

# مهران تمجیدی

استاد راهنما :

دکتر فرزین

# فهرست مطالب

بخش اول : توضیحات مقدماتی و شرح تئوری مسئله ..... 4

بخش دوم نمودار ها و شرح کد های متلب ..... 8

نمودار قسمت 1 (partA) ..... 16

تحلیل بخش الف (پرفیل ولتاژ، پروفیل جریان، توان اکتیو، توان راکتیو و بازده ی خط) ..... 17

شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت الف -1) : ..... 17

شرح نمودار پروفیل جریان (حالت الف -2) : ..... 19

شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط (حالت الف -3) : ..... 20

شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط (حالت الف -4) : ..... 21

شرح نمودار بازده ی خط (حالت الف -5) : ..... 22

نمودار قسمت 2 (part B) ..... 24

تحلیل بخش ب (پرفیل ولتاژ، پروفیل جریان، توان اکتیو، توان راکتیو و بازده ی خط) ..... 25

شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت ب -1) : ..... 25

شرح نمودار پروفیل جریان (حالت ب -2) : ..... 26

شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط (حالت ب -3) : ..... 27

شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط (حالت ب -4) : ..... 29

شرح نمودار بازده ی خط (حالت ب -5) : ..... 30

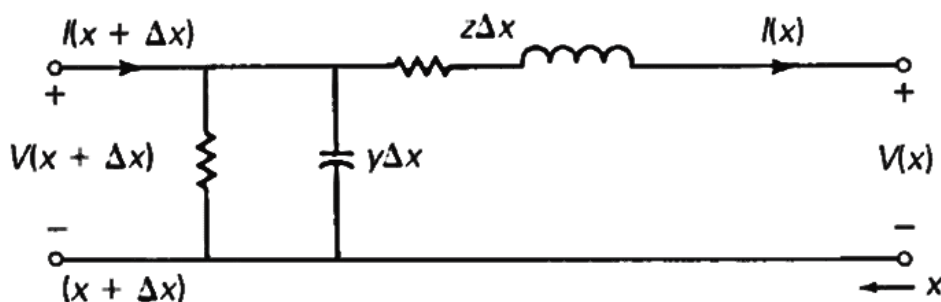
نمودار قسمت 3 (part C) ..... 31

- 32 ..... تحلیل بخش پ (پروفیل ولتاژ، پروفیل جریان، توان اکتیو، توان راکتیو و بازده ی خط)
- 32 ..... شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت پ- 1) :
- 34 ..... شرح نمودار پروفیل جریان (حالت پ- 2) :
- 35 ..... شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط (حالت پ- 3) :
- 36 ..... شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط (حالت پ- 4) :
- 37 ..... شرح نمودار بازده ی خط (حالت پ- 5) :
- 38 ..... نمودار قسمت 4 (part D)
- 39 ..... تحلیل بخش ت (پروفیل ولتاژ، پروفیل جریان، توان اکتیو، توان راکتیو و بازده ی خط)
- 39 ..... شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت ت- 1) :
- 41 ..... شرح نمودار پروفیل جریان (حالت ت- 2) :
- 43 ..... شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط (حالت ت- 3) :
- 44 ..... شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط (حالت ت- 4) :
- 45 ..... شرح نمودار بازده ی خط (حالت ت- 5) :
- 47 ..... تحلیل بخش ث (بررسی نمودار و محاسبه ی بازده ی خط) در حالت جبران سازی و محاسبه ی بازده ی خط
- 47 ..... (حالت ث- 1) بررسی مقدار بازده و محاسبه ی تغییرات بازده در اثر جبران سازی (خواسته ی سوال)

## بخش اول : توضیحات مقدماتی و شرح تئوری مسئله

ابتدا به تحلیل بخش الف و صورت سوال پرداخته می شود :

بررسی روابط و رفتار خطوط بلند مستلزم حل معادلات دیفرانسیل خط است. ترم دیفرانسیلی از سمت بار در نظر گرفته می شود و جریان بار که در فاصله ی صفر قرار دارد به عنوان جریان اولیه در نظر گرفته می شود و ولتاژ بار که در فاصله ی صفر قرار دارد به عنوان ولتاژ اولیه قرار می گیرد. با لحاظ کردن این شرط های مرزی می توان این معادلات را حل کرد.



با حل معادلات دیفرانسیل خط به روابط زیر خواهیم رسید که مشخص کننده ی ولتاژ و جریان در هر نقطه از خط می باشند و رفرنس فاصله از سمت بار در نظر گرفته می شود.

$$V(x) = \cosh(\gamma x) V_R + Z_c \sinh(\gamma x) I_R$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma x) V_R + \cosh(\gamma x) I_R$$

رابطه ی 1-1

اگر پاسخ بدست آمده را بصورت یک ماتریس دو قطبی در نظر بگیریم , ضرایب مربوط به ولتاژ و جریان بار که شامل سینوس و کسینوس هایپربولیک هستند را می توان با پارامتر های ABCD که پارامتر های ماتریس یک شبکه ی دو قطبی هستند , مشخص کرد.

در این ماتریس دو قطبی و پارامتر های آن بصورت زیر بدست می آیند.

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

که ضرایب ABCD بصورت زیر بدست می آیند.

$$A = D = \cosh(\gamma l) \text{ per unit}$$

$$B = Z_c \sinh(\gamma l) \quad \Omega$$

$$C = \frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma l) \quad S$$

با توجه به مقادیر داده شده ی امپدانس بر واحد طول (z) و ادمیتانس بر واحد طول (y) , مقدار پارامتر های  $\gamma$  و  $Z_c$  از روابط زیر بدست می آید.

$$z = 0.0165 + j 0.3306 \Omega/km$$

$$y = j 4.674 \times 10^{-6} S/km$$

مقدار پارامترهای  $\gamma$  و  $Z_c$  از دو رابطه ی زیر حاصل می شود .

$$\gamma = \sqrt{z \times y} \quad (\Omega)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (1/km)$$

با توجه به اینکه فاصله بر حسب کیلومتر در نظر گرفته می شود , پس از ضرب شدن در  $\gamma$  دیگر نیازی به تبدیل واحد نیست. با داشتن مقادیر فوق می توان به سهولت پارامترهای ABCD خط بلند را با توجه به روابط بیان شده مورد محاسبه قرارداد.

در مسئله ولتاژ بار و توان اکتیو آن داده شده است . با توجه به ضریب توان که برای بخش A برابر با 0.99 و بصورت پس فاز در نظر گرفته شده است می توان جریان بار را محاسبه کرد.

$$|I| = \frac{P}{\cos\phi \times V_{load-LL} \times \sqrt{3}}$$

فاز جریان نیز بصورت

$$\theta = -\arccos(\cos\phi)$$

که علامت منفی آن صرفاً برای حالت lag است و در بخش (ب) که lead در نظر گرفته شده است , این علامت منفی دیگر وجود نخواهد داشت.

و همچنین ولتاژ بیان شده بصورت خط است که می بایست بصورت line to neutral تبدیل شود. اکنون با مشخص شدن درایه های ماتریس سمت گیرنده و همچنین ماتریس ضرایب قطبی می توان ولتاژ و جریان های هر نقطه از طول مسیر را بدست آورد.

توان اکتیو هر نقطه از مسیر (  $X$  ) به صورت زیر بدست می آید.

$$P(X) = 3 \times |V(X)| \times |I(X)| \times \cos(\theta_{V(X)} - \theta_{I(X)})$$

بطور مشابه برای توان راکتیو نیز داریم.

$$Q(X) = 3 \times |V(X)| \times |I(X)| \times \sin(\theta_{V(X)} - \theta_{I(X)})$$

بازده ی خط از نسبت توان اکتیو هر نقطه از خط به توان اکتیو سمت فرستنده بدست می آید .

$$\eta = \frac{P(X)}{P(L)} \times 100$$

\*\* توان در نقطه ی L همان توان فرستنده است.

## بخش دوم نمودار ها و شرح کد های متلب

کد های بیان شده در این قسمت کد های بخش الف یا ( part A ) می باشند. در چهار بخش دیگر (B,C,D,E) که مطابق با بخش های ب و پ و ت و ث هستند) نیز روند به همین شکل است و تنها اندک تفاوت وجود دارد که در ادامه به شرح آنها نیز خواهیم پرداخت.

مراحل نوشتن کد ها به همان ترتیب توضیحات بیان شده در بخش قبلی است. درستی مقادیر محاسبه شده را می توانید در **Work space** نرم افزار متلب پس از **run** کردن مشاهده فرمایید. که البته در بخش شرح نتایج , مقادیر بست آمده بصورت دستی و مقادیر محاسبه شده توسط متلب شرح خواهند شد.

```
%----- codes for part A
z=0.0165+0.3306*1i; %z in kilometer
y=(4.674*(10^-6))*1i; %y in kilometer
Zc=sqrt(z/y);% in ohm
gama=sqrt(z*y);% in one over kilometer unit
VLL_rated=400*10^3;
VLoad_ln=VLL_rated/sqrt(3); % load volatage in line to nutral
L=400;% inkilometer
PL=600*10^6;%active power
cosphi=0.99;
angle_of_cosphi=-acosd(cosphi); %power factor lag (determined in it's sign)
gamma_L=gama*L;% gamma & length production
vr=VLoad_ln;% load voltage line to nutral
ir_mag=(PL/(abs(cosphi)*VLoad_ln*3));% load current
ir=(ir_mag * cos(angle_of_cosphi*(pi/180)) +
ir_mag*sin(angle_of_cosphi*(pi/180))*1i); % load current in Cartesian
```



در ابتدا مقادیر امپدانس و ادمیتانس بر واحد طول در دو متغیر  $Z$  و  $Y$  قرار گرفته اند . این مقادیر برای محاسبه ی  $Y$  و  $Z_c$  مورد استفاده قرار گرفته اند و در نهایت در پارامتر های  $ZC$  و  $gama$  ذخیره می شوند.

