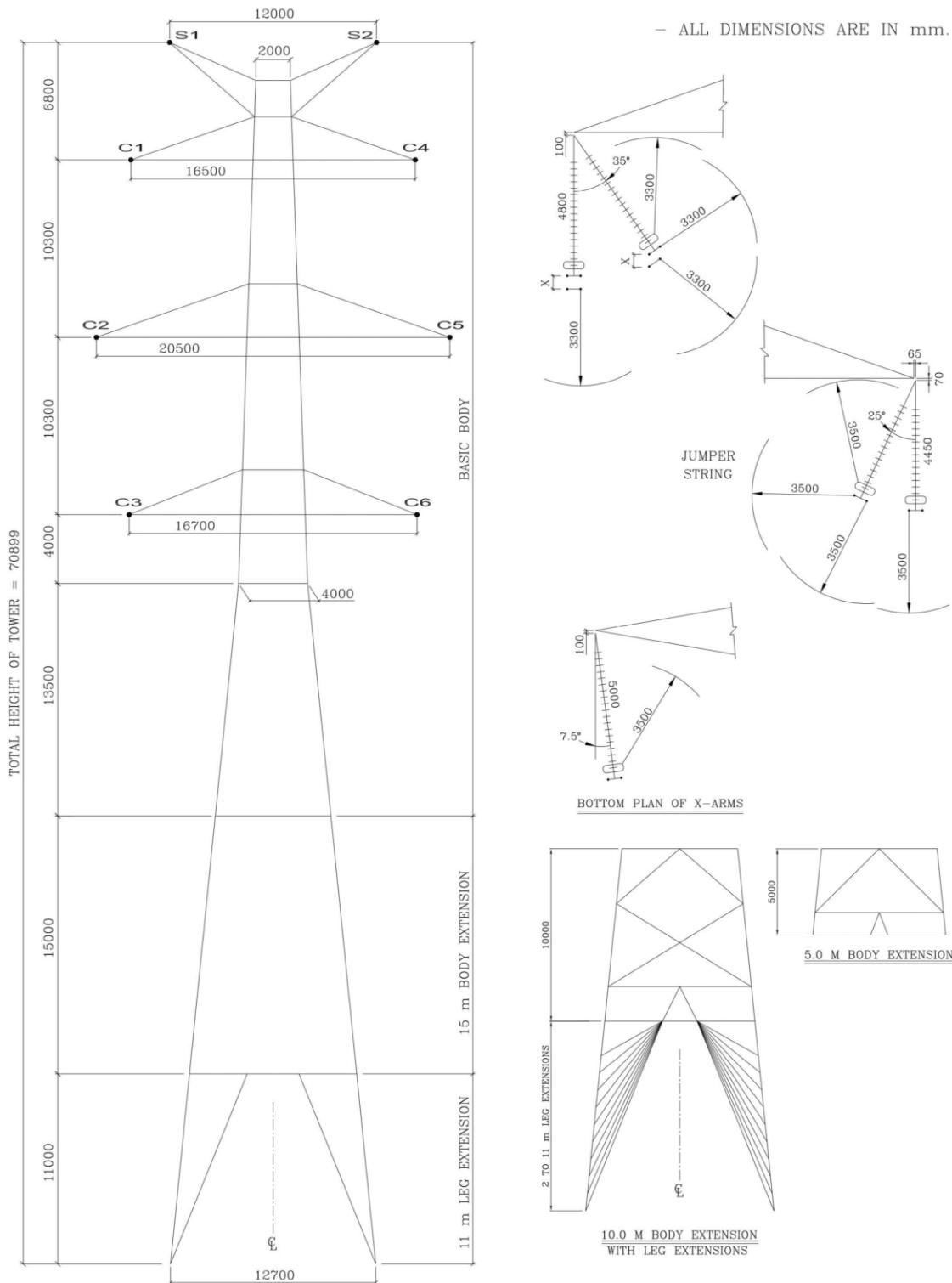
چکیده : هدف از پژوهش پایانی درس

در این پژوهش، قصد داریم تا برج‌های مختلفی را که برای سطح انتقال در کشور ما ساخته می‌شود، بررسی کنیم و با در نظر گرفتن فرض‌های ساده‌کننده، پارامترهای خطوط انتقالی که روی این برج‌ها قرار می‌گیرند را بدست آوریم. سطح ولتاژی سطح انتقال در ایران $230kV$ و $400kV$ هستند. برای هر سطح ولتاژی در شبکه انتقال، یک برج که به طور معمول در شبکه سراسری ایران استفاده می‌شود را در نظر گرفته، پارامترهای واحد طول را بدست می‌آوریم. سپس یک شبکه که شامل سطوح ولتاژی $230kV$ و $400kV$ است را در نظر می‌گیریم و برای پارامترهای خطوط انتقال در این شبکه، از مقادیر بدست آمده از بخش اول استفاده می‌کنیم. سپس با تعدادی از چالش‌هایی که در بهره‌برداری از یک شبکه قدرت با آنها مواجه هستیم، روبرو می‌شویم و سعی می‌کنیم با دانسته‌های خود، این چالش‌ها را حل کنیم تا شبکه مدنظر در بهترین حالت ممکن بهره‌برداری شود. یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین بخش‌های پژوهش، بررسی معیار N1-Contingency یا Single Contingency که سعی می‌کنیم این معیار را برای شبکه مورد نظر، بررسی نماییم.

بخش ۱: سطح انتقال - 400kV

در این قسمت مطابق با تصویر ۱-۱، پارامترهای مورد نیاز را بدست آورده و در محاسبات دستی از آن استفاده می‌کنیم و برای

شبیه‌سازی وارد محیط Power Line Parameters Tool می‌کنیم.



تصویر ۱-۱: ابعاد برج T2G15 - 400kV

مطابق با تصویر ۱-۱ مؤلفه x را برای هر هادی بدست می‌آوریم.

$$X_{p1} = -8.25m, \quad X_{p4} = 8.25m$$

$$X_{p2} = -10.25m, \quad X_{p5} = 10.25m$$

$$X_{p3} = -8.35m, \quad X_{p6} = 8.35m$$

حال مؤلفه y برج را برای هر هادی بدست می‌آوریم.

$$Y_{p1,p4} = 10.3 + 10.3 + 4 + 13.5 - 3.3 = 34.8m$$

$$Y_{p2,p5} = 10.3 + 4 + 13.5 - 3.3 = 24.5m$$

$$Y_{p3,p6} = 4 + 13.5 - 3.3 = 14.2m$$

*** برای وارد کردن مؤلفه y در MATLAB باید مقدار $sag = 5m$ ایجاد شده در هادی‌ها را از مقادیر بالا کم کنیم.

$$Y_{p1,p4} = 34.8m - 5m = 29.8m$$

$$Y_{p2,p5} = 24.5m - 5m = 19.5m$$

$$Y_{p3,p6} = 14.2m - 5m = 9.2m$$

در نهایت این ۶ هادی (p1 تا p6) را از نوع ۱ انتخاب می‌کنیم.

حال می‌خواهیم اطلاعات مربوط به هادی‌های شیلد را وارد کنیم. دو هادی شیلد داریم که فاز آن‌ها را ۰ و از نوع ۲ در نظر می‌گیریم.

در نهایت سایر پارامترها را به صورت زیر بدست می‌آوریم. توجه کنید که هادی‌های شیلد مقره ندارند، نیازی به کم کردن ارتفاع

مقره‌ها در محاسبه Y_{tower} نیست.

$$X_{g1} = -6m, \quad X_{g2} = 6m$$

$$Y_{tower,g1,g2} = 6.8 + 10.3 + 10.3 + 4 + 13.5 = 44.9m$$

حال باید مقدار $sag = 5m$ را از مؤلفه y کم کنیم تا Y_{min} بدست آید.

$$Y_{min,g1,g2} = 44.9 - 5 = 39.9m$$

سپس روش GMR را برای محاسبه اندوکتانس درونی انتخاب کرده و گزینه در نظر گرفتن اثر پوستی را انتخاب می‌کنیم. حال

مطابق با تصویر ۱-۲ اطلاعات مربوط به هادی $Martin$ را برای هادی نوع ۱ وارد می‌کنیم. برای محاسبه

برای هادی‌های $Martin$ ratio:

$$\frac{T}{D} = \frac{\text{Thickness of Conducting Material}}{\text{Outside Diameter}} = \frac{\frac{3.616\text{ cm}}{2}}{3.616\text{ cm} + 1.205\text{ cm}} = 0.375$$

Steel / ACSR	ACSR	Conductor	Stranding		Sectional area mm ²	Overall diameter	Weight		Ultimate Strength	DC resistance at 20°C	E_initial kg/mm ²	E_final kg/mm ²	Alpha_initial 1/oC	Alpha_final 1/oC	Teta_Creep oC									
			Nos/mm				Kg/km																	
			Alum	Steel			ACSR	Steel																
0.189	Wolf	150	30/2.59	7/2.59	158.1	194.9	18.13	7.77	726	436.7	288.9	7060	0.1828	6320	8160	0.000018	0.000018	15						
0.189	Oriole	336400	30/2.690	7/2.690	170.5	210.3	18.83	8.07	784.6	473.5	311.1	7870	0.1698	6320	8160	0.0000178	0.0000178	17						
0.189	Lynx	175	30/2.79	7/2.79	183.4	226.2	19.53	8.37	842	507	335.4	8140	0.1576	6320	8157	0.0000178	0.0000178	15						
0.139	Hawk	477000	26/3.439	7/2.675	241.7	280.8	21.78	8.025	976.5	669.2	307.3	8850	0.1196	5200	8360	0.000019	0.000019	17						
0.140	Squab	605000	26/3.874	7/3.012	306.6	356.4	24.53	9.036	1239	849.1	389.6	11000	0.09422	6160	8360	0.000019	0.000019	17						
0.140	Drake	795000	26/4.442	7/3.454	402.8	468.6	28.13	10.36	1628	1116	512.3	14300	0.07167	5710	7700	0.0000189	0.0000189	17						
0.115	Canary	900000	54/3.279	7/3.279	456	515.1	29.51	9.837	1725	1264	461.3	14500	0.06332	6855	8583	0.00001935	0.00001935	20						
0.064	Rail	954000	45/3.698	7/2.466	483.4	516.7	29.59	7.398	1600	1339	261.2	11700	0.05975	5580	7320	0.0000209	0.0000209	23						
0.115	Cardinal	954000	54/3.376	7/3.376	483.4	546.1	30.39	10.13	1828	1339	488.9	15400	0.05973	5590	7000	0.0000193	0.0000193	20						
0.114	Curlew	1033500	54/3.513	7/3.513	523.7	591.3	31.62	10.54	1980	1450	529.5	16600	0.05518	4900	6850	0.00001923	0.00001923	20						
0.112	Martin	1351500	54/4.018	19/2.410	684.8	771.4	36.16	12.05	2584	1906	678.4	21000	0.04238	4700	7450	0.0000205	0.0000205	20						
	ACAR				594				1491					5250	5720	0.000023	0.000023	30						
	AAAC				507.7				1398					5250	5710	0.000023	0.000023	25						

تصویر ۱-۲: مشخصات هادی Martin

برای محاسبه GMR با توجه به اینکه در صورت پروژه اطلاعاتی داده نشده از رابطه $GMR = re^{-0.25}$ استفاده می‌کنیم.

$$GMR = re^{-0.25} = \frac{3.616 \text{ cm}}{2} \times e^{-0.25} = 1.4081 \text{ cm}$$

را برای هادی های Martin طبق اطلاعات موجود در تصویر ۱-۲، Conductor DC resistance ۰.۰۴۲۳۸ Ω/km وارد

می‌کنیم. تعداد باندل ها برابر ۳، فاصله باندل ها ۴۵cm و زاویه هادی های باندل را ۳۰ درجه در نظر می‌گیریم.

همچنین برای هادی شیلد مطابق با اطلاعات صورت پروژه، قطر را ۱۲mm و مقاومت را ۴ Ω/km در نظر می‌گیریم.

Conductor T/D ratio ۰.۵ در نظر می‌گیریم و قطر این هادی های شیلد را مطابق صورت پروژه ۱۲mm

وارد می‌کنیم. برای محاسبه GMR با توجه به اینکه در صورت پروژه اطلاعاتی داده نشده از رابطه $GMR = re^{-0.25}$ استفاده

می‌کنیم.

$$GMR = re^{-0.25} = \frac{1.2 \text{ cm}}{2} \times e^{-0.25} = 0.46728 \text{ cm}$$

را برای هادی های شیلد، طبق صورت پروژه ۴ Ω/km وارد می‌کنیم. تعداد باندل ها برابر ۱

است.

در نهایت همه اطلاعات بدست آمده را مطابق تصویر ۱-۳ وارد محیط Power Line Parameters Tool می‌کنیم.

نتایج شبیه‌سازی مطابق تصاویر ۱-۴ خواهد بود که مطابق ویدیو آموزشی، مقادیر Positive-sequence برای ما مهم هستند.

$$L = 0.00044 \frac{H}{km}, \quad C = 2.61638 \times 10^{-8} \frac{F}{km}, \quad R = 0.00735 \frac{\Omega}{km}$$

Example of a 735 KV three-phase line

Three bundles of 4 Bersfort ACSR 1355 MCM conductors
Two 1/2 inch diameter steel grounds wires

Ytower = Ymin = average heights of conductors

General Parameters						
Units:	metric					
Ground Resistivity (ohm.m):	100					
Nominal Frequency (Hz):	50					

Line Geometry						
Phase conductors (bundles):	6					
1	p1	1	X (m)	Y tower (m)	Y min (m)	Conductor type
2	p2	2	-8.25	34.8	29.8	1
3	p3	3	-10.25	24.5	19.5	1
4	p4	3	-8.35	14.2	9.2	1
5	p5	3	8.25	34.8	29.8	1
6	p6	3	6	24.5	19.5	1

Ground conductors (bundles):	2					
1	g1	0	X (m)	Y tower (m)	Y min (m)	Conductor type
2	g2	0	-6	44.9	39.9	2
3	g3	0	6	44.9	33.9	2

Conductors							
Conductor types:	2	<input checked="" type="checkbox"/> include conductor skin effect	Internal conductor inductance evaluated from:	Geometric Mean Radius (GMR)			
1	D out (cm)	T/D ratio	GMR (cm)	DC res (Ohms/km)	unused	Nb_cond	Db (cm)
2	3.616	.375	1.4081	0.0424	1	3	45
3	1.2	.5	0.4673	4	1	1	0
4							30

تصویر ۱-۳: وارد کردن اطلاعات برج و های هادی

Computed Parameters

1. RLC matrices, at 50Hz.

R_matrix (ohm/km) =

$$\begin{bmatrix} 0.07864 & 0.07068 & 0.07186 \\ 0.07068 & 0.07737 & 0.07126 \\ 0.07186 & 0.07126 & 0.07985 \end{bmatrix}$$

L_matrix (H/km) =

$$\begin{bmatrix} 0.00120 & 0.00078 & 0.00074 \\ 0.00078 & 0.00123 & 0.00078 \\ 0.00074 & 0.00078 & 0.00120 \end{bmatrix}$$

C_matrix (F/km) =

$$\begin{bmatrix} 2.19160e-08 & -5.22106e-09 & -3.01985e-09 \\ -5.22106e-09 & 2.09876e-08 & -5.15030e-09 \\ -3.01985e-09 & -5.15030e-09 & 2.21966e-08 \end{bmatrix}$$

2. Positive- and zero-sequence parameters at 50Hz:

[R1,R0] (ohm/km) = [0.00735 0.22115]

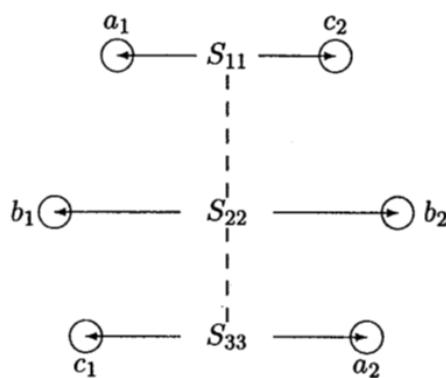
[L1,L0] (H/km) = [0.00044 0.00274]

[C1,C0] (F/km) = [2.61638e-08 1.27726e-08]

تصویر ۱-۴: نتایج شبیه‌سازی سطح انتقال – 400kV

حال می‌خواهیم با محاسبات دستی پارامترهای واحد طول را بدست آوریم.