همانگونه که در مسئله شرح داده شده است , ولتاژ خط بار برابر با ولتاژ نامی (400KV) قرار گرفته است . با توجه به اینکه در محاسبات رابطه ی (1-1) ولتاژ های **line to neutral** مورد استفاده قرار می گیرند , ولتاژ بار بصورت **line to neutral** در متغیر **VLoad\_In** ذخیره می شود.

در بخش الف توان اکتیو بار برابر با 600 مگا وات در نظر گرفته شده است. البته تنها تفاوت بخش C و D با بخش الف همین مقدار توان اکتیو بار است که متفاوت در نظر گرفته شده است.

زاویه ی جریان بار را از رابطه ی زیر بدست می آید و علامت منفی نشان دهنده ی عقب بودن زاویه ی جریان از ولتاژ است.

$$\text{angle\_of\_cosphi} = -\text{acosd}(\text{cosphi});$$

اندازه ی جریان بار نیز از رابطه ی زیر بدست می آید

$$|I| = \frac{P}{\cos\phi \times V_{load-LN} \times 3}$$

اندازه ی جریان بار در متغیری به نام **ir\_mag** ذخیره می شود

با توجه به اینکه مقادیر اندازه و فاز جریان بار بدست آمده است , برای سهولت مقدار دامنه و فاز بدست آمده با دستورالعمل زیر به فضای دکارتی منتقل می شود .

$$R < \theta \implies R\cos(\theta) + j R\sin(\theta)$$

البته در این قسمت در عوض دستور **cosd** و **sind** که بر حسب درجه اند , از توابع **sin** و **cos** استفاده شده است , بنابراین تبدیل از رادیان به درجه نیز انجام شده است.

```
X=0:0.01:L% variable length ( the length is zero in vicinity of the load)

gama_X =gama*X;

%----- calculation of ABCD parameter

A=cosh(gama_X);
B=Zc*sinh(gama_X);
C=(1/Zc)*sinh(gama_X);
D=A;

%----- calculation of current and voltage over entire
line
%Vs=voltage over entire line
%Is=current over entire line

vs=A*vr + B*ir;% sending line_to_nutral voltage at sending end
is=C*vr + D*ir;

vs_mag=abs(vs);
is_mag=abs(is);

is_angle=zeros(1,length(X));
vs_angle=zeros(1,length(X));
for i=1:length(X) % assigning in the loop, for the sake of inner matrix
dimensions must agree.
is_angle(i)=atand(imag(is(i))/real(is(i)));% construction of is angle matrix
vs_angle(i)=atand(imag(vs(i))/real(vs(i)));% construction of Vs angle matrix
end
```

متغیر **X** بیانگر تغییرات فاصله از بار است . برای بررسی نقاط مختلف طول خط انتقال , یک آرایه ی با طول **30001** در نظر گرفته می شود . که کران پایین آن متناظر با طول صفر ( محل قرار گیری بار ) و کران بالای آن متناظر با طول مسیر انتقال (**400** کیلومتر) که محل قرار گیری منبع است , در نظر گرفته شده است.

با توجه به اینکه در محاسبات ضرایب ماتریس دوقطبی، از حاصلضرب  $\gamma$  در فاصله ی هر نقطه از انتهای خط استفاده می شود این مقدار در برداری به نام **gama\_X** قرار گرفته است.

ضرایب ماتریس دوقطبی، متناظر با مقدار هر لحظه از بردار **gama\_X** تغییر می کنند. بنابراین با قرار گرفتن مقدار پارامتر **gama\_X** در درون آرگومان **cosh** و **sinh**، ضرایب **ABCD** نیز بصورت بردار و به ازای هر فاصله از بار بدست می آیند.

دو بردار **VS** و **IS** که بیانگر **V(X)** و **I(X)** موجود در رابطه ی (1-1) اند، ولتاژ و جریان هر نقطه از مسیر را در درون خود ذخیره می کنند.

با توجه به اینکه برای رسم نمودار پروفیل ولتاژ و جریان (**current & voltage profile**) که بر اساس دامنه ی ولتاژ و جریان است، با دستور **abs** مقدار های دامنه ی آنها دریافت شده است. و مقدار آن در بردار **is\_mag** و **vs\_mag** ذخیره شده است.

مقدار فاز آن نیز از رابطه ی زیر بدست خواهد آمد.

$$\arctan\left(\frac{\text{imag}(VS)}{\text{real}(IS)}\right)$$

برای سهولت در تقسیم دو بردار در ماتریس، درایه های نظیر به نظیر بخش حقیقی و موهومی آنها را برهم تقسیم می کنیم. بنابراین به کمک تابع **zeros** یک بردار به طول برابر با بردار **X** ساخته می شود و در درون حلقه، تک تک درایه های آنرا مقدار دهی می کنیم.

```
for i=1:length(X)
is_angle(i)=atand(imag(is(i))/real(is(i)));
vs_angle(i)=atand(imag(vs(i))/real(vs(i)));
end
```

مقادیر زاویه های **VX** و **IX** در دو بردار **is\_angle** و **vs\_angle** ذخیره می شود.

```

%----- calculation of active and reactive power over the
line

angle_VS_IS =vs_angle-is_angle;
cosine_Vs_Is_angle=cosd(angle_VS_IS);
sine_Vs_Is_angle=sind(angle_VS_IS);

P=zeros(1,length(X));% construction of P matrix
Q=zeros(1,length(X));% construction of Q matrix
for i=1:length(X)           % assiging in the loop, for the sake of inner matrix
dimensions must agree.
P(i)=3*vs_mag(i)*is_mag(i)*cosine_Vs_Is_angle(i);
Q(i)=3*vs_mag(i)*is_mag(i)*sine_Vs_Is_angle(i);
end

%----- bazdeh khat
PS=P(length(X)); %sening end power
randeman=(P/PS)*100; % each power over power in teh seding end (it plased on
length(X) argument)

```

به کمک مقادیر دامنه و فاز بدست آمده توان اکتیو و راکتیو از روابط زیر محاسبه می شود.

$$P(X) = 3 \times |V(X)| \times |I(X)| \times \cos(\theta_{V(X)} - \theta_{I(X)})$$

$$Q(X) = 3 \times |V(X)| \times |I(X)| \times \sin(\theta_{V(X)} - \theta_{I(X)})$$

همانند بخش قبلی مقدار دهی در یک حلقه انجام شده است. در نهایت مقادیر توان اکتیو در بردار  $P$  و توان راکتیو در بردار  $Q$  ذخیره می شود.

با توجه به اینکه منبع در آرایه ی آخر (40001) بردار  $X$  قرار دارد , برای دستیابی به توان منبع نیز کافی است مقدار توانی که در اندیس آخر بردار توان قرار گرفته است , استخراج شود.

\*\*\*به کمک تابع  $length(X)$  می توان به شماره ی آخرین اندیس یک بردار دست یافت.

در نهایت بازده از رابطه ی از نسبت توان اکتیو هر نقطه از خط به توان اکتیو سمت فرستنده بدست می آید .

$$\eta = \frac{P(X)}{P(L)} \times 100$$

که توان در نقطه ی  $L$  همان توان منبع است و هرچقدر که تلفات مسیر کمتر باشد توان آن نقطه به توان منبع نزدیکتر و در نتیجه بازده بیشتر است . بنابراین با جبران سازی می توان بازده ی خط را افزایش داد.

```
figure('Name','partA - computer assignment','NumberTitle','off')

subplot(3,2,1);plot(X,vs_mag);set(gca,'XDir','rev');% just reverse x axis in standard form
title('voltage profile')

subplot(3,2,2);plot(X,is_mag);set(gca,'XDir','rev')% just reverse x axis in standard form
title('current profile')

subplot(3,2,3);plot(X,P);set(gca,'XDir','rev');% just reverse x axis in standard form
title('active power over line')

subplot(3,2,4);plot(X,Q);set(gca,'XDir','rev')% just reverse x axis in standard form
title('reactive power over line')

subplot(3,2,5);plot(X,randeman);set(gca,'XDir','rev')% just reverse x axis in standard form
title(' bazdeh khat dar noghate mokhtalef khat')
```

## نحوه ی رسم نمودار ها :

در بخش رسم نمودار ها در ابتدایک *figure* با نامی مرتبط با هر قسمت (در اینجا *partA*) انتخاب می شود.

با توجه به اینکه فرمت استاندارد رسم پروفیل ولتاژ و توان بر از منبع تا بار است و رفرنس بردار  $X$  از بار تا منبع است . برای رسم می بایست محور  $X$  , قرینه شود تا به فرم استاندارد, ترتیب شود. برای اینکار از دستور `set(gca,'XDir','rev')` استفاده شده است.

در قسمت اول نمودار پروفیل ولتاژ رسم شده است (اندازه ی ولتاژ هر نقطه از مسیر) , سپس پروفیل جریان و سپس توان اکتیو و توان راکتیو رسم شده است . در نهایت نمودار بازده ی خط براساس فاصله رسم شده است.

## نکات تکمیلی : مرتبط با سایر بخش های آزمایش

**کد های موجود در بخش ب (B) :** کاملاً مشابه بخش الف می باشند . تنها اینکه زاویه ی جریان بار دیگر منفی نیست و به علت پیش فاز بودن (*lead*) مثبت در نظر گرفته شده است.