مطابق با تصویر ۱-۵ یک خط دومداره جابجا شده داریم.



تصویر ۱-۵: خط دومداره جابجا شده

:GMD محاسبه

$$D_{a_1 b_1} = \sqrt{10.3^2 + (10.25 - 8.25)^2} = 10.4924 \text{ m}$$

$$D_{a_1 b_2} = \sqrt{10.3^2 + (20.5 - 2)^2} = 21.1740 \text{ m}$$

$$D_{a_1 c_1} = 10.3 + 10.3 = 20.6 \text{ m}$$

$$D_{a_1 c_2} = 16.5 \text{ m}$$

$$D_{a_2 b_1} = \sqrt{10.3^2 + (16.7 + 1.9)^2} = 21.2615 \text{ m}$$

$$D_{a_2 b_2} = \sqrt{10.3^2 + 1.9^2} = 10.4738 \text{ m}$$

$$D_{a_2 c_1} = 16.7 \text{ m}$$

$$D_{a_2 c_2} = 10.3 + 10.3 = 20.6 \text{ m}$$

$$D_{b_1 c_1} = \sqrt{10.3^2 + 1.9^2} = 10.4738 \text{ m}$$

$$D_{b_1 c_2} = \sqrt{10.3^2 + (20.5 - 2)^2} = 21.1740 \text{ m}$$

$$D_{b_2 c_1} = \sqrt{10.3^2 + (16.7 + 1.9)^2} = 21.2615 \text{ m}$$

$$D_{b_2 c_2} = \sqrt{10.3^2 + (10.25 - 8.25)^2} = 10.4924 \text{ m}$$

$$D_{a_1 a_2} = \sqrt{(8.25 + 8.35)^2 + 20.6^2} = 26.456 \text{ m}$$

$$D_{b_1 b_2} = 20.5 \text{ m}$$

$$D_{c_1 c_2} = \sqrt{(8.25 + 8.35)^2 + 20.6^2} = 26.456 \text{ m}$$

$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{a_1b_1} \cdot D_{a_1b_2} \cdot D_{a_2b_1} \cdot D_{a_2b_2}} = \sqrt[4]{10.4924 \times 21.1740 \times 21.2615 \times 10.4738} = 14.914 \text{ m}$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{b_1c_1} \cdot D_{b_1c_2} \cdot D_{b_2c_1} \cdot D_{b_2c_2}} = \sqrt[4]{10.4738 \times 21.1740 \times 21.2615 \times 10.4924} = 14.914 \text{ m}$$

$$D_{AC} = \sqrt[4]{D_{a_1c_1} \cdot D_{a_1c_2} \cdot D_{a_2c_1} \cdot D_{a_2c_2}} = \sqrt[4]{20.6 \times 16.5 \times 16.7 \times 20.6} = 18.492 \text{ m}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{AC}} = \sqrt[3]{14.914 \times 14.914 \times 18.492} = 16.0223 \text{ m}$$

محاسبه اندوکتانس خط انتقال:

$$D_S^b = \sqrt[3]{D_S \cdot d^2} = \sqrt[3]{\frac{0.03616}{2} \times e^{-\frac{1}{4}} \times 0.45^2} = 0.1418 \text{ m}$$

$$D_{SA} = \sqrt{D_S^b \cdot D_{a_1a_2}} = \sqrt{0.1418 \times 26.4560} = 1.93687 \text{ m}$$

$$D_{SB} = \sqrt{D_S^b \cdot D_{b_1b_2}} = \sqrt{0.1418 \times 20.5} = 1.70496 \text{ m}$$

$$D_{SC} = \sqrt{D_S^b \cdot D_{c_1c_2}} = \sqrt{0.1418 \times 26.4560} = 1.93687 \text{ m}$$

$$GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA} \cdot D_{SB} \cdot D_{SC}} = \sqrt[3]{1.93687 \times 1.70496 \times 1.93687} = 1.85626 \text{ m}$$

$$L = 0.2 \ln \left(\frac{GMD}{GMR_L} \right) = 0.2 \ln \left(\frac{16.0223}{1.85626} \right) \cong 0.43108 \frac{\text{mH}}{\text{km}} \rightarrow L \cong 0.43108 \frac{\text{mH}}{\text{km}}$$

محاسبه ظرفیت خازن انتقال:

$$r^b = \sqrt[3]{r \cdot d^2} = \sqrt[3]{\frac{0.03616}{2} \times 0.45^2} = 0.15413 \text{ m}$$

$$r_A = \sqrt{r^b \cdot D_{a_1a_2}} = \sqrt{0.15413 \times 26.5189} = 2.0217 \text{ m}$$

$$r_B = \sqrt{r^b \cdot D_{b_1b_2}} = \sqrt{0.15413 \times 20.5} = 1.7775 \text{ m}$$

$$r_C = \sqrt{r^b \cdot D_{c_1c_2}} = \sqrt{0.15413 \times 26.5189} = 2.0217 \text{ m}$$

$$GMR_C = \sqrt[3]{r_A \cdot r_B \cdot r_C} = \sqrt[3]{2.0217 \times 1.7775 \times 2.0217} = 1.93678 \text{ m}$$

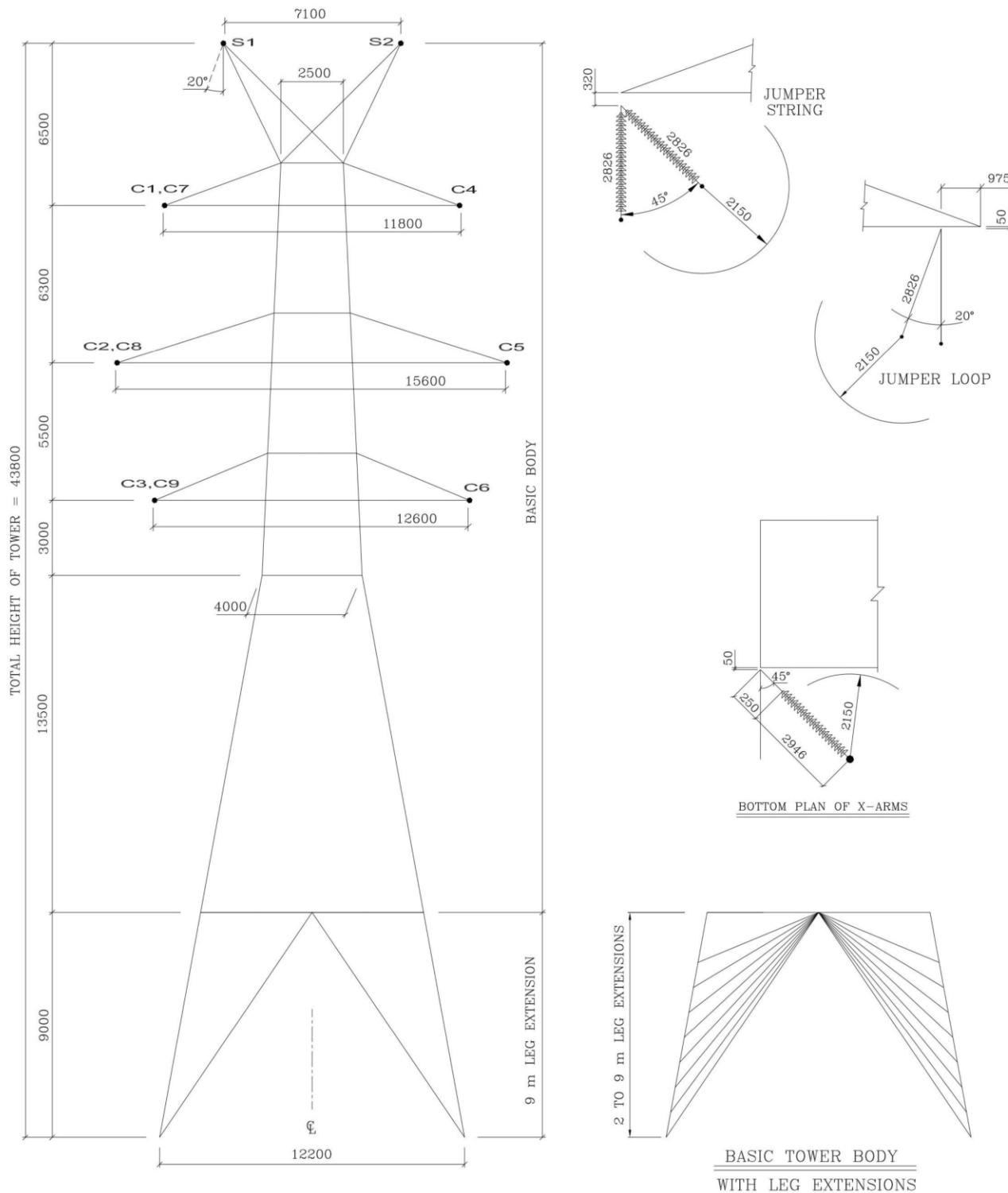
$$C = \frac{0.0556}{\ln \left(\frac{GMD}{GMR_C} \right)} = \frac{0.0556}{\ln \left(\frac{16.0223}{1.93678} \right)} = 0.02631 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}} \rightarrow C \cong 0.02631 \frac{\mu\text{F}}{\text{km}}$$

همانطور که مشاهده می‌شود اندوکتانس و ظرفیت خازن محاسبه شده به روش دستی بسیار به نتیجه شبیه‌سازی یکسان است. علت تفاوت کوچک این است که در محاسبات دستی اثر پوستی و زمین و ... را در نظر نگرفته‌ایم (در نظر گرفتن باعث بزرگتر شدن اندوکتانس و ظرفیت می‌شود که این موضوع اینجا هم محسوس است و نتایج شبیه‌سازی بزرگتر است).

سوال ۲ : سطح انتقال - 230kV

در این قسمت مطابق با تصویر ۱-۲، پارامترهای مورد نیاز را بدست آورده و در محاسبات دستی از آن استفاده می‌کنیم و برای

شبیه‌سازی وارد محیط Power Line Parameters Tool می‌کنیم.



تصویر ۱-۲: ابعاد برج KDT90 - 230kV

مطابق با تصویر ۱-۲ مؤلفه x را برای هر هادی بدست می‌آوریم.

$$X_{p1} = -5.9m, \quad X_{p4} = 5.9m$$

$$X_{p2} = -7.8m, \quad X_{p5} = 7.8m$$

$$X_{p3} = -6.3m, \quad X_{p6} = 6.3m$$

حال مؤلفه y برج را برای هر هادی بدست می‌آوریم.

$$Y_{p1,p4} = 6.3 + 5.5 + 3 + 13.5 - 2.908 = 25.392m$$

$$Y_{p2,p5} = 5.5 + 3 + 13.5 - 2.908 = 19.092m$$

$$Y_{p3,p6} = 3 + 13.5 - 2.908 = 13.592m$$

*** برای وارد کردن مؤلفه y در MATLAB باید مقدار $sag = 5m$ ایجاد شده در هادی‌ها را از مقادیر بالا کم کنیم.

$$Y_{p1,p4} = 25.392m - 5m = 20.392m$$

$$Y_{p2,p5} = 19.092m - 5m = 14.092m$$

$$Y_{p3,p6} = 13.592m - 5m = 8.592m$$

در نهایت این ۶ هادی (p1 تا p6) را از نوع ۱ انتخاب می‌کنیم.

حال می‌خواهیم اطلاعات مربوط به هادی‌های شیلد را وارد کنیم. دو هادی شیلد داریم که فاز آن‌ها را ۰ و از نوع ۲ در نظر می‌گیریم.