**کد های موجود در بخش پ و ت (C و D)** کاملاً مشابه بخش الف می باشند . تنها با این تفاوت که توان اکتیو بار در بخش پ برابر با 100 مگاوات در نظر گرفته شده است و توان اکتیو در بخش ت برابر با 1000 مگاوات در نظر گرفته شده است.

**کد های موجود در بخش ث (E) :** این بخش از نظر اندازه ی توان اکتیو و علامت زاویه ی جریان بار کاملاً مشابه بخش الف است . تنها مقادیر جبران سازی سری و موازی , به اندازه ی 80 درصد و 20 درصد انجام شده است.

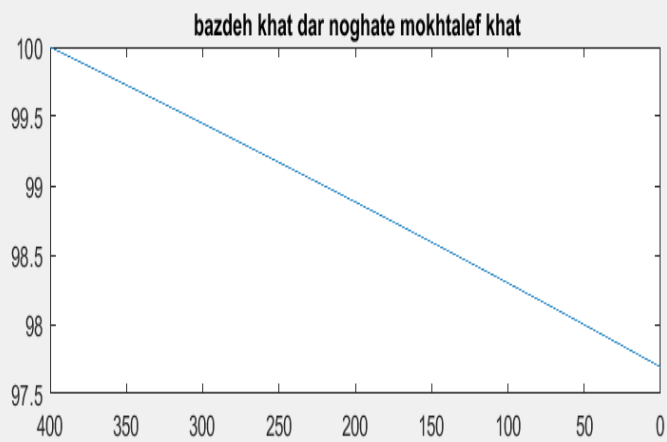
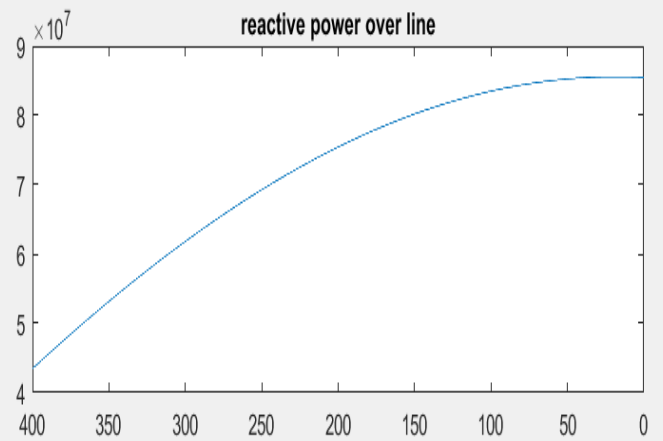
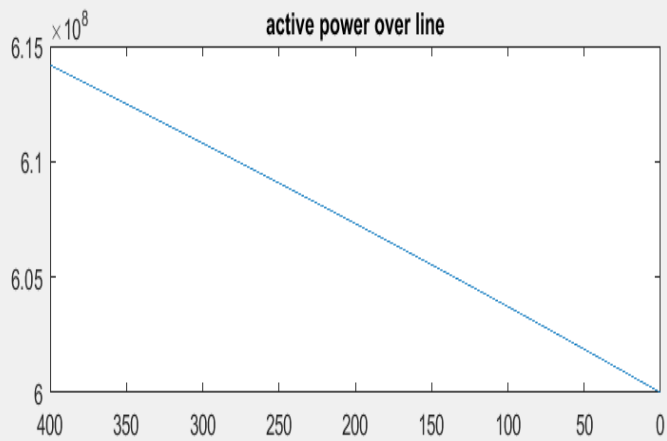
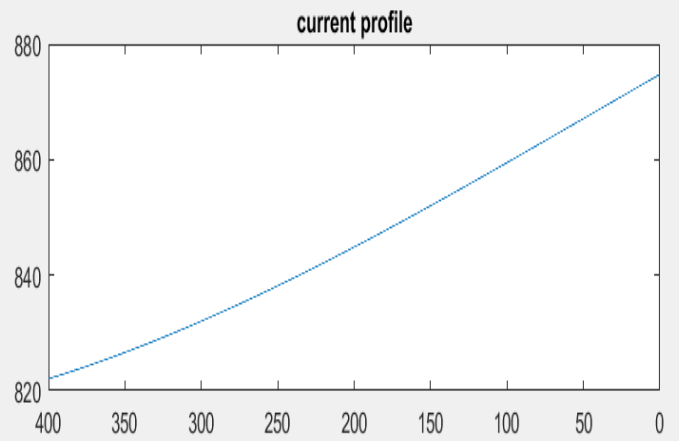
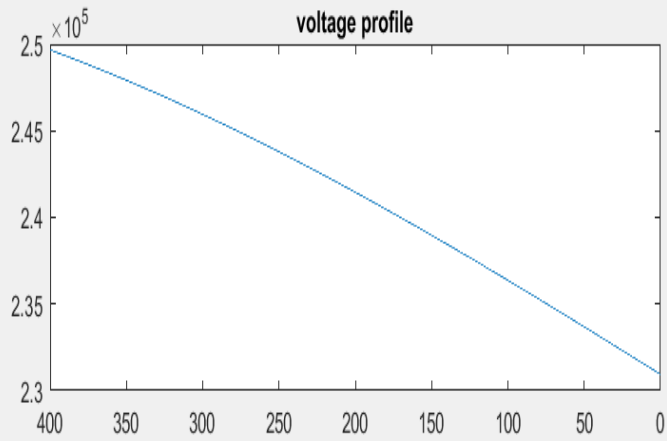
در جبران سازی سری بخش موهومی امپدانس به میزان 80 درصد کاهش می یابد و در جبران سازی موازی, بخش موهومی ادمیتانس به میزان 20 درصد کاهش می یابد.

```
%-----part E
%----- *****compensation in series and parallel form

z=0.0165+0.3306*1i; %z in kilometer
y=(4.674*(10^-6))*1i; %y in kilometer
%----componsation procedure
y_prime=y*(1-0.8) ;% 80% compensated in parallel
Z_prime_iang=imag(z)*(1-0.2) ;% 20% compensated in series
Z_prime_real=real(z) ;
Z_prime=Z_prime_real+Z_prime_iang*1i;
Zc=sqrt(Z_prime/y_prime);% in ohm
gama=sqrt(Z_prime*y_prime);% in one over kilometer unit
```

امپدانس جبران سازی شده در پارامتری به نام  $Z_{\text{prime}}$  ذخیره می شود و ادمیتانس جبران سازی شده در پارامتری به نام  $y\text{-prime}$  ذخیره می شود. و بجای  $Z$  و  $y$  قبلی در محاسبات مورد استفاده قرار می گیرد. ادامه ی کد ها کاملا مشابه حالت های پیشین است.

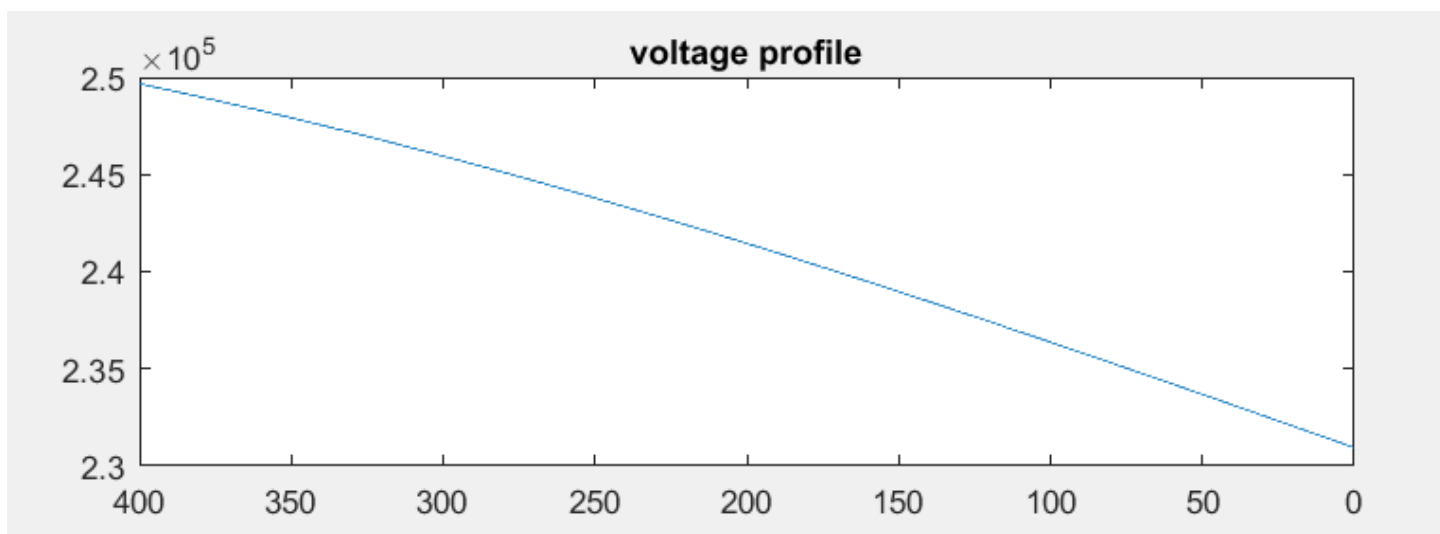
## نمودار قسمت 1 (partA)





## تحلیل بخش الف (پرفیل ولتاژ, پروفیل جریان, توان اکتیو, توان راکتیو و بازده ی خط)

شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت الف - 1) :

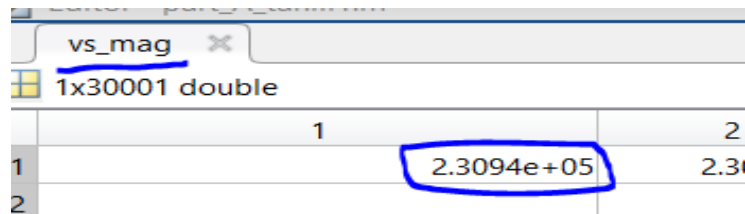


مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است

ولتاژ نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار ( $X=0$ )) برابر ولتاژ نامی بار است. ولتاژ نامی بار برابر با 400 کیلو ولت است. که اگر به ولتاژ line to neutral تبدیل شود, این مقدار برابر 230.94 کیلو ولت است که در نمودار مشخص است.

$$V(\text{line to neutral}) = \frac{400KV}{\sqrt{3}} = 230.94 KV$$

و بصورت دقیق تر نیز در workspace متلب به صورت زیر است.

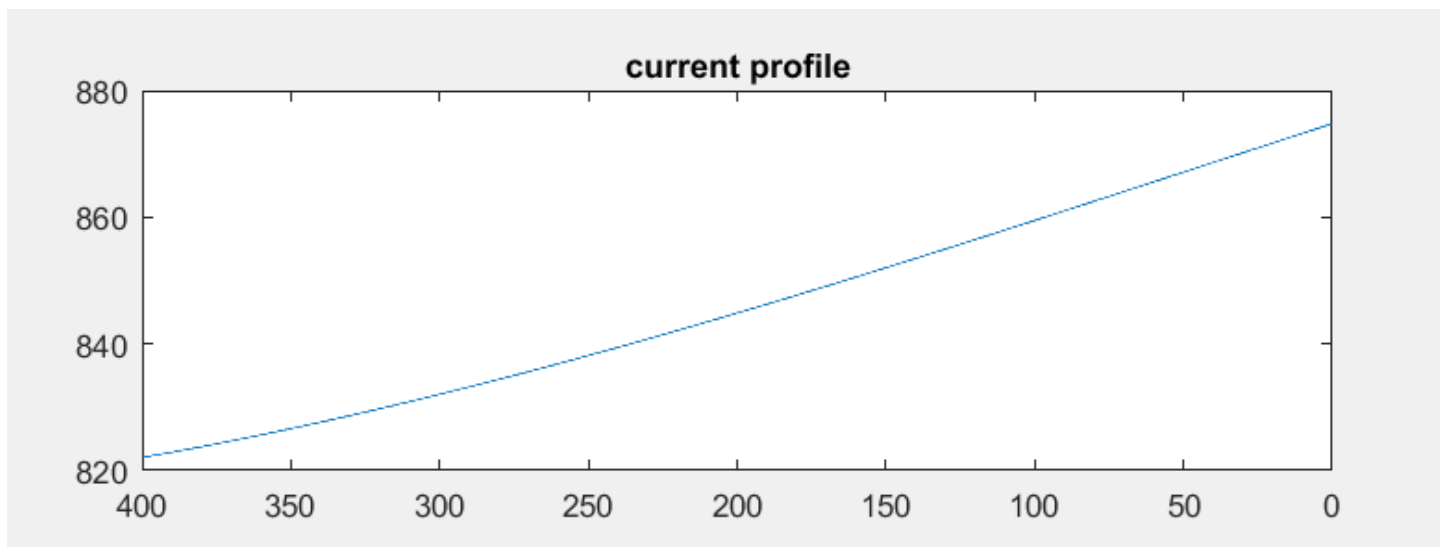


	1	2
1	2.3094e+05	2.31
2		

مقدار ولتاژ منبع نیز بصورت دستی ، برابر مقدار 249.66 کیلو ولت بدست آمده است که در نمودار نیز واضح است (نقطه ی ابتدایی ). به دلیل افت ولتاژ موجود در طول مسیر به دلیل وجود امپدانس سری هر قدر که از سمت منبع به سمت بار حرکت کنیم افت ولتاژ نقاط متناظر آن بیشتر خواهد شد . و در نتیجه پروفیل ولتاژ به صورت نزولی خواهد بود .

و از مقدار ابتدایی که Vs است و برابر با 249.66 کیلو ولت است ، نزول می کند و به مقدار 230.94 ولت در بار می رسد.

شرح نمودار پروفیل جریان ( حالت الف - 2 ) :



مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است و محور عمودی بر حسب آمپر است.

جریان نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار (X=0)) بیانگر اندازه ی جریان عبوری از بار است . ولتاژ نامی بار برابر با 400 کیلو ولت است و توان بار در حالت الف 600 مگاوات در نظر گرفته شده است.

جریان بار به روش دستی

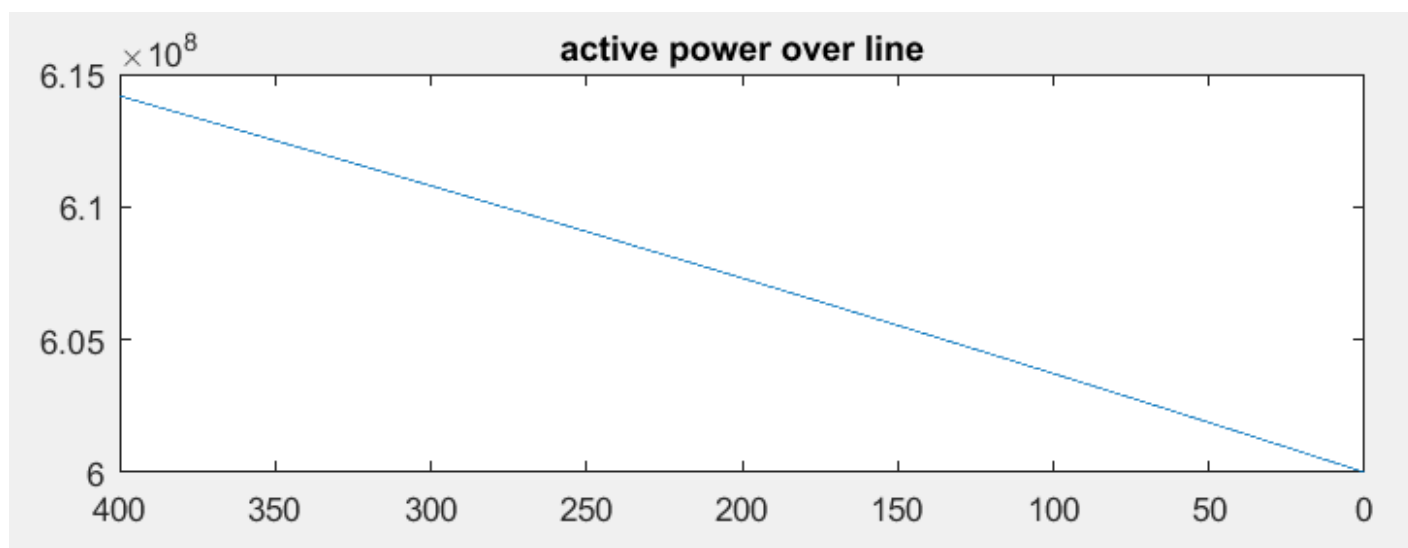
$$|I| = \frac{P}{\cos\phi \times V_{load-LL} \times \sqrt{3}} = \frac{600}{0.99 \times 400 \times \sqrt{3}} = 874.77$$

و بصورت دقیق تر نیز در workspace متلب به صورت زیر است.

is_mag	
1	2
	874.7731

جریان منبع بصورت دستی , **822.05** بدست می آید که با مقدار جریان منبع در نمودار تطابق کامل دارد. نمودار نیز بصورت صعودی در می آید تا با وجود کاهش ولتاژ توان اکتیو را کنترل کند (در نهایت توان اکتیو کاهش می یابد) .

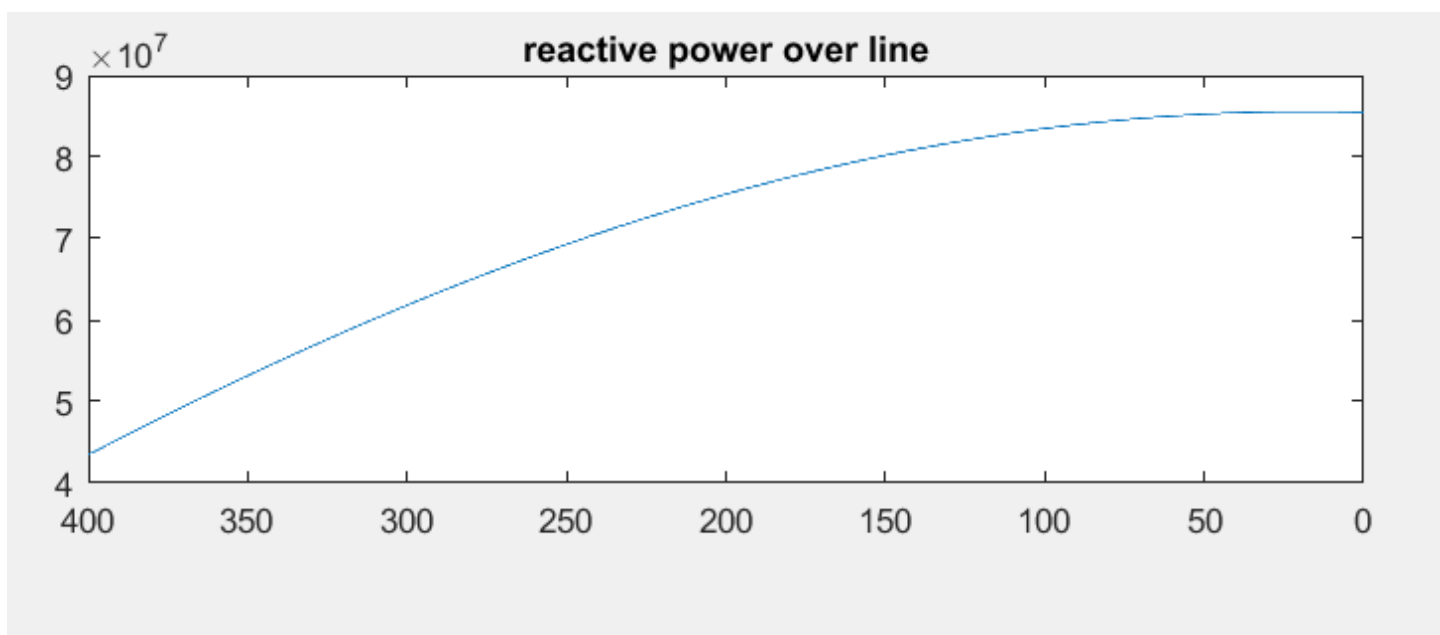
شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط ( حالت الف -3 ) :