در نهایت سایر پارامترها را به صورت زیر بدست می‌آوریم. توجه کنید که هادی‌های شیلد مقره ندارند، نیازی به کم کردن ارتفاع

مقره‌ها در محاسبه Y_{tower} نیست.

$$X_{g1} = -3.55m, \quad X_{g2} = 3.55m$$

$$Y_{tower,g1,g2} = 6.5 + 6.3 + 5.5 + 3 + 13.5 = 34.8m$$

حال باید مقدار $sag = 5m$ را از مؤلفه y کم کنیم تا Y_{min} بدست آید.

$$Y_{min,g1,g2} = 34.8 - 5 = 29.8m$$

سپس روش GMR را برای محاسبه اندوکتانس درونی انتخاب کرده و گزینه در نظر گرفتن اثر پوستی را انتخاب می‌کنیم. حال

مطابق با تصویر ۲-۲ اطلاعات مربوط به هادی نوع ۱ وارد می‌کنیم. برای محاسبه

برای هادی‌های Martin ratio:

$$\frac{T}{D} = \frac{\text{Thickness of Conducting Material}}{\text{Outside Diameter}} = \frac{\frac{3.039 \text{ cm}}{2}}{3.039 \text{ cm} + 1.013 \text{ cm}} = 0.375$$

Steel / ACSR	ACSR	Conductor	Stranding		Sectional area mm ²	Overall diameter	Weight		Ultimate	DC resistance	E _{initial} kg/mm ²	E _{final} kg/mm ²	Alpha _{initial} 1/oC	Alpha _{final} 1/oC	Teta Creep oC				
	Code word	Size , CM or AWG	Nos/mm				Alum	Steel	ACSR	ACSR	Steel								
			Alum	Steel															
0.189	Wolf	150	30/2.59	7/2.59	158.1	194.9	18.13	7.77	726	436.7	288.9	7060	0.1828	6320	8160	0.000018	0.000018	15	
0.189	Oriole	336400	30/2.690	7/2.690	170.5	210.3	18.83	8.07	784.6	473.5	311.1	7870	0.1698	6320	8160	0.0000178	0.0000178	17	
0.189	Lynx	175	30/2.79	7/2.79	183.4	226.2	19.53	8.37	842	507	335.4	8140	0.1576	6320	8157	0.0000178	0.0000178	15	
0.139	Hawk	477000	26/3.439	7/2.675	241.7	280.8	21.78	8.025	976.5	669.2	307.3	8850	0.1196	5200	8360	0.000019	0.000019	17	
0.140	Squab	605000	26/3.874	7/3.012	306.6	356.4	24.53	9.036	1239	849.1	389.6	11000	0.09422	6160	8360	0.000019	0.000019	17	
0.140	Drake	795000	26/4.442	7/3.454	402.8	468.6	28.13	10.36	1628	1116	512.3	14300	0.07167	5710	7700	0.0000189	0.0000189	17	
0.115	Canary	900000	54/3.279	7/3.279	456	515.1	29.51	9.837	1725	1264	461.3	14500	0.06332	6855	8583	0.00001935	0.00001935	20	
0.064	Rail	954000	45/3.698	7/2.466	483.4	516.7	29.59	7.398	1600	1339	261.2	11700	0.05975	5580	7320	0.0000209	0.0000209	23	
0.115	Cardinal	954000	54/3.376	7/3.376	483.4	546.1	30.39	10.13	1828	1339	488.9	15400	0.05973	5590	7000	0.0000193	0.0000193	20	
0.114	Curlew	1033500	54/3.513	7/3.513	523.7	591.3	31.62	10.54	1980	1450	529.5	16600	0.05518	4900	6850	0.00001923	0.00001923	20	
0.112	Martin	1351500	54/4.018	19/2.410	684.8	771.4	36.16	12.05	2584	1906	678.4	21000	0.04238	4700	7450	0.0000205	0.0000205	20	
	ACAR					594			1491						5250	5720	0.000023	0.000023	30
	AAAC					507.7			1398						5250	5710	0.000023	0.000023	25

تصویر ۲-۲: مشخصات هادی Cardianl

برای محاسبه GMR با توجه به اینکه در صورت پروژه اطلاعاتی داده نشده از رابطه $GMR = re^{-0.25}$ استفاده می‌کنیم.

$$GMR = re^{-0.25} = \frac{3.039 \text{ cm}}{2} \times e^{-0.25} = 1.1834 \text{ cm}$$

را برای هادی های Martin طبق اطلاعات موجود در تصویر ۲-۲، Conductor DC resistance ۰.۰۵۹۷۳ Ω/km وارد

می‌کنیم. تعداد باندل ها برابر ۲، فاصله باندل ها ۴۵cm و زاویه هادی های باندل را ۳۰ درجه در نظر می‌گیریم.

همچنین برای هادی شیلد مطابق با اطلاعات صورت پروژه، قطر را 12mm و مقاومت را 4 Ω/km در نظر می‌گیریم.

را برای هادی های شیلد ۰.۵ در نظر می‌گیریم و قطر این هادی ها را مطابق صورت پروژه 12mm Conductor T/D ratio

وارد می‌کنیم. برای محاسبه GMR با توجه به اینکه در صورت پروژه اطلاعاتی داده نشده از رابطه $GMR = re^{-0.25}$ استفاده

می‌کنیم.

$$GMR = re^{-0.25} = \frac{1.2 \text{ cm}}{2} \times e^{-0.25} = 0.46728 \text{ cm}$$

را برای هادی های شیلد، طبق صورت پروژه ۴ Ω/km وارد می‌کنیم. تعداد باندل ها برابر ۱

است.

در نهایت همه اطلاعات بدست آمده را مطابق تصویر ۳-۲ وارد محیط Power Line Parameters Tool می‌کنیم.

نتایج شبیه‌سازی مطابق تصاویر ۴-۲ خواهد بود که مطابق ویدیو آموزشی، مقادیر Positive- sequence برای ما مهم هستند.

$$L = 0.00047 \frac{H}{km}, \quad C = 2.45874 \times 10^{-8} \frac{F}{km}, \quad R = 0.01519 \frac{\Omega}{km}$$

Example of a 735 KV three-phase line

Three bundles of 4 Bersfort ACSR 1355 MCM conductors
Two 1/2 inch diameter steel grounds wires

$Y_{tower} = Y_{min}$ = average heights of conductors

General Parameters						
Units:	metric					
Ground Resistivity (ohm.m):	100					
Nominal Frequency (Hz):	50					

Line Geometry

Phase conductors (bundles): 6

	Label	Phase Number	X (m)	Y tower (m)	Y min (m)	Conductor type
1	p1	1	-5.9	25.392	20.392	1
2	p2	2	-7.8	19.092	14.092	1
3	p3	3	-6.3	13.592	8.592	1
4	p4	3	5.9	25.392	20.392	1

Ground conductors (bundles): 2

	Label	Phase	X (m)	Y tower (m)	Y min (m)	Conductor type
1	g1	0	-3.55	34.8	29.8	2
2	g2	0	3.55	34.8	29.8	2

Conductors

Internal conductor inductance evaluated from:
Conductor types: 2 include conductor skin effect Geometric Mean Radius (GMR)

	D out (cm)	T/D ratio	GMR (cm)	DC res (Ohms/km)	unused	Nb_cond	Db (cm)	Angle (deg.)
1	3.039	.375	1.1834	0.0597	1	2	30	0
2	1.2	.5	0.4673	4	1	1	0	0

تصویر ۲-۳: وارد کردن اطلاعات برج و های هادی

Computed Parameters

1. RLC matrices, at 50Hz.

R_matrix (ohm/km) =

$$\begin{bmatrix} 0.08935 & 0.07349 & 0.07416 \\ 0.07349 & 0.08800 & 0.07349 \\ 0.07416 & 0.07349 & 0.08935 \end{bmatrix}$$

L_matrix (H/km) =

$$\begin{bmatrix} 0.00131 & 0.00086 & 0.00082 \\ 0.00086 & 0.00132 & 0.00086 \\ 0.00082 & 0.00086 & 0.00131 \end{bmatrix}$$

C_matrix (F/km) =

$$\begin{bmatrix} 1.99626e-08 & -5.24314e-09 & -3.22922e-09 \\ -5.24314e-09 & 2.01216e-08 & -5.24314e-09 \\ -3.22922e-09 & -5.24314e-09 & 1.99626e-08 \end{bmatrix}$$

2. Positive- and zero-sequence parameters at 50Hz:

[R1,R0] (ohm/km) = [0.01519 0.23633]

[L1,L0] (H/km) = [0.00047 0.00301]

[C1,C0] (F/km) = [2.45874e-08 1.08719e-08]

تصویر ۴-۴: نتایج شبیه‌سازی سطح انتقال - 230kV

حال می‌خواهیم با محاسبات دستی پارامترهای واحد طول را بدست آوریم. مشابه قسمت قبل روند محاسبه پارامترها را طی می‌کنیم.

محاسبه GMD:

$$D_{a_1 b_1} = \sqrt{6.3^2 + (7.8 - 5.9)^2} = 6.58027 \text{ m}$$

$$D_{a_1 b_2} = \sqrt{6.3^2 + (15.6 - 1.9)^2} = 15.0791 \text{ m}$$

$$D_{a_1 c_1} = 6.3 + 5.5 = 11.8 \text{ m}$$

$$D_{a_1 c_2} = 11.8 \text{ m}$$

$$D_{a_2 b_1} = \sqrt{5.5^2 + (6.3 + 7.8)^2} = 15.1347 \text{ m}$$

$$D_{a_2 b_2} = \sqrt{5.5^2 + 1.5^2} = 5.7009 \text{ m}$$

$$D_{a_2 c_1} = 12.6 \text{ m}$$

$$D_{a_2 c_2} = 6.3 + 5.5 = 11.8 \text{ m}$$

$$D_{b_1 c_1} = \sqrt{5.5^2 + 1.5^2} = 5.7009 \text{ m}$$

$$D_{b_1 c_2} = \sqrt{6.3^2 + (15.6 - 1.9)^2} = 15.0791 \text{ m}$$

$$D_{b_2 c_1} = \sqrt{5.5^2 + (6.3 + 7.8)^2} = 15.1347 \text{ m}$$

$$D_{b_2 c_2} = \sqrt{6.3^2 + 1.9^2} = 6.58027 \text{ m}$$

$$D_{a_1 a_2} = \sqrt{(5.9 + 6.3)^2 + (5.5 + 6.3)^2} = 16.97292 \text{ m}$$

$$D_{b_1 b_2} = 15.6 \text{ m}$$

$$D_{c_1 c_2} = \sqrt{(5.9 + 6.3)^2 + (5.5 + 6.3)^2} = 16.97292 \text{ m}$$

$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{a_1 b_1} \cdot D_{a_1 b_2} \cdot D_{a_2 b_1} \cdot D_{a_2 b_2}} = \sqrt[4]{6.58027 \times 15.0791 \times 15.1347 \times 5.7009} = 9.6191 \text{ m}$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{b_1 c_1} \cdot D_{b_1 c_2} \cdot D_{b_2 c_1} \cdot D_{b_2 c_2}} = \sqrt[4]{5.7009 \times 15.0791 \times 15.1347 \times 6.58027} = 9.6191 \text{ m}$$

$$D_{AC} = \sqrt[4]{D_{a_1 c_1} \cdot D_{a_1 c_2} \cdot D_{a_2 c_1} \cdot D_{a_2 c_2}} = \sqrt[4]{11.8 \times 11.8 \times 12.6 \times 11.8} = 11.9951 \text{ m}$$

$$\mathbf{GMD} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{AC}} = \sqrt[3]{9.6191 \times 9.6191 \times 11.9951} = \mathbf{10.35359 \text{ m}}$$

محاسبه اندوکتانس خط انتقال:

$$D_S^b = \sqrt{D_S \cdot d} = \sqrt{\frac{0.03039}{2} \times e^{-\frac{1}{4}} \times 0.3} = 0.05958 \text{ m}$$

$$D_{SA} = \sqrt{D_S^b \cdot D_{a_1 a_2}} = \sqrt{0.05958 \times 16.97292} = 1.0056 \text{ m}$$

$$D_{SB} = \sqrt{D_S^b \cdot D_{b_1 b_2}} = \sqrt{0.05958 \times 15.6} = 0.96408 \text{ m}$$

$$D_{SC} = \sqrt{D_S^b \cdot D_{c_1 c_2}} = \sqrt{0.05958 \times 16.97292} = 1.0056 \text{ m}$$

$$GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA} \cdot D_{SB} \cdot D_{SC}} = \sqrt[3]{1.0056 \times 0.96408 \times 1.0056} = 0.99157 \text{ m}$$

$$L = 0.2 \ln \left(\frac{GMD}{GMR_L} \right) = 0.2 \ln \left(\frac{10.35359}{0.99157} \right) \cong 0.46916 \text{ mH/km} \rightarrow L \cong 0.46916 \frac{\text{mH}}{\text{km}}$$

محاسبه ظرفیت خازن خط انتقال:

$$r^b = \sqrt{r \cdot d} = \sqrt{\frac{0.03039}{2} \times 0.3} = 0.06752 \text{ m}$$

$$r_A = \sqrt{r^b \cdot D_{a_1 a_2}} = \sqrt{0.06752 \times 16.97292} = 1.0705 \text{ m}$$

$$r_B = \sqrt{r^b \cdot D_{b_1 b_2}} = \sqrt{0.06752 \times 15.6} = 1.0263 \text{ m}$$

$$r_C = \sqrt{r^b \cdot D_{c_1 c_2}} = \sqrt{0.06752 \times 16.97292} = 1.0705 \text{ m}$$

$$GMR_C = \sqrt[3]{r_A \cdot r_B \cdot r_C} = \sqrt[3]{1.0705 \times 1.0263 \times 1.0705} = 1.05556 \text{ m}$$

$$C = \frac{0.0556}{\ln \left(\frac{GMD}{GMR_C} \right)} = \frac{0.0556}{\ln \left(\frac{10.35359}{1.05556} \right)} = 0.02435 \mu F/\text{km} \rightarrow C \cong 0.02435 \frac{\mu F}{\text{km}}$$

همانطور که مشاهده می‌شود اندوکتانس و ظرفیت خازن محاسبه شده به روش دستی بسیار به نتیجه شبیه‌سازی یکسان است.

علت تفاوت کوچک این است که در محاسبات دستی اثر پوستی و زمین و ... را در نظر نگرفته‌ایم (در نظر گرفتن باعث بزرگتر شدن

اندوکتانس و ظرفیت می‌شود که این موضوع اینجا هم محسوس است و نتایج شبیه‌سازی بزرگتر است).

سوال ۳: مسئله پخش بار

در این قسمت ابتدا با استفاده از فرکانس کاری خط را برای هر کدام از خطوط $400kV$ و $230kV$ بدست می‌آوریم.

خطوط * $400kV$

$$L = 0.00044 \frac{H}{km}, \quad C = 2.61638 \times 10^{-8} \frac{F}{km}, \quad R = 0.00735 \frac{\Omega}{km}$$

$$X = 2 \times \pi \times f \times L = 2\pi \times 50 \times 0.00044 = 0.13823 \Omega/km$$

$$B = 2 \times \pi \times f \times C = 2\pi \times 50 \times 2.61638 \times 10^{-8} = 8.2196 \times 10^{-6} \Omega/km$$

$$R = 0.00735 \Omega/km$$

خطوط * $230kV$

$$L = 0.00047 \frac{H}{km}, \quad C = 2.45874 \times 10^{-8} \frac{F}{km}, \quad R = 0.01519 \frac{\Omega}{km}$$

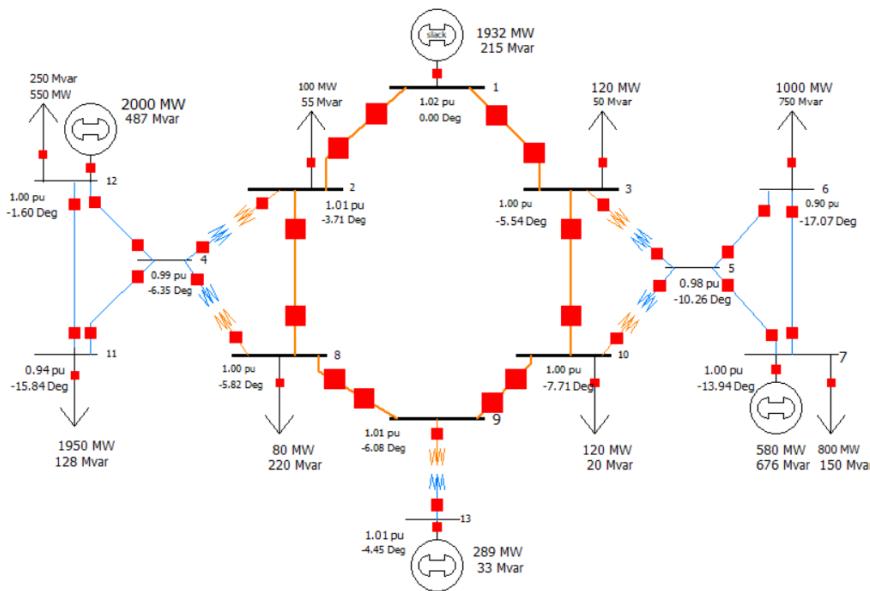
$$X = 2 \times \pi \times f \times L = 2\pi \times 50 \times 0.00047 = 0.14765 \Omega/km$$

$$B = 2 \times \pi \times f \times C = 2\pi \times 50 \times 2.45874 \times 10^{-8} = 7.72436 \times 10^{-6} \Omega/km$$

$$R = 0.01519 \Omega/km$$

حال مطابق با تصویر ۳-۱ مدار مربوطه را با وارد کردن مقادیر ولتاژ باس‌ها و ژنراتور‌ها و تعیین اطلاعات مربوط به ترانسفورماتور‌ها

بدست می‌آوریم.



تصویر ۳-۱: مدار مورد نیاز برای شبیه‌سازی خطوط انتقال (اندازه و زاویه باس‌ها)

حال به سوالات این قسمت پاسخ می‌دهیم:

قسمت الف) اجرای پخش بار برای شبکه تصویر ۱-۳ به روش گوس-سایدل و استخراج پارامترها:

اندازه و زاویه ولتاژ تمامی باس‌ها:

$$V_1 = 1.02 \angle 40^\circ \text{ p.u.} = 408 \angle 40^\circ \text{ kV}$$

$$V_2 = 1.0067 \angle -3.714^\circ \text{ p.u.} = 402.68 \angle -3.714^\circ \text{ kV}$$

$$V_3 = 1.0018 \angle -5.542^\circ \text{ p.u.} = 400.72 \angle -5.542^\circ \text{ kV}$$

$$V_4 = 0.9882 \angle -6.349^\circ \text{ p.u.} = 227.286 \angle -6.349^\circ \text{ kV}$$

$$V_5 = 0.9804 \angle -10.255^\circ \text{ p.u.} = 225.492 \angle -10.255^\circ \text{ kV}$$

$$V_6 = 0.8961 \angle -17.072^\circ \text{ p.u.} = 206.103 \angle -17.072^\circ \text{ kV}$$

$$V_7 = 1.0000 \angle -13.944^\circ \text{ p.u.} = 230 \angle -13.944^\circ \text{ kV}$$

$$V_8 = 0.9988 \angle -5.825^\circ \text{ p.u.} = 399.52 \angle -5.825^\circ \text{ kV}$$

$$V_9 = 1.0071 \angle -6.081^\circ \text{ p.u.} = 402.84 \angle -6.081^\circ \text{ kV}$$

$$V_{10} = 1.0010 \angle -7.712^\circ \text{ p.u.} = 400.4 \angle -7.712^\circ \text{ kV}$$

$$V_{11} = 0.9432 \angle -15.843^\circ \text{ p.u.} = 216.936 \angle -15.843^\circ \text{ kV}$$

$$V_{12} = 1.0000 \angle -1.603^\circ \text{ p.u.} = 230 \angle -1.603^\circ \text{ kV}$$

$$V_{13} = 1.0100 \angle -4.454^\circ \text{ p.u.} = 232.3 \angle -4.454^\circ \text{ kV}$$

توان عبوری از خطوط:

$$S_{1-2} = 777.82 \text{ MW} + j 73.09 \text{ MVar}$$

$$S_{2-1} = -775.07 \text{ MW} - j 156.16 \text{ MVar}$$

$$S_{loss_{line_{1,2}}} = 2.746 \text{ MW} - j 83.074 \text{ MVar}$$

$$S_{1-3} = 1154.05 \text{ MW} + j 141.54 \text{ MVar}$$

$$S_{3-1} = -1148.01 \text{ MW} - j 161.65 \text{ MVar}$$

$$S_{loss_{line_{1,3}}} = 6.037 \text{ MW} - j 20.112 \text{ MVar}$$

$$S_{11-12} = -835.05 \text{ MW} - j 20.58 \text{ MVar}$$

$$S_{12-11} = 857.48 \text{ MW} + j 199.77 \text{ MVar}$$

$$S_{loss_{line_{11,12}}} = 22.435 \text{ MW} + j 179.189 \text{ MVar}$$

$$S_{2-8} = 217.72 \text{ MW} - j 94.90 \text{ MVar}$$

$$S_{8-2} = -217.23 \text{ MW} - j 161.83 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{2,8}}} = 0.488 \text{ MW} - j 256.729 \text{ MVAr}$$

$$S_{3-10} = 221.00 \text{ MW} - j 135.15 \text{ MVAr}$$

$$S_{10-3} = -220.50 \text{ MW} - j 120.79 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{3,10}}} = 0.492 \text{ MW} - j 255.931 \text{ MVAr}$$

$$S_{6-7} = -207.71 \text{ MW} - j 325.17 \text{ MVAr}$$

$$S_{7-6} = 212.64 \text{ MW} + j 336.22 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{6,7}}} = 4.938 \text{ MW} + j 11.051 \text{ MVAr}$$

$$S_{4-11} = 1135.14 \text{ MW} + j 284.26 \text{ MVAr}$$

$$S_{11-4} = -1114.94 \text{ MW} - j 107.38 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{4,12}}} = 20.206 \text{ MW} + j 176.878 \text{ MVAr}$$

$$S_{4-12} = -587.44 \text{ MW} - j 8.62 \text{ MVAr}$$

$$S_{12-4} = 592.51 \text{ MW} + j 37.60 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{4,12}}} = 5.071 \text{ MW} + j 28.976 \text{ MVAr}$$

$$S_{5-7} = 435.92 \text{ MW} - j 178.03 \text{ MVAr}$$

$$S_{7-5} = -432.66 \text{ MW} + j 189.60 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{5,7}}} = 3.260 \text{ MW} + j 11.566 \text{ MVAr}$$

$$S_{5-6} = 806.60 \text{ MW} + j 545.64 \text{ MVAr}$$

$$S_{6-5} = -792.28 \text{ MW} - j 424.81 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{5,6}}} = 14.319 \text{ MW} + j 120.827 \text{ MVAr}$$

$$S_{8-9} = 46.88 \text{ MW} - j 164.13 \text{ MVAr}$$

$$S_{9-8} = -46.82 \text{ MW} + j 32.97 \text{ MVAr}$$

$$S_{loss_{line_{8,9}}} = 0.061 \text{ MW} - j 131.157 \text{ MVAr}$$

$$S_{9-10} = 335.51 \text{ MW} - j 8.05 \text{ MVAr}$$

$$S_{10-9} = -334.99 \text{ MW} - j 114.55 \text{ MVAr}$$

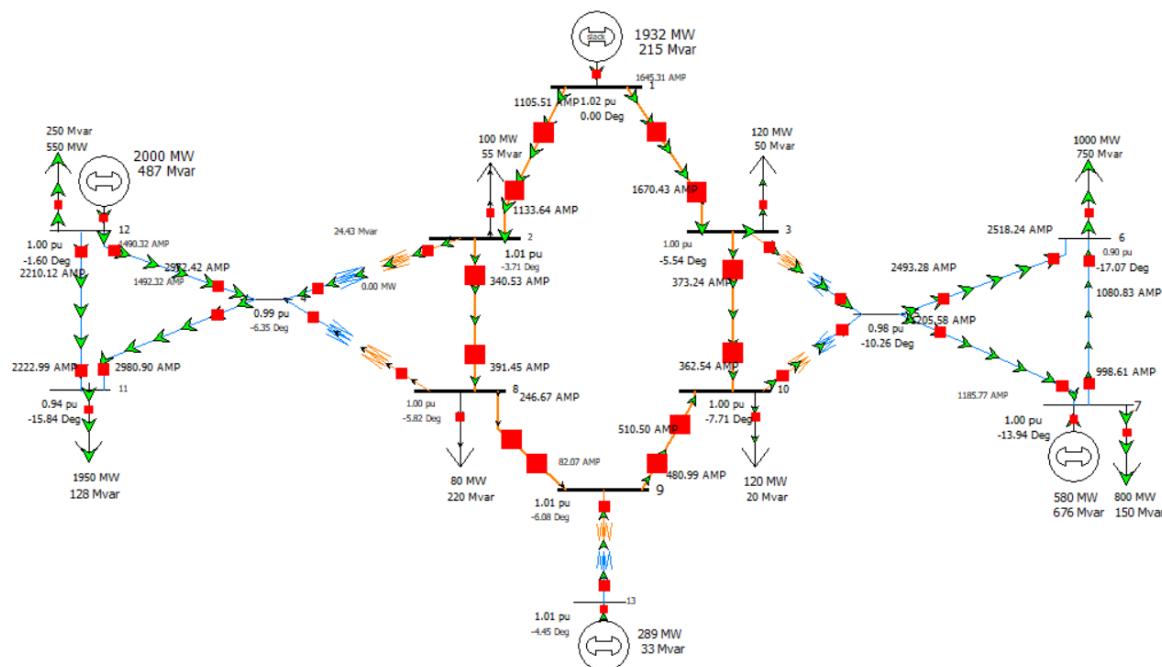
$$S_{loss_{line9,10}} = 0.528 \text{ MW} - j122.601 \text{ MVar}$$

مجموع تلفات اکتیو شبکه:

$$P_{loss_{total}} = 2.746 + 6.037 + 22.435 + 0.488 + 0.492 + 4.938 + 20.206 + 5.071 + 3.260 \\ + 14.319 + 0.061 + 0.528 = 80.581 \text{ MW}$$

$$\rightarrow P_{loss_{total}} = 80.581 \text{ MW}$$

جریان ابتدا و انتهای خطوط و دلیل تفاوت مقادیر آنها: مطابق با تصویر ۲-۳ مقادیر جریان هر خط را گزارش می‌کنیم.



تصویر ۲-۳: گزارش جریان هر خط

$$I_{11-12(S)} = 2222.99A, \quad I_{11-12(E)} = 2210.12A$$

$$I_{4-12(S)} = 1492.32A, \quad I_{4-12(E)} = 1490.32 A$$

$$I_{4-11(S)} = 2972.42A, \quad I_{4-11(E)} = 2980.9 A$$

$$I_{2-8(S)} = 340.53A, \quad I_{8-2(E)} = 391.45A$$

$$I_{1-2(S)} = 1105.52A, \quad I_{1-2(E)} = 1133.64A$$

$$I_{8-9(S)} = 246.67A, \quad I_{8-9(E)} = 82.07A$$

$$I_{1-3(S)} = 1645.31A, \quad I_{1-3(E)} = 1670.43A$$

$$I_{3-10(S)} = 373.24A, \quad I_{3-10(E)} = 362.53A$$

$$I_{9-10(S)} = 480.99A, \quad I_{9-10(E)} = 510.50A$$

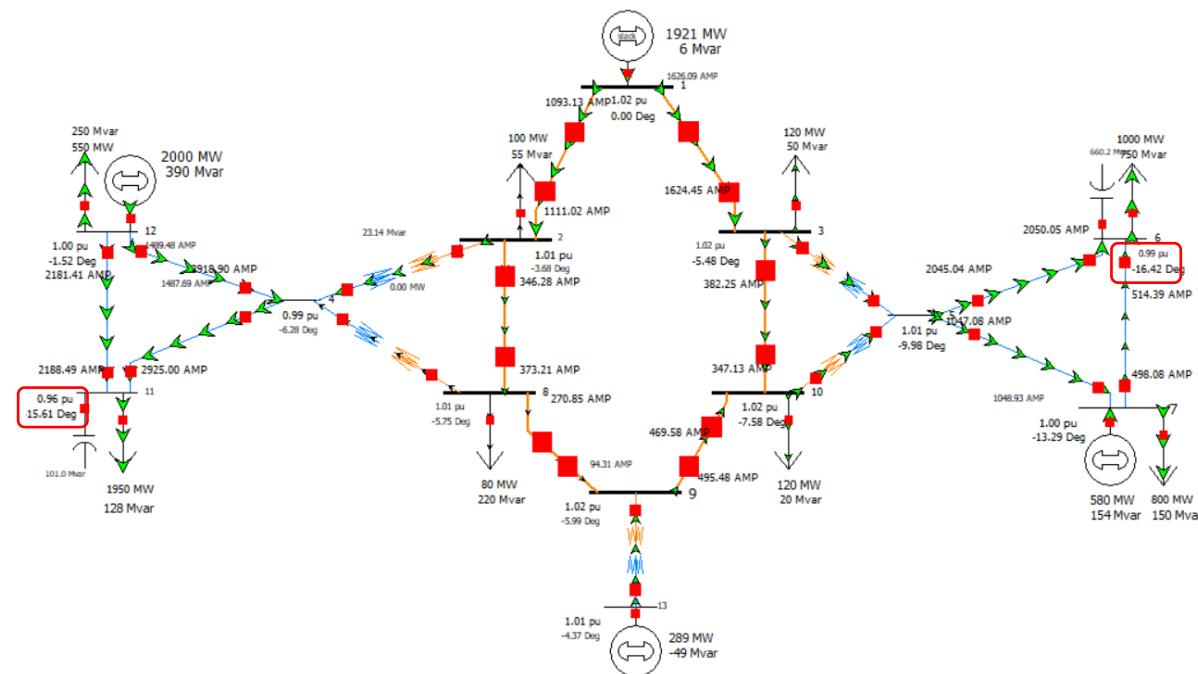
$$I_{5-6(S)} = 2493.28A, \quad I_{5-6(E)} = 2654.41A$$

$$I_{5-7(S)} = 1205.57A, \quad I_{5-7(E)} = 1185.77A$$

$$I_{6-7(S)} = 1080.83A, \quad I_{6-7(E)} = 998.61A$$

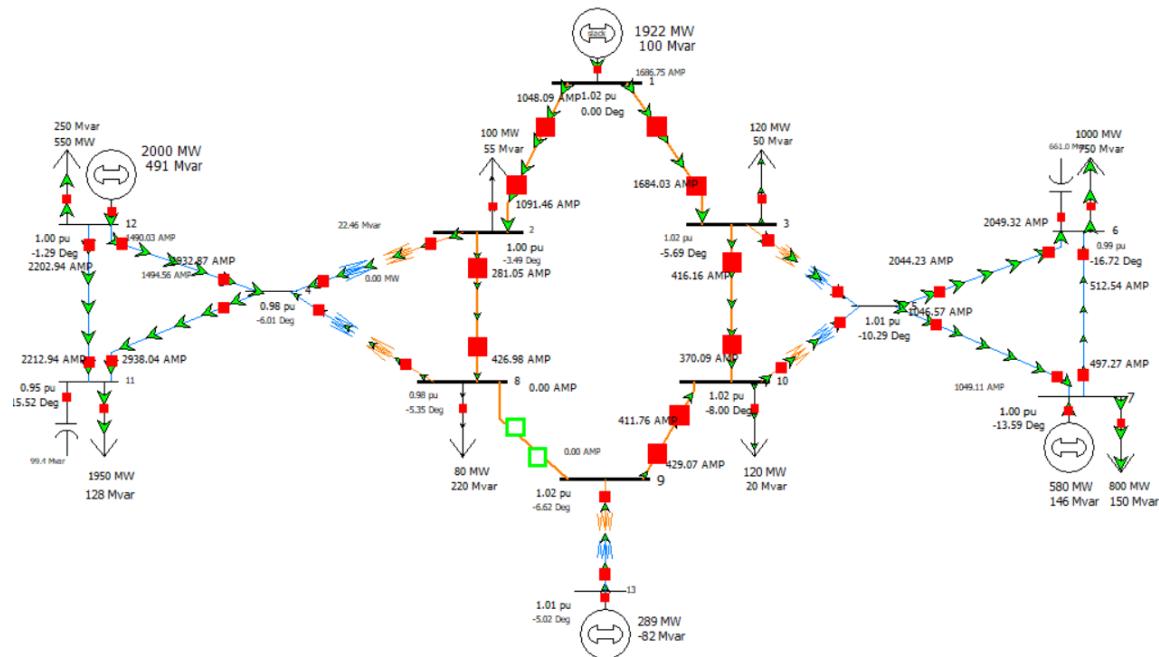
همانطور که در درس نیز اشاره شد، علت تفاوت در مقادیر جریان‌ها، این است که در مدل خط انتقال کوتاه از وجود خازن خط صرف نظر می‌کردیم اما در مدل‌های خط متوسط و بلند ظرفیت خازن خط را در نظر می‌گیریم. زیرا خازن خط نیاز به جریانی برای شارژ شدن دارد و در نتیجه جریان‌های گزارش شده برای یک خط یکسان نیست.