توان اکتیو بار برابر با 600 مگاوات فرض شده است. که در نقطه ی انتهایی نمودار فوق نیز قابل مشاهده است.

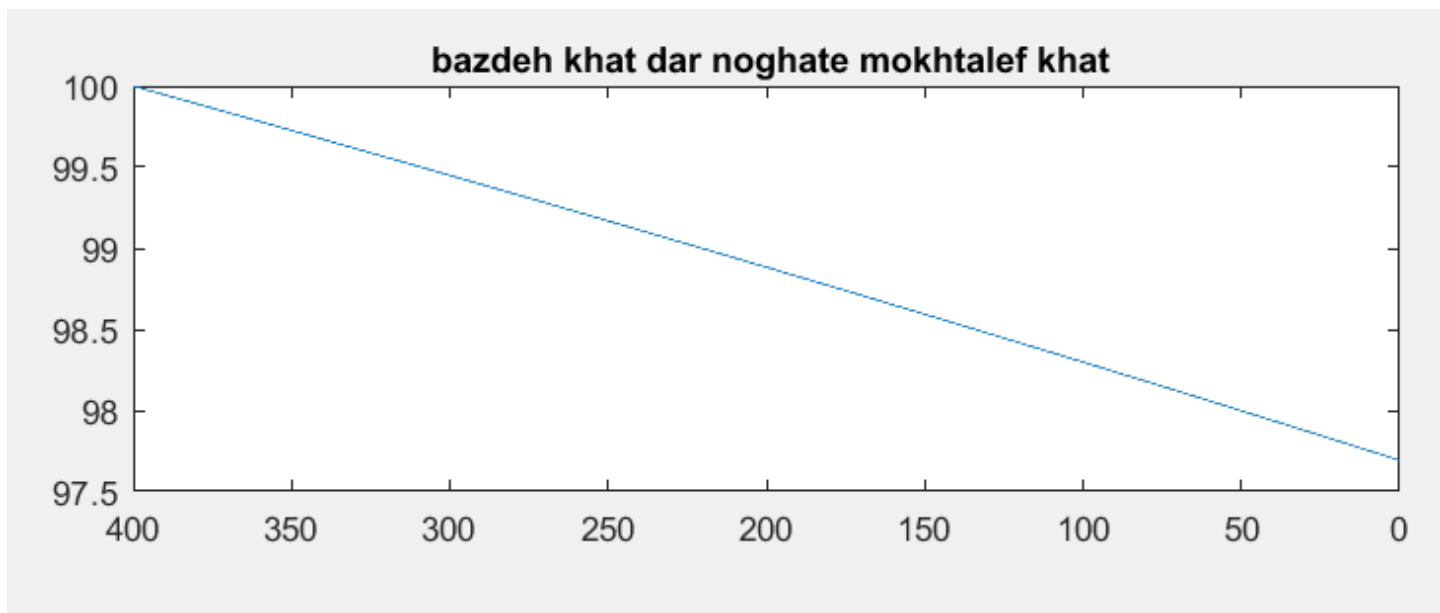
با توجه به اینکه توان اکتیو نشان دهنده ی توان الکتریکی خالص هر نقطه از خط است (بخش های رفت و برگشتی جریان ناشی از راکتانس نقشی در آن ندارند) ، بدیهی است که در خط انتقال با تلفات ، در اثر امپدانس سری خط ، مقداری از توان تلف می شود و بسته به اندازه ی این امپدانس سری ، هرچقدر که از منبع (در فاصله ی 400 کیلومتری) دور شویم بخش بیشتری از توان تلف می شود (شیب نمودار بیشتر نزولی می شود) . بدین ترتیب توان اکتیو کاهش می یابد تا در نهایت به توان 600 مگاوات ( توان فرض شده ی بار) برسد.

شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط ( حالت الف -4 ) :



با حرکت در هر نقطه از نمودار ، از سمت منبع به طرف بار، به دلیل افزایش امپدانس آن نقطه نسبت به نقطه ی قبلی ، هر قدر که به سمت بار برویم ، بخش موهومی امپدانس نیز افزایش می یابد. به دلیل آنکه این بخش موهومی خاصیت سلفی دارد و ضریب توان نیز منفی بوده است و خاصیت سلفی داشته است در ابتدا (در سمت منبع ) مقدار توان اکتیو مقدار مثبت بوده است. بنابراین هر قدر به طرف بار حرکت کنیم ، بخش موهومی امپدانس مسیر بیشتر و مقدار توان راکتیو نیز افزایش می یابد ، البته زمانی که نزدیک بار می شویم ، خازن های موجود در ادمیتانس های موازی مقداری افزایش می یابند و سبب خنثی شدن بخش از توان راکتیو و کاهش آن می شوند و بنابراین در نزدیکی بار نمودار با شیب کم و حتی نزولی روبرو می شود.

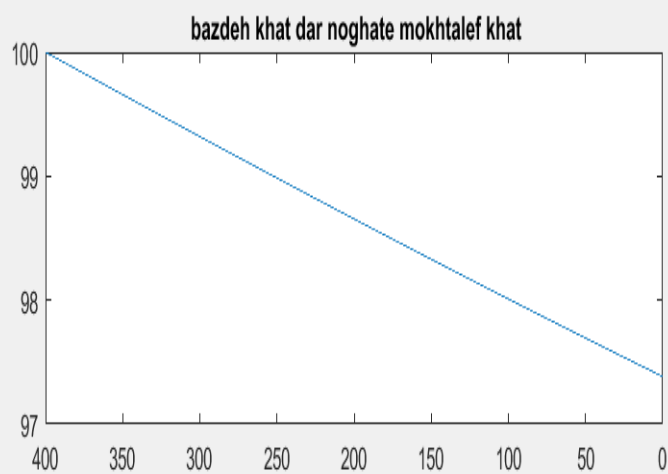
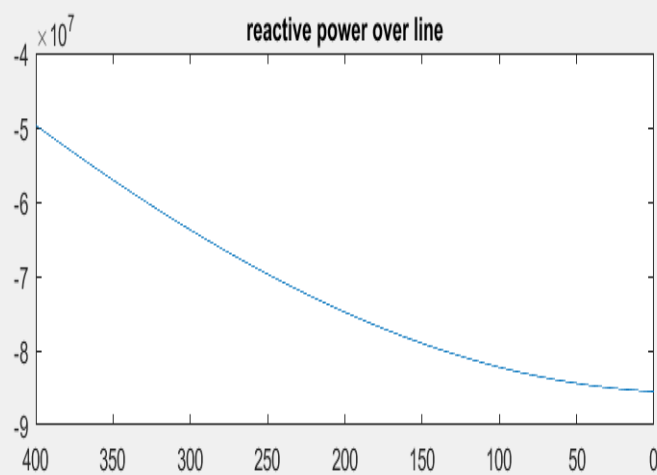
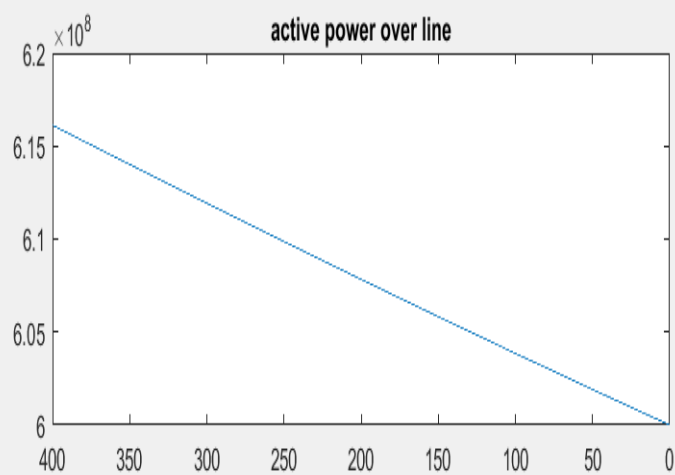
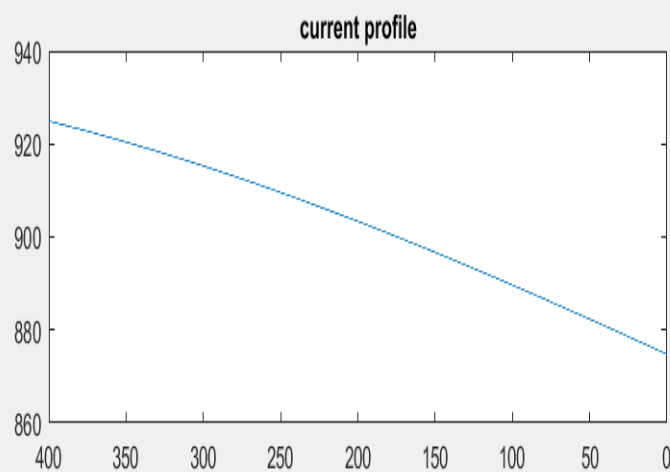
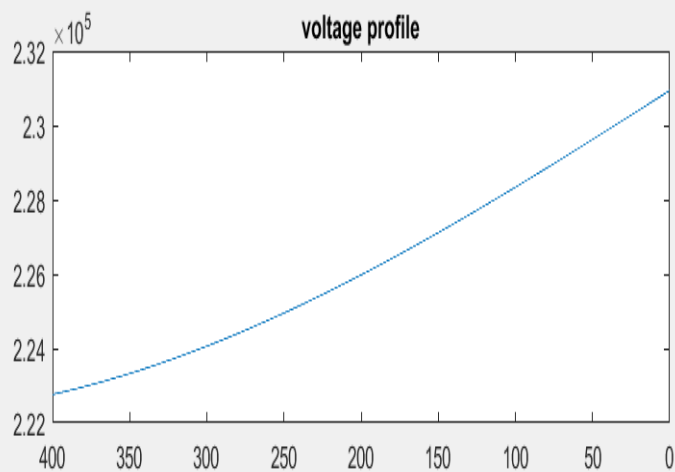
شرح نمودار بازده ی خط ( حالت الف -5 ) :