قسمت ب) همانطور که در تصویر ۳-۲ مشاهده می‌شود، ولتاژ باس‌های ۱۱ و ۶ در محدوده [۰.۹۵, ۱.۰۵] قرار ندارد. از طرفی با توجه به مطالب ارائه شده در درس اضافه شدن خازن سری یا موازی به جبران سازی ولتاژ کمک می‌کند. اضافه شدن خازن موازی همچنین باعث بهبود ولتاژ، افزایش توان انتقالی و بهبود پایداری در بارگذاری کمک می‌کند. مطابق با تصویر ۳-۳ خازن موازی به باس‌های ۱۱ و ۶ اضافه می‌کنیم. همانطور که مشاهده می‌شود ولتاژ این دو باس افزایش پیدا کرده و در بازه مورد نظر قرار می‌گیرد.



تصویر ۳-۳: اضافه کردن خازن موازی به باس‌های ۶ و ۱۱

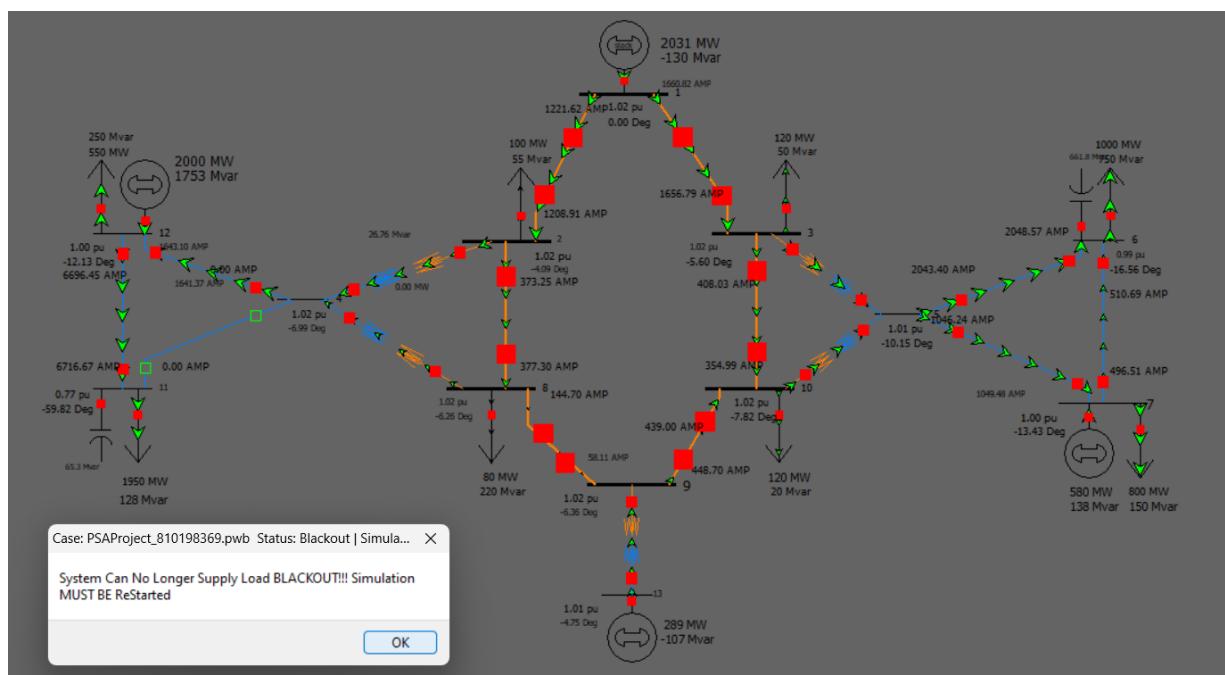
قسمت پ) در این قسمت ابتدا مطابق با تصویر ۳-۴ خط بین باس‌های ۸ و ۹ را حذف می‌کنیم. همانطور که مشاهده می‌شود، در مقایسه با تصویر ۳-۳ جریان خطوط نزدیک به این باس‌ها تغییراتی داشته است و زیاد یا کم شده است. اما باس‌های دورتر کمتر از این موضوع تأثیر گرفته است.



تصویر ۴-۴: تأثیر حذف خط بین باس‌های ۸ و ۹

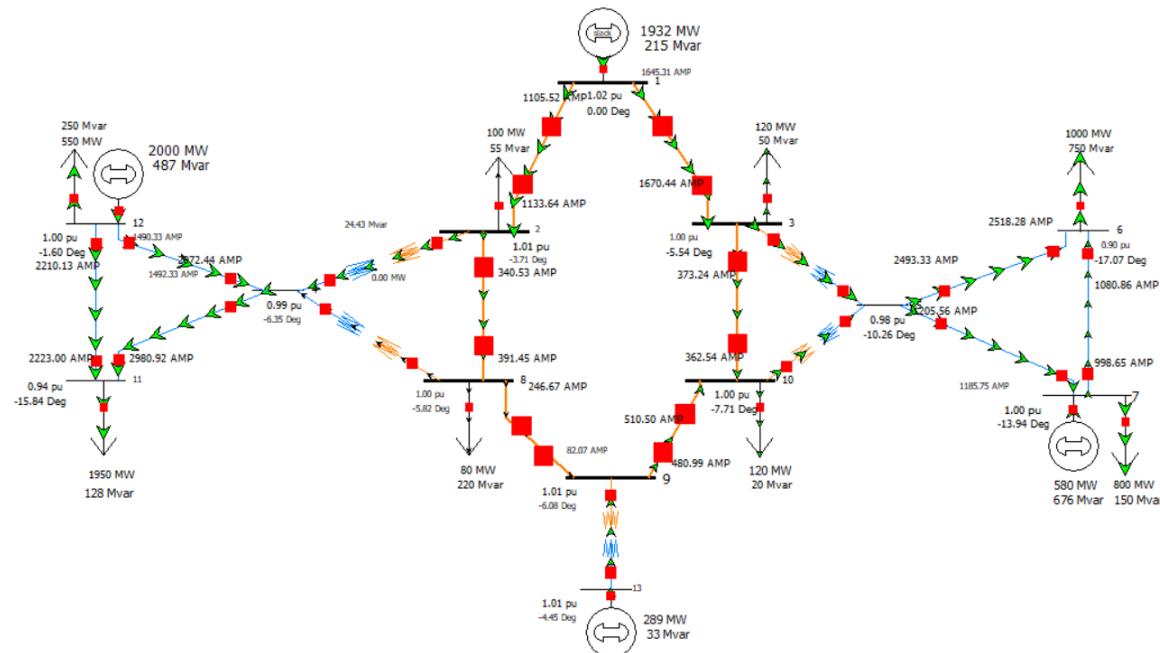
حال می‌خواهیم خط بین باس‌های ۴ و ۱۱ را حذف کنیم. همانطور که در تصویر ۳-۵ مشاهده می‌شود، حذف این خط بیشترین

تأثیر را روی باس‌های مختلف دارد و شبکه دچار Blockout می‌شود.



تصویر ۳-۵: تأثیر حذف خط بین باس‌های ۴ و ۱۱

قسمت ت) در این قسمت مجدداً مدار را به حالت قبل از قسمت پ بر می‌گردانیم (اثر جبران ولتاژ را حذف می‌کنیم). سپس توان هر ناحیه را بدست می‌آوریم.



تصویر ۳-۶: محاسبه توان‌های هر ناحیه

ناحیه شمالی: تولید کننده توان اکتیو و راکتیو

$$S_{G,north} = 1932MW + j215MVA$$

$$S_{C,north} = 100MW + 120MW + j50MVA + j55MVA = 220MW + j105MVA$$

$$S_{loss,north} = 6.037MW + 2.746MW - j20.112MVA - j83.074MVA = 8.783 MW - j103.186MVA$$

$$S_{total,north} = 1932 - 220 - 8.783 + j215 - j105 - (-j103.186) = 1703.217 MW + j213.186MVA$$

ناحیه جنوبی: تولید کننده توان اکتیو و راکتیو

$$S_{G,south} = 289MW + j33MVA$$

$$S_{C,south} = 80MW + 120MW + j20MVA + j220MVA = 200MW + j240MVA$$

$$S_{loss,south} = 0.528MW + 0.061MW - j131.157MVA - j122.601MVA + 8.278MVA$$

$$= 0.589MW - j245.48MVA$$

$$S_{total,south} = 289 - 200 - 0.589 + j33 - j240 - (-j245.48) = 88.411MW + j213.186MVA$$

ناحیه شرقی: مصرف کننده توان اکتیو و راکتیو

$$S_{G,east} = 580MW + j676MVA$$

$$S_{C,east} = 800MW + 1000MW + j150MVA + j750MVA = 1800MW + j900MVA$$

$$S_{loss,east} = 4.938MW + 14.319MW + 3.260MW + j11.051MVA + j120.827MVA + 11.566MVA \\ = 22.517MW + j143.444MVA$$

$$S_{total,east} = 580 - 1800 - 22.517 + j676 - j900 - 143.444 = -1212.517MW - j367.444MVA$$

ناحیهٔ غربی: مصرف کنندهٔ توان اکتیو و راکتیو

$$S_{G,west} = 2000MW + j487.401MVA$$

$$S_{C,west} = 550MW + 1950MW + j550MVA + j128MVA = 2500MW + j678MVA$$

$$S_{loss,west} = 22.436MW + 5.071MW + 20.207MW + j179.195MVA + j28.977MVA + 176.884MVA \\ = 47.714MW + j285.056MVA$$

$$S_{total,west} = 2000 - 2500 - 47.714 + j487.401 - j578 - 385.056 = -547.714MW - j575.655MVA$$

بیشترین تولید کنندهٔ توان اکتیو: ناحیهٔ شمالی

بیشترین تولید کنندهٔ توان راکتیو: ناحیهٔ شمالی

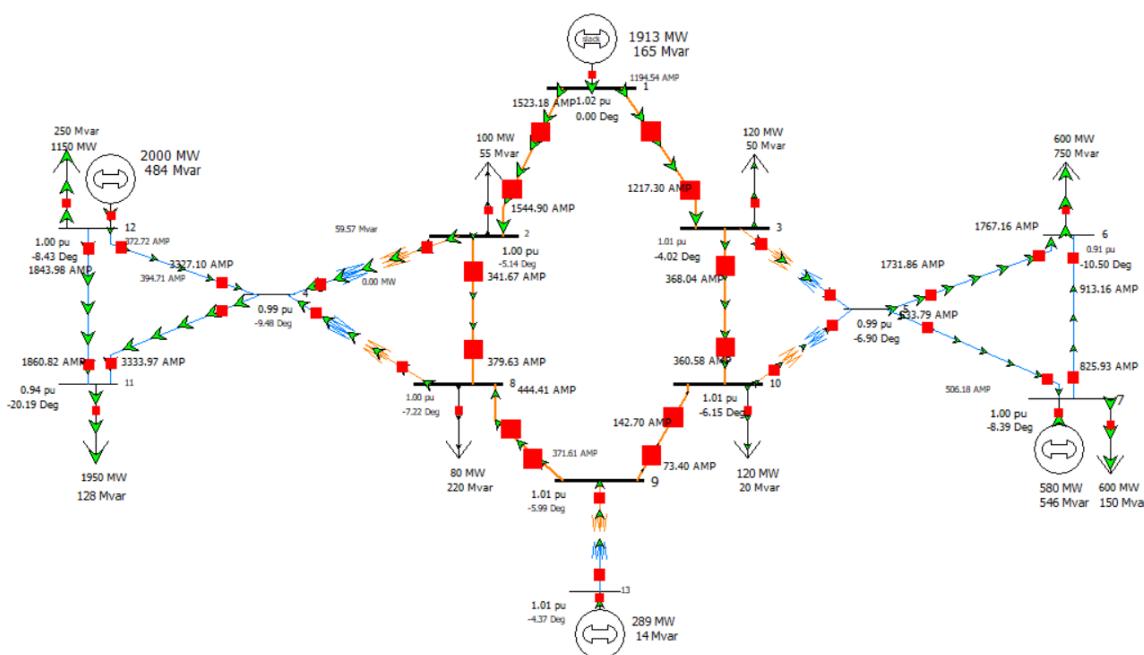
بیشترین مصرف کنندهٔ توان اکتیو: ناحیهٔ شرقی

بیشترین مصرف کنندهٔ توان راکتیو: ناحیهٔ غربی

قسمت ث) در این قسمت مطابق با اطلاعات داده شده در صورت پروژهٔ توان اکتیو بس‌های ۱۲، ۶ و ۷ را طوری تغییر می‌دهیم

تا توان اکتیو مصرفی ناحیهٔ شرقی ۶۰۰MW کاهش و توان تولیدی ناحیهٔ غربی ۶۰۰MW افزایش یابد. تصویر ۳-۷ مدار به روز

شده را نشان می‌دهد. (می‌خواهیم بارها در دو ناحیه، برای بس‌های مختلف متوازن (نزدیک به هم) شود.)