با توجه به تعریف بازه ی خط , در نقطه ی ابتدایی نمودار (چون توان آن نقطه با توان منبع برابر است) بازده برابر 100 درصد است. هر چقدر که از منبع دور می شویم و در فواصل نزدیک به بار توان اکتیو به دلیل تلفات مسیر بیشتر می شود . در حقیقت به دلیل اینکه نقطه ی نزدیک به بار ( فاصله ی 0 کیلومتری!) , مقدار طول بیشتری در مسیر قرار داشته است و هر طول دارای یک امپدانس بر طول ثابتی است , با افزایش مسیر , توان بیشتری تلف می شود و عملاً نسبت توان اکتیو آن نقطه به توان اکتیو منبع نیز کاهش می یابد و در نتیجه هر قدر که به بار نزدیک تر شویم , توان اکتیو آن نقطه کاهش می یابد و در نتیجه راندمان خط نیز کم می شود.

بطور کلی همانگونه که در کلاس بیان شد خطوط انتقال معمولاً از تلفات کمی برخوردار اند , و معمولاً از راندمان های بالای 96 درصد برخوردارند و به همین علت حتی خیلی مواقع از مدل بدون تلفات و (بدون در نظر گرفتن این اتلاف توان اکتیو) , استفاده می شود.

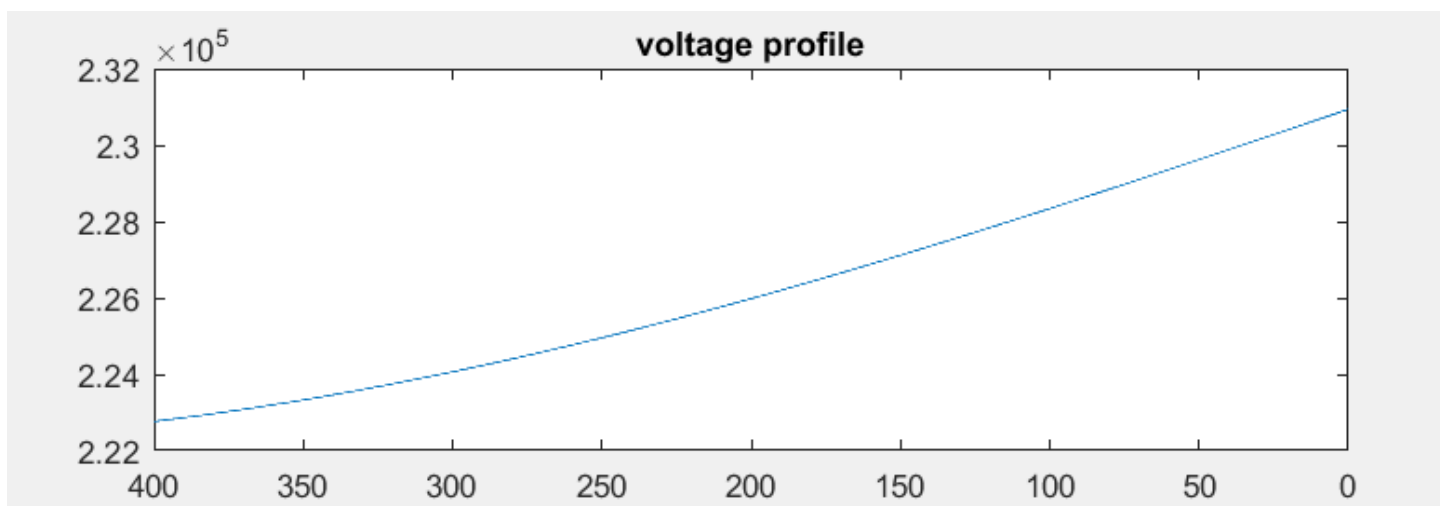
## نمودار قسمت 2 (part B)





## تحلیل بخش ب (پرفیل ولتاژ, پروفیل جریان , توان اکتیو , توان راکتیو و بازده ی خط)

شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت ب- 1) :



مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است

ولتاژ نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار ( $X=0$ )) برابر ولتاژ نامی بار است . ولتاژ نامی بار برابر با 400 کیلو ولت است. که اگر به ولتاژ **line to neutral** تبدیل شود , این مقدار برابر **230.94** کیلو ولت است که در نمودار مشخص است.

مقدار ولتاژ منبع نیز بصورت دستی , برابر مقدار **222.76** کیلو ولت بدست آمده است که در نمودار نیز واضح است (نقطه ی ابتدایی ) , به دلیل خازنی بودن بار و وجود ضریب توان مثبت جریان بار از ولتاژش جلو می افتد . با توجه به اینکه میسر دارای امپدانس سری , سلفی است . هر قدر که به منبع نزدیکتر می شویم زاویه ی جریان آن نقطه از ولتاژش بیشترر جلو

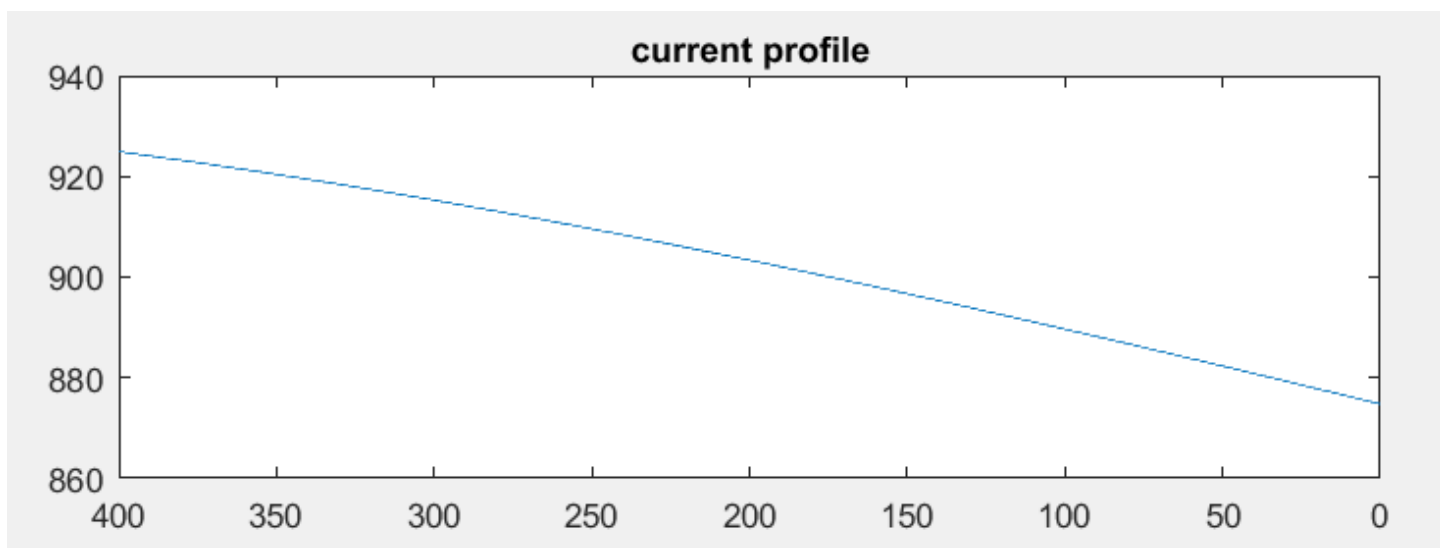
می افتد و رفته رفته این مقدار زاویه ی بین جریان و ولتاژ در محل منبع به حداکثر خود می رسد. اگر از سمت بار به سمت منبع حرکت کنیم هر قدر که زاویه ی ولتاژ بیشتر می شود ولتاژ آن نقطه نیز کمتر می شود در صورتی که کمترین ولتاژ را در منبع شاهدیم.

این افزایش فازور جریان و ولتاژ سبب کاهش ولتاژ سمت منبع به نسبت حالت الف (در حالتی که lag است ) می شود.