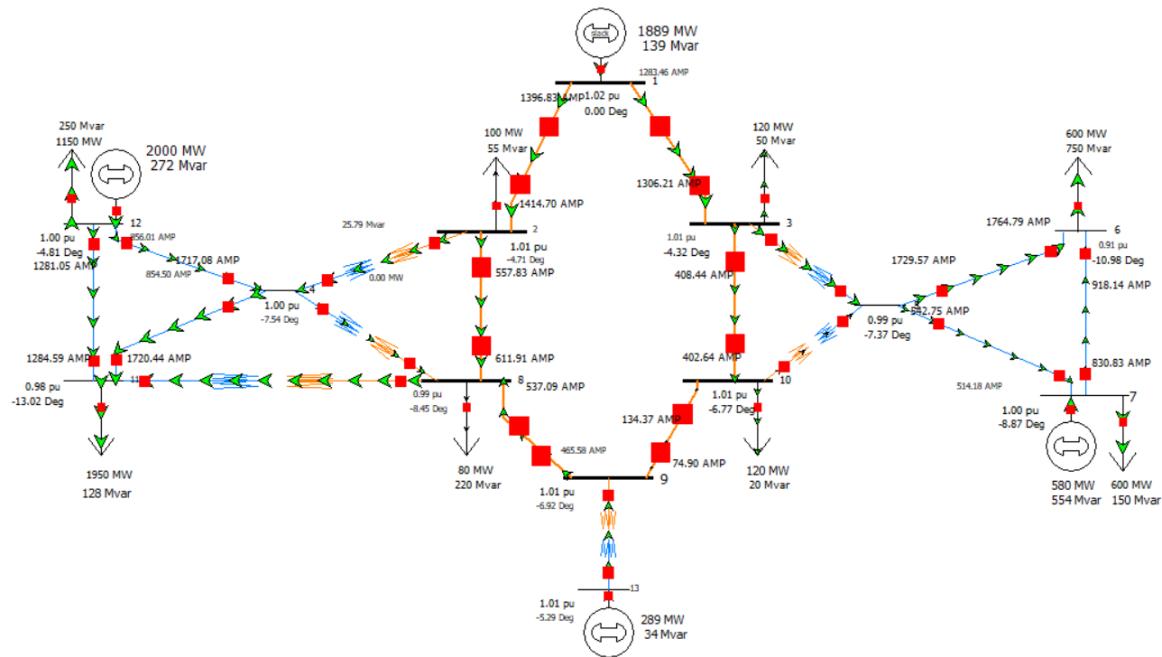


تصویر ۳-۷: تأثیر توان‌های مصرفی نواحی غربی و شرقی

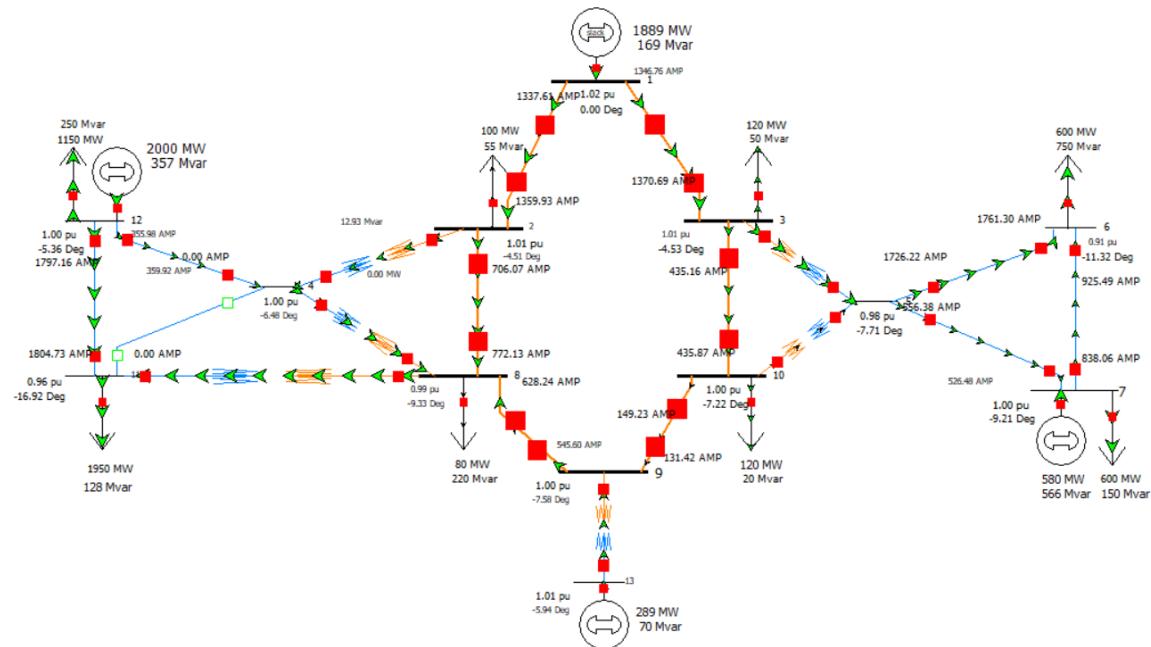
همانطور که در تصویر ۳-۷ مشاهده می‌شود، ولتاژ باس‌های ۱۰ و ۳ و ۵ و ۶ افزایش می‌یابد که مطلوب است. هم‌چنین جریان در خط انتقال باس‌های ۴ و ۱۲ و خط انتقال باس‌های ۵ و ۶ و خط انتقال باس‌های ۵ و ۷ کاهش زیادی پیدا می‌کند، هرچند جریان برخی از باس‌های دیگر اندکی افزایش می‌یابد ولی در حالت کلی، جریان کل گذرنده از خطوط کاهش می‌یابد که موجب کاهش تلفات در سیستم خواهد شد که نتیجه پخش متوازن بار در شبکه است. زمانی که بارها به صورت متوازن پخش نشوند، برای اینکه یک بار سنگین را تغذیه بکنیم، جریان زیادی از خطوط باید بگذرد و تلفات افزایش می‌یابد اما اگر بارها پخش شده باشند جریان عبوری از خطوط بین بارها پخش می‌شود و نیاز نیست برای تامین فقط یک بار جریان زیادی انتقال دهیم.

قسمت ج) در این قسمت می‌خواهیم معیار N1-Contingency را مورد بررسی قرار دهیم.

- ۱- همانطور که در بخش پ مشاهده شد، حذف خط بین باس‌های ۴ و ۱۱ باعث خاموش شدن شبکه می‌شود.
- ۲- در صورتی که بین باس‌های ۸ و ۱۱ یک ترانسفورماتور قرار دهیم، هنگام قطع شدن خط بین باس‌های ۴ و ۱۱ شبکه خاموش نمی‌شود. تصاویر ۳-۸ و ۳-۹ تأثیر این تغییر را نشان می‌دهند.

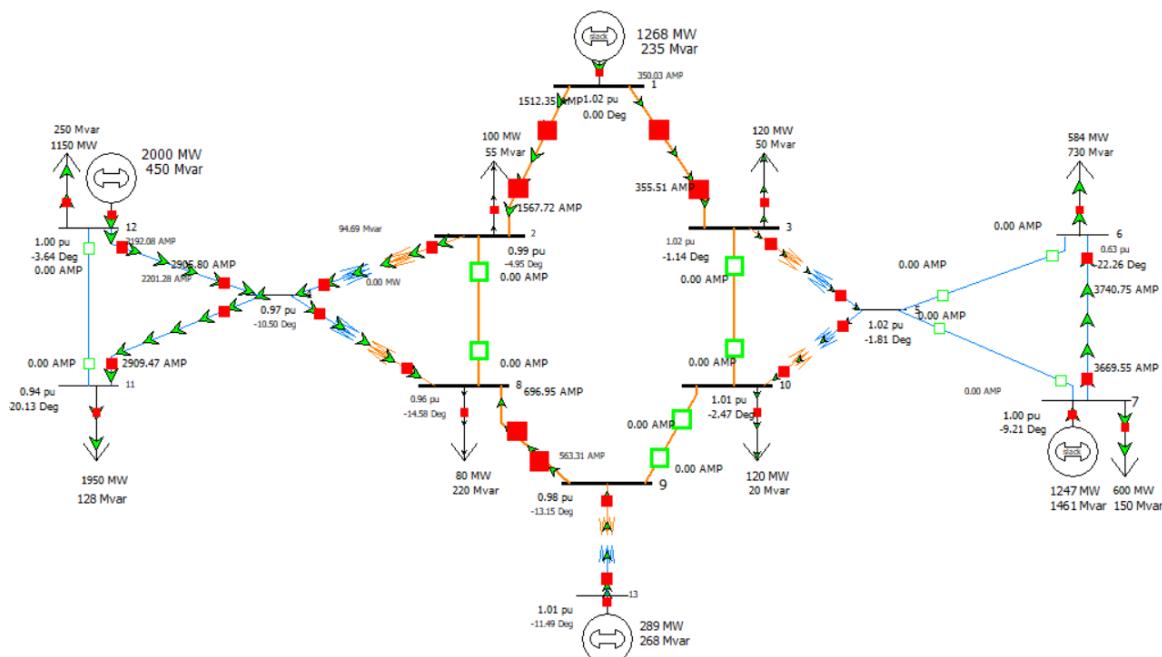


تصویر ۳-۸: اضافه کردن ترانسفورماتور بین باس‌های ۸ و ۱۱



تصویر ۳-۹: تأثیر اضافه کردن ترانسفورماتور بین باس‌های ۸ و ۱۱ هنگام قطع شدن خط بین باس‌های ۴ و ۱۱

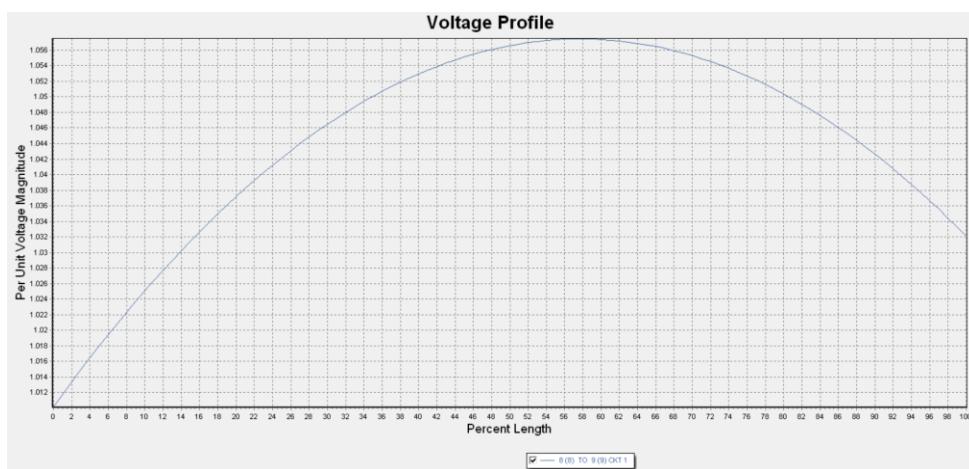
۳- همانطور که در تصویر ۳-۱۰ مشاهده می‌شود با حذف ۶ خط نشان داده شده، کماکان توان به تمامی بارها می‌رسد و شبکه وارد حالت خاموشی نشده است. در صورتی که هر کدام از خطوط دیگر از شبکه حذف شود، توان به حداقل یک باس نمی‌رسد و در نتیجه حداکثر تعداد خطوطی که می‌توان از شبکه حذف کرد تا شبکه دچار خاموشی نشود، ۶ خط است.



تصویر ۳-۱۰: حداکثر خط‌هایی که حذف آن‌ها شبکه را وارد حالت خاموشی نمی‌کند

قسمت چ) در این قسمت می‌خواهیم با تغییر طول خط انتقال بین باس‌های ۸ و ۹ به 500 km منحنی ولتاژ بر حسب درصد

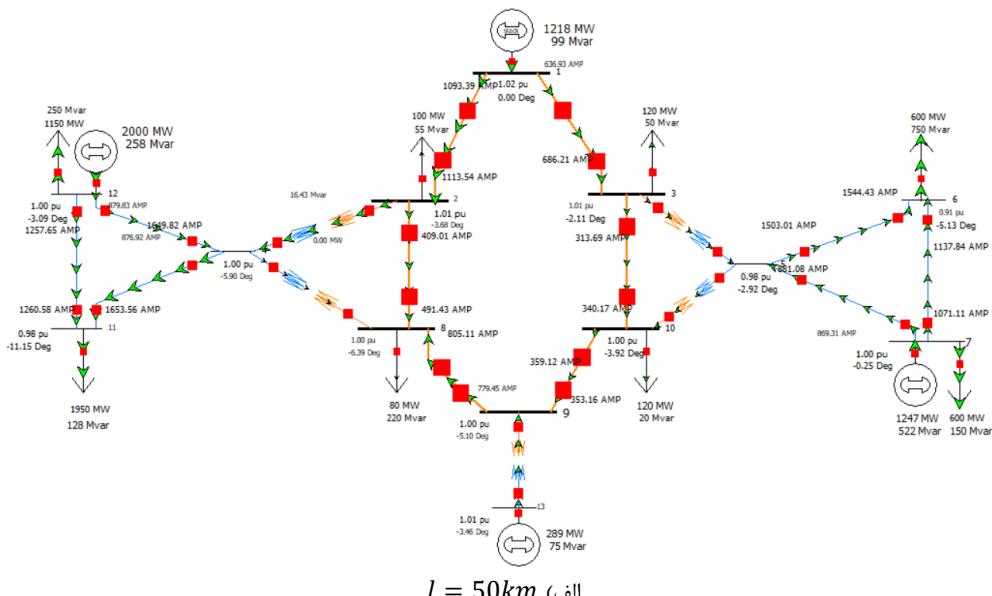
فاصله از خط انتقال را رسم کنیم.