این افزایش ولتاژ در اثر اثر پیش فاز بودن جریان می تواند منجر به آسیب به تجهیزات شود به دلیل افزایش ولتاژ بار شود.

خلاصه ی کلام : در حقیقت چون جریان کم می شود اضافه ولتاژ زیادی در سمت بار اتفاق می افتد

شرح نمودار پروفیل جریان ( حالت ب - 2 ) :



مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است و محور عمودی بر حسب آمپر است.

جریان نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار ( $X=0$ )) بیانگر اندازه ی جریان عبوری از بار است . ولتاژ نامی بار برابر با 400 کیلو ولت است و توان بار در حالت الف 600 مگاوات در نظر گرفته شده است.

جریان بار به روش دستی

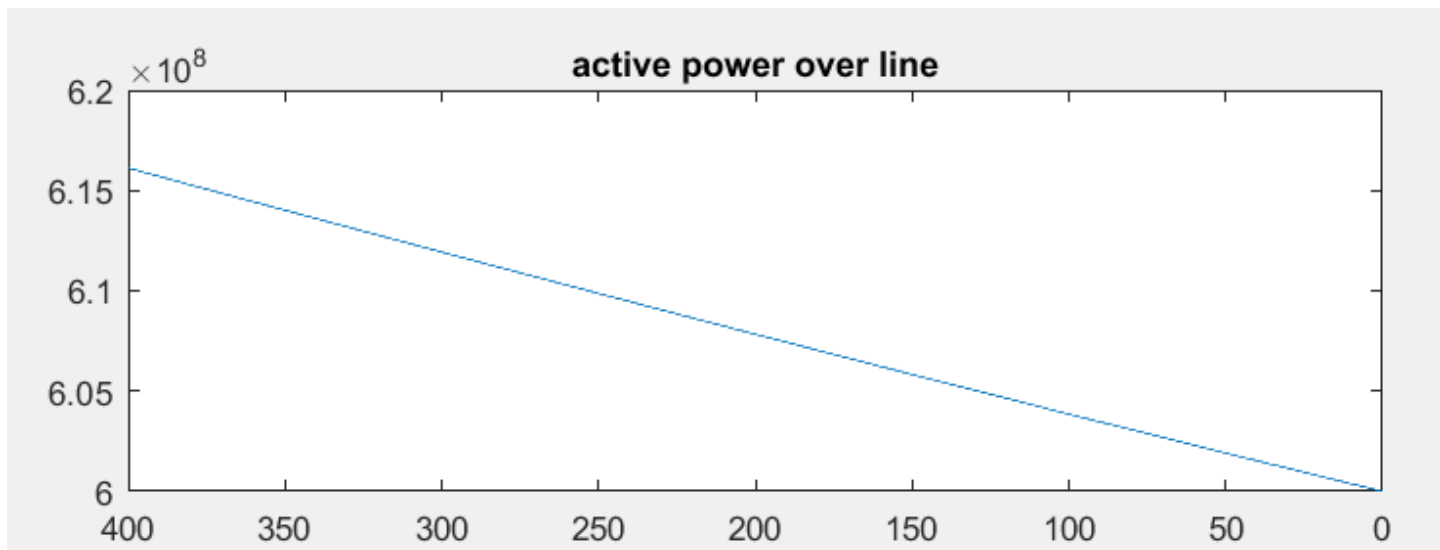
$$|I| = \frac{P}{\cos\phi \times V_{load-LL} \times \sqrt{3}} = \frac{600}{0.99 \times 400 \times \sqrt{3}} = 874.77$$

ولی اینبار دیگر جریان lead است

جریان منبع بصورت دستی , 924.9 بدست می آید که با مقدار جریان منبع در نمودار تطابق کامل دارد . با توجه به کاهش ولتاژ در سمت منبع (کمتر بودن ولتاژ نسبت به بار) , با توجه به افزایش ولتاژ قابل توجه سمت بار , می بایست جریان آن مقدار کاهش پیدا کند تا بتواند آنرا کنترل کند.

بنابراین جریان ارسالی در حالت ب بیشتر از حالت الف است که می تواند سبب افزایش تلفات شود بیشتر و یا حتی به عایق ها آسیب بزند .

شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط ( حالت ب -3 ) :

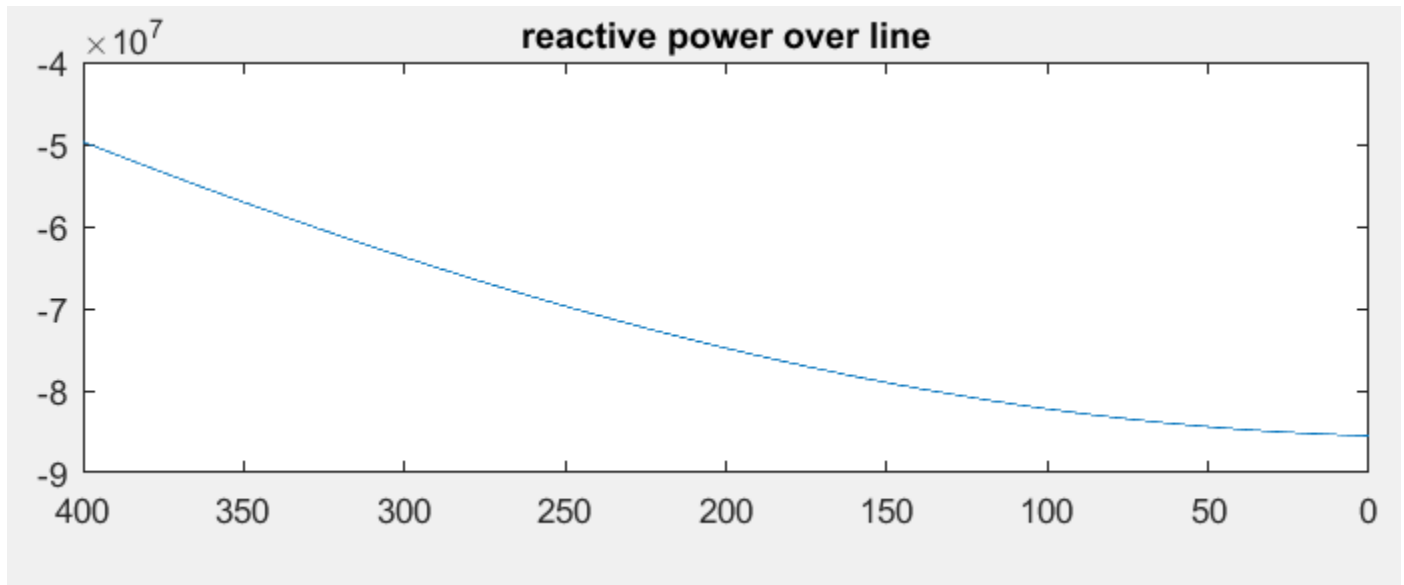


توان اکتیو بار برابر با 600 مگاوات فرض شده است. که در نقطه ی انتهایی نمودار فوق نیز قابل مشاهده است.

با توجه به اینکه توان اکتیو نشان دهنده ی توان الکتریکی خالص هر نقطه از خط است (بخش های رفت و برگشتی جریان ناشی از راکتانس نقشی در آن ندارند) ، بدیهی است که در خط انتقال با تلفات ، در اثر امپدانس سری خط ، مقداری از توان تلف می شود و بسته به اندازه ی این امپدانس سری ، هرچقدر که از منبع (در فاصله ی 400 کیلومتری) دور شویم بخش بیشتری از توان تلف می شود (شیب نمودار بیشتر نزولی می شود) . بدین ترتیب توان اکتیو کاهش می یابد تا در نهایت به توان 600 مگاوات ( توان فرض شده ی بار) برسد.

توان اکتیو در سمت منبع برابر با 616.19 مگاوات است .به علت افزایش جریان و کاهش ولتاژ نسبت به حالت الف با توجه به اینکه تلفات مسیر با توان 2 جریان مطابق با رابطه ی مستقیم دارد (  $RI^2$  ) ، بنابراین تلفات مسیر نیز افزایش می یابد و در یک توان مصرفی ثابت از جانب بار ، می بایست توان اکتیو بیشتری از طرف منبع ارسال شود. بنابراین توان ارسالی نسبت به حالت الف می بایست افزایش یابد ، لذا که تلفات مسیر بیشتر شده است.