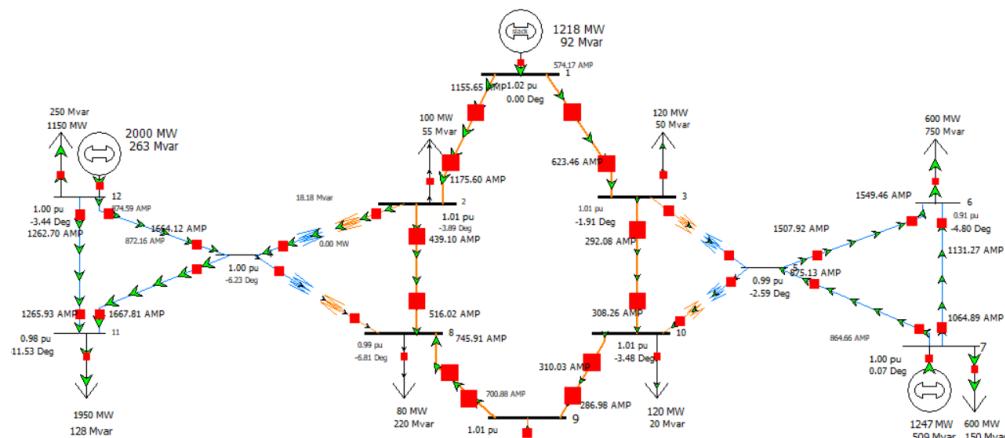
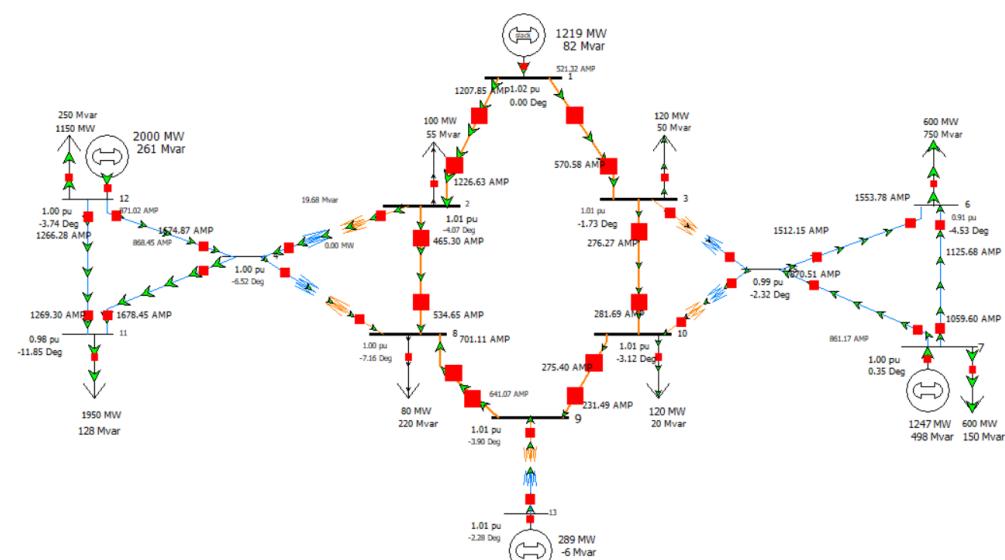
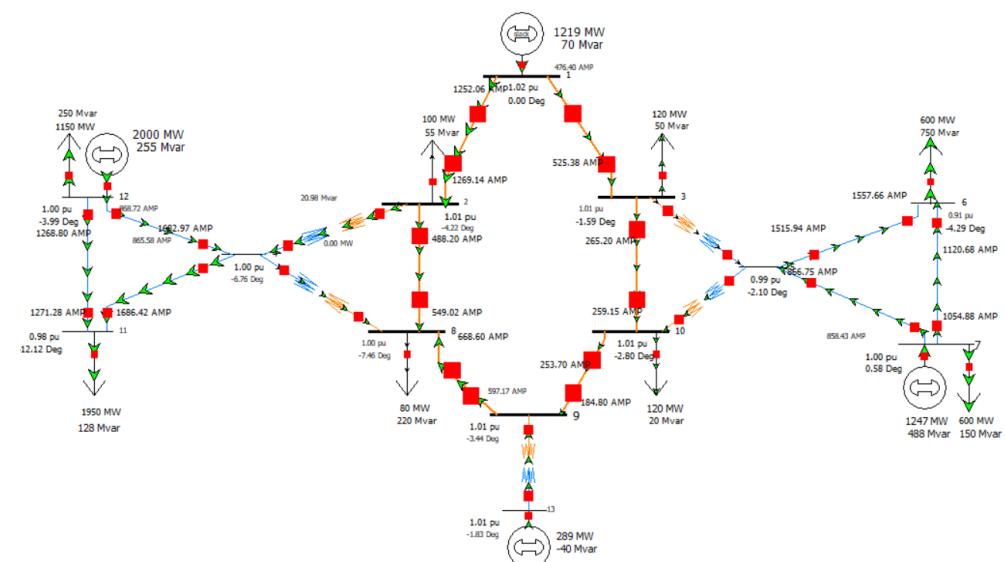
تصویر ۱۱-۳: منحنی ولتاژ بر حسب فاصله در خط انتقال بین باس‌های ۸ و ۹

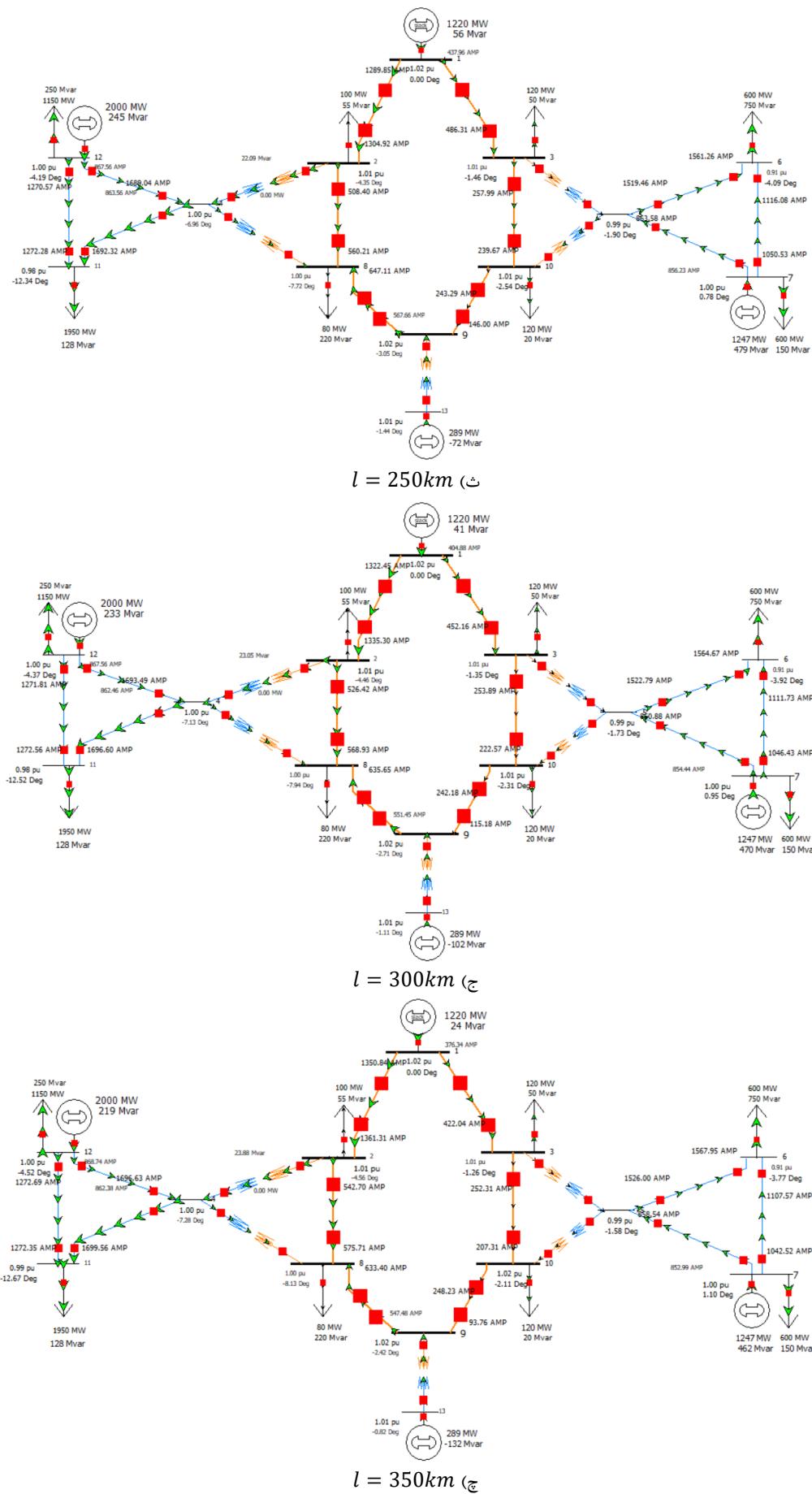
همانطور که در تصویر ۱۱-۳ مشاهده می‌شود، در حدود فاصله 58% مسیر حداکثر افزایش ولتاژ را داریم. هنگامی که خط بدون تلفات است، می‌دانستیم که منحنی ولتاژ بر حسب فاصله یکنواخت نیست. در این حالت در وسط خط انتقال منحنی ولتاژ به بیشینه مقدار خود می‌رسید. در حالتی که تلفات داریم (مطابق با تصویر ۱۱-۳) این بیشینه کمی با 50% مسیر فاصله دارد.

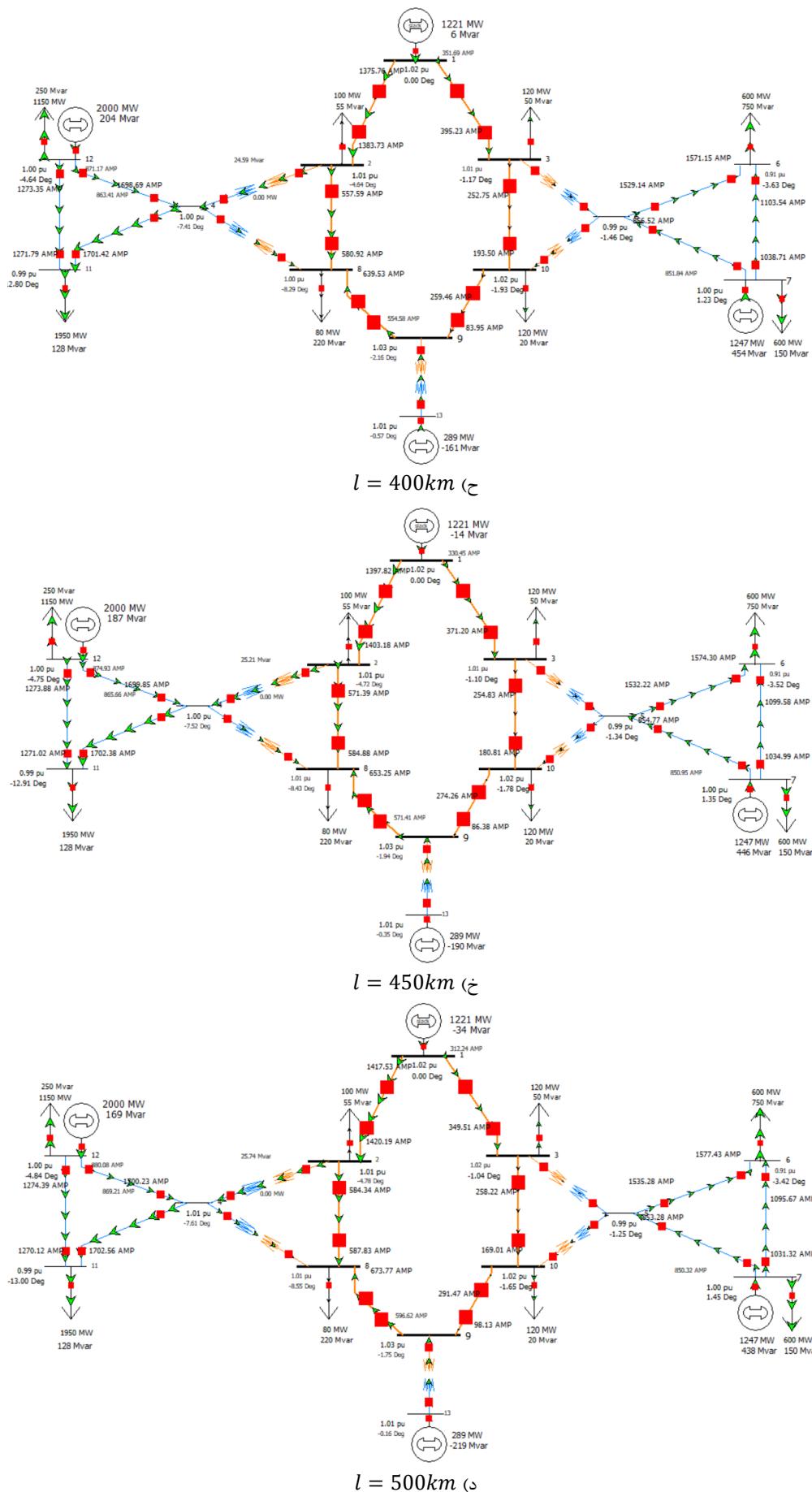
قسمت د) در این قسمت می‌خواهیم با تغییر طول خط انتقال بین باس‌های ۸ و ۹ از 50 km تا 1000 km با گام 50 km تغییرات ولتاژ دو سر خط انتقال را رسم کنیم. تصویر ۱۲-۳ این تغییرات را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش طول خط ولتاژ دو سر خط (باس‌های ۸ و ۹) نیز افزایش پیدا می‌کند.

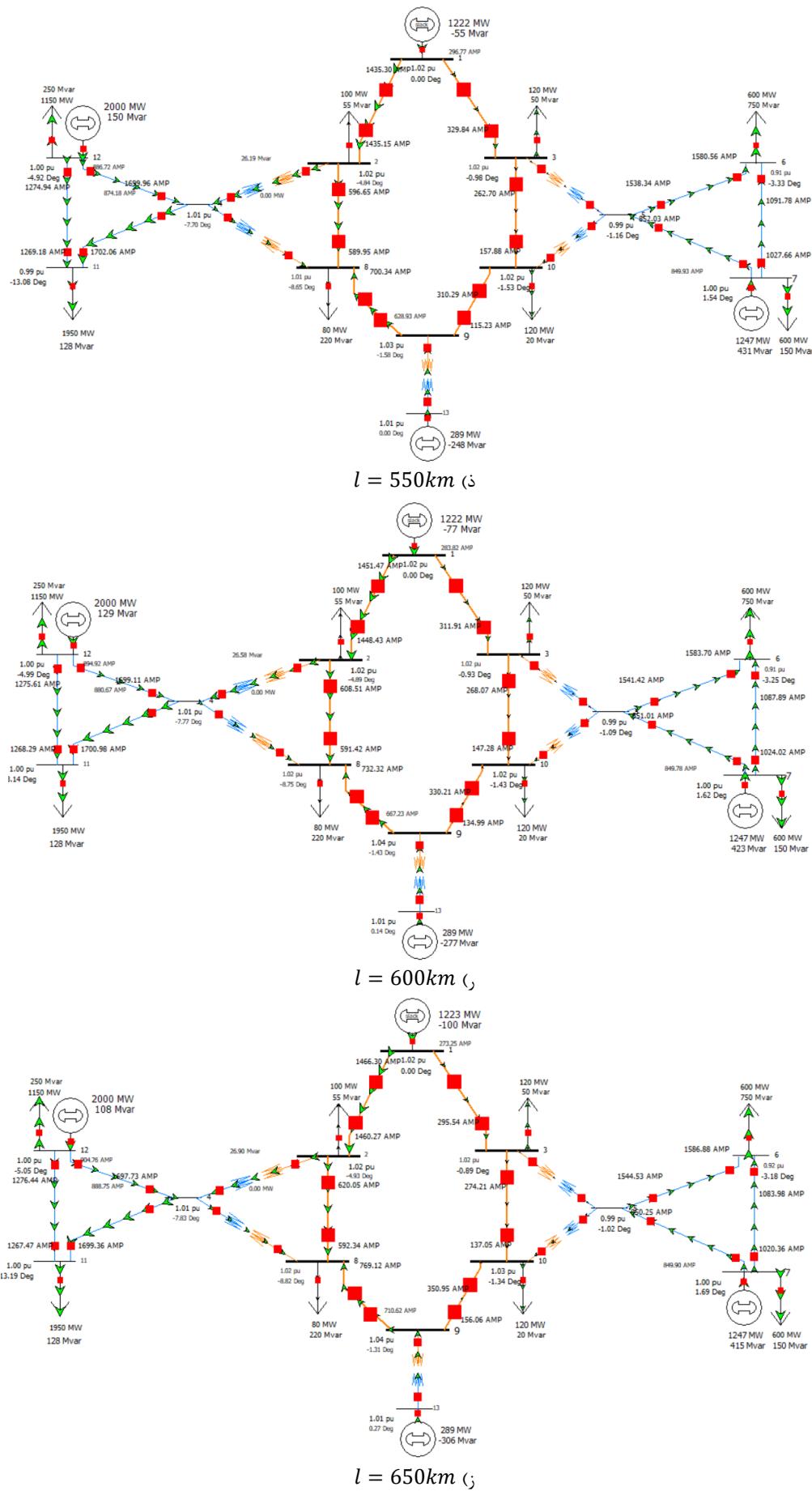


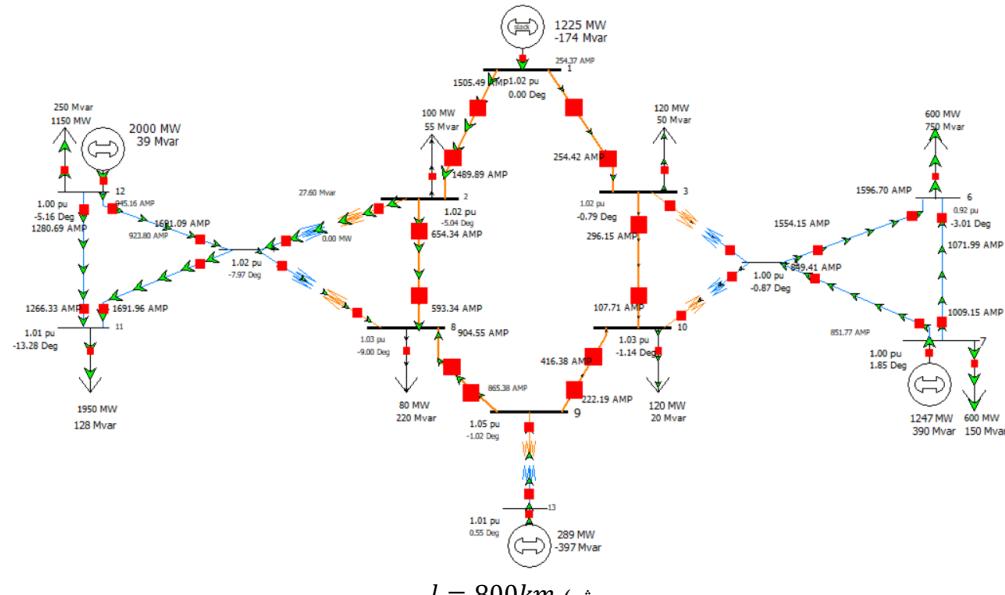
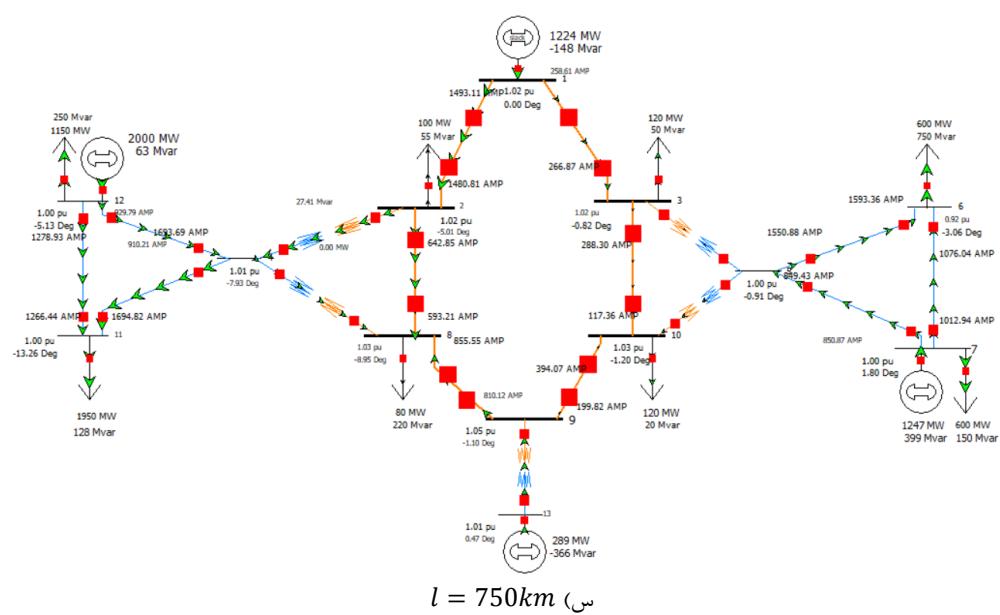
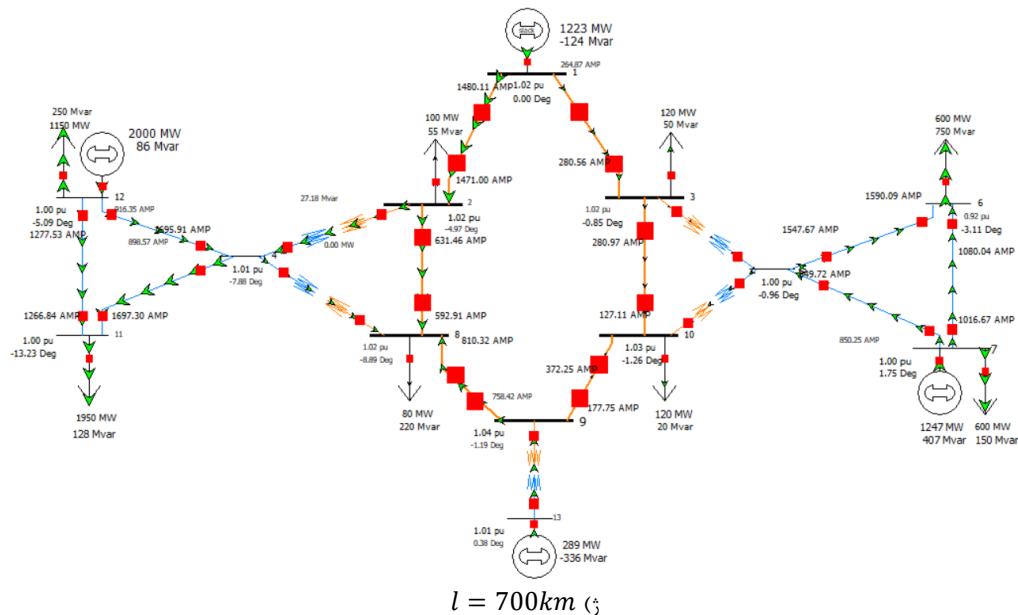
الف)

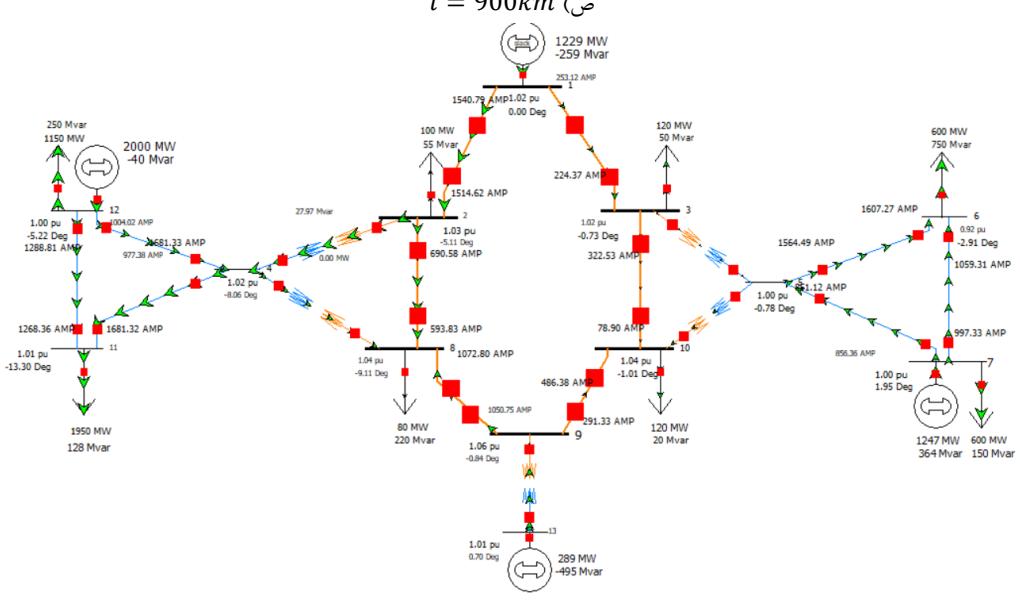
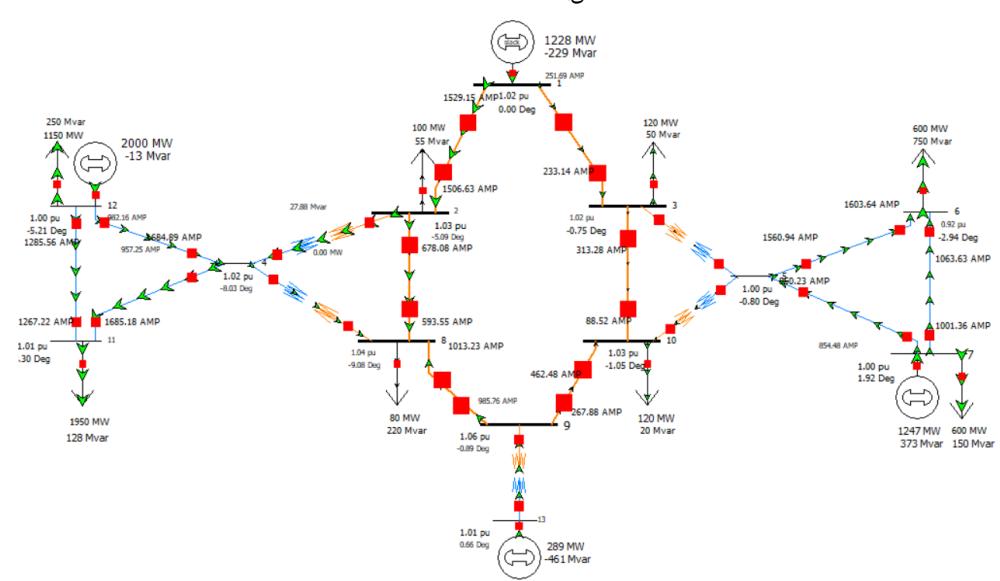
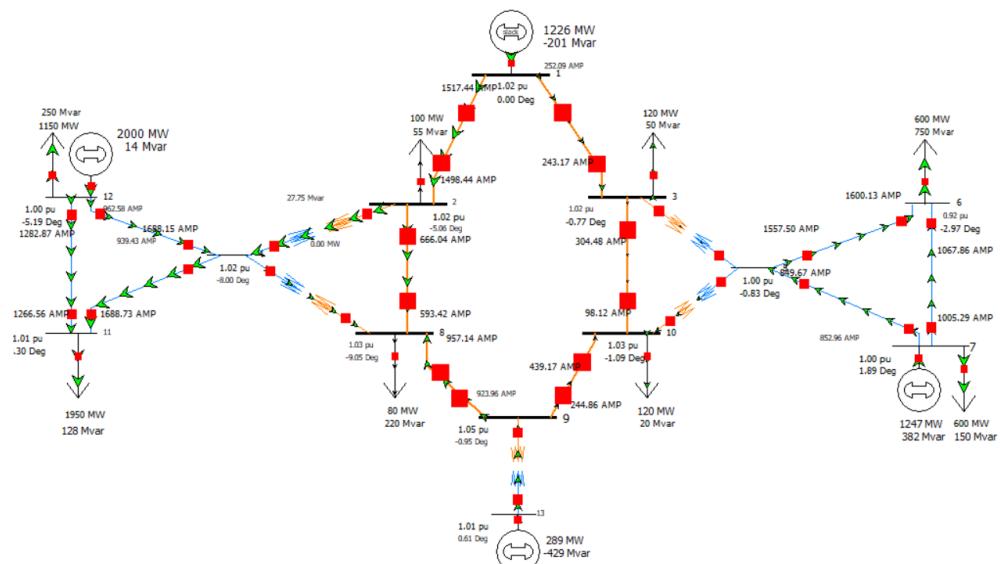
 $l = 100\text{km}$  $l = 150\text{km}$  $l = 200\text{km}$

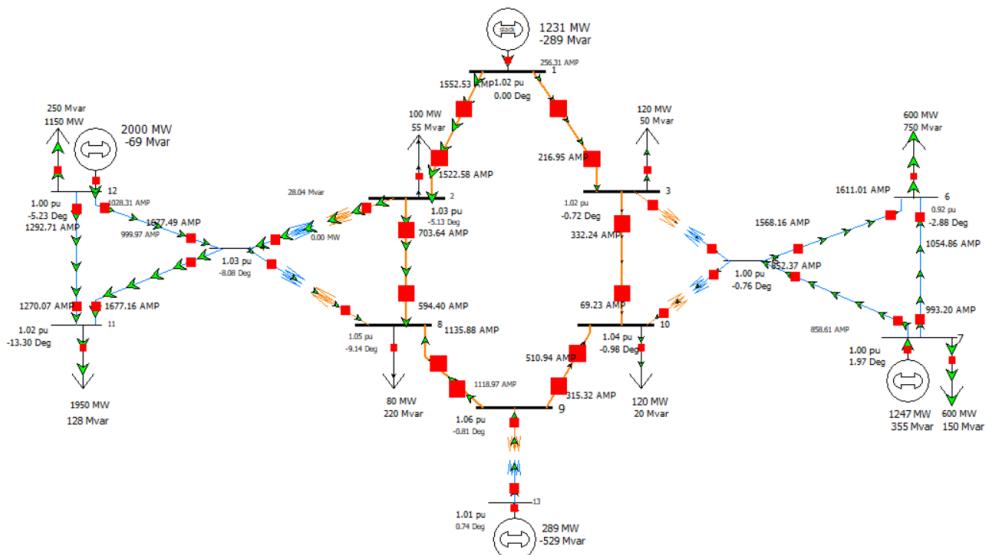












تصویر ۱۱-۳: تغییر طول خط انتقال بین باس های ۸ و ۹