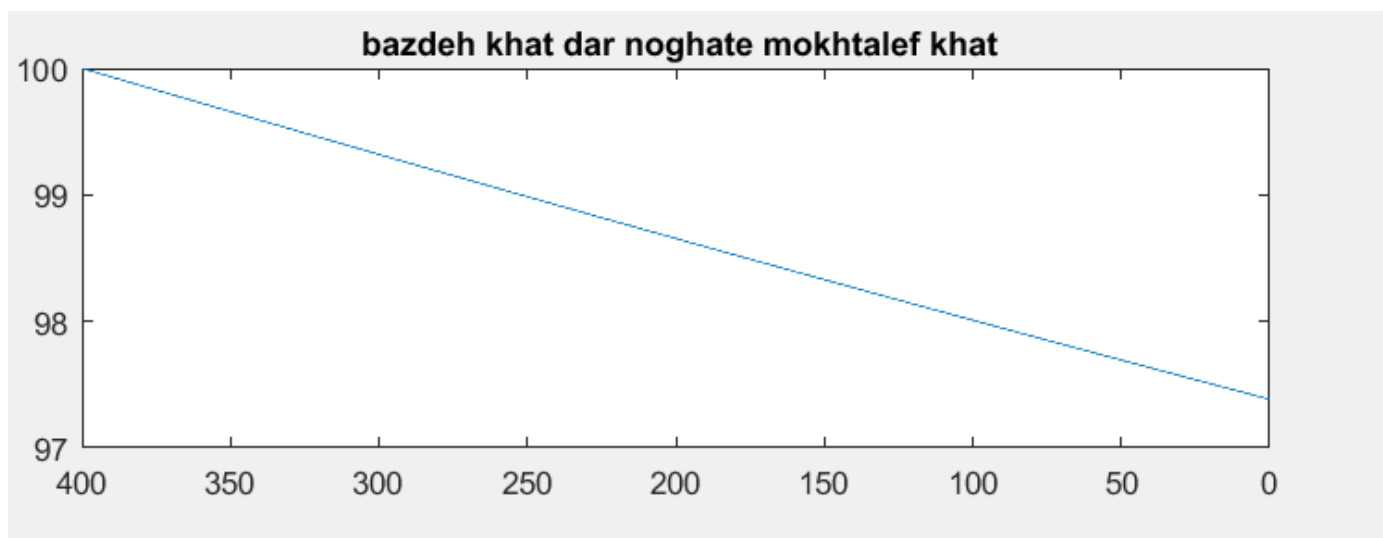
شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط ( حالت ب -4 ) :



به علت اینکه بار خاصیت خازنی دارد توان راکتیو بار منفی است . هرچقدر که به منبع نزدیک می شویم اثر خازنی به دلیل افزایش اندوکتانس های سری مسیر , کمتر می شود . این کاهش اثر خازنی سبب کاهش جلوفتادگی ولتاژ نسبت به جریان می شود و در نتیجه توان راکتیو رفته رفته کمتر شود. به عبارت دیگر توان راکتیو از منبع تا بار کاهش می یابد.

از 49.71 – تا حدود 85- مگا وار توان راکتیو افزایش می یابد.

شرح نمودار بازده ی خط ( حالت ب -5 ) :

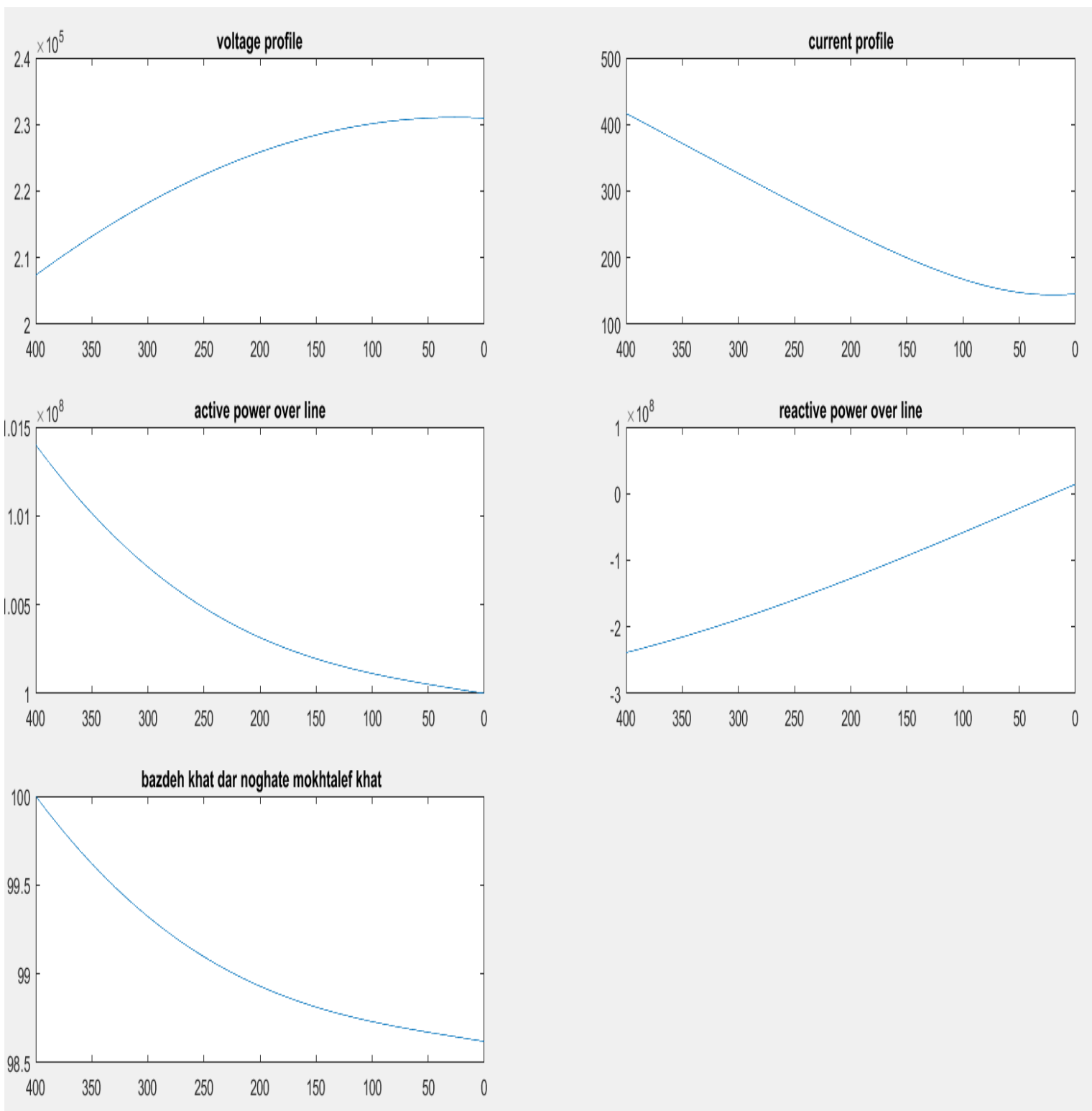


راندمان در حالت ب به دلیل افزایش جریان و در نتیجه افزایش تلفات خط نسبت به حالت الف کاهش می یابد . در حقیقت اختلاف توان اکتیو ارسالی و دریافتی بیشتر می شود که این خود علت کاهش راندمان است.

توجیه شیب نزولی راندمان :

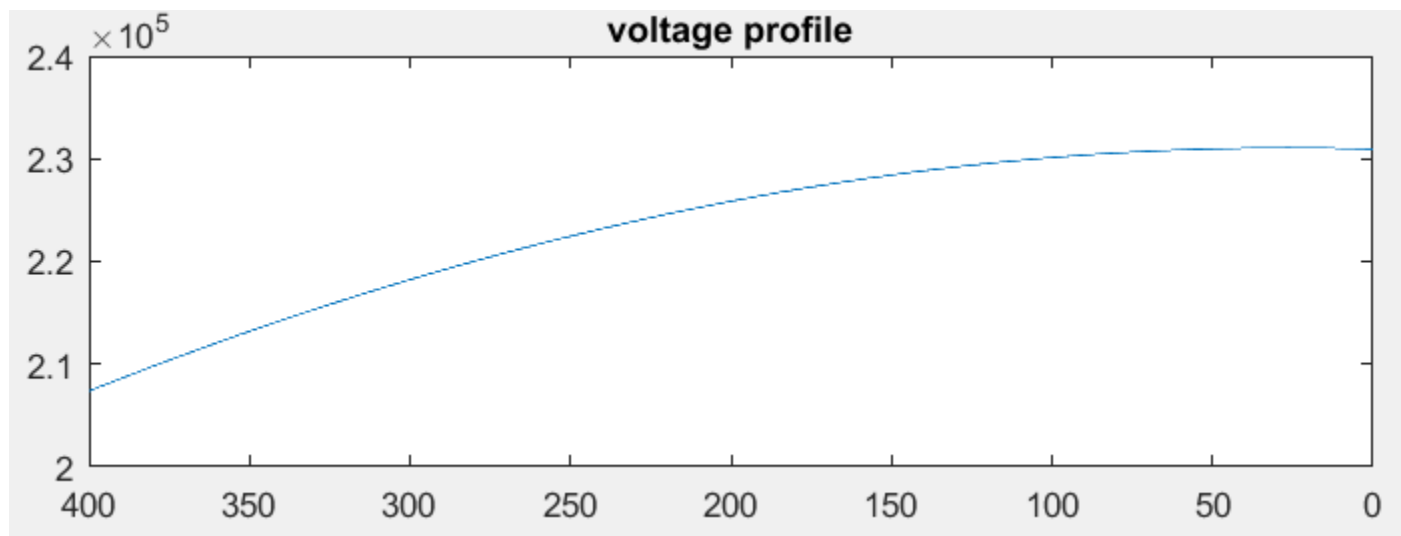
بطور مشابه با بخش قبلی داریم : با توجه به تعریف بازه ی خط , در نقطه ی ابتدایی نمودار (چون توان آن نقطه با توان منبع برابر است) بازده برابر 100 درصد است. هر چقدر که از منبع دور می شویم و در فواصل نزدیک به بار توان اکتیو به دلیل تلفات مسیر بیشتر می شود . در حقیقت به دلیل اینکه نقطه ی نزدیک به بار ( فاصله ی 0 کیلومتری! ) , مقدار طول بیشتری در مسیر قرار داشته است و هر طول دارای یک امپدانس برطول ثابتی است , با افزایش مسیر , توان بیشتری تلف می شود و عملاً نسبت توان اکتیو آن نقطه به توان اکتیو منبع نیز کاهش می یابد و در نتیجه هر قدر که به بار نزدیک تر شویم , توان اکتیو آن نقطه کاهش می یابد و در نتیجه راندمان خط نیز کم می شود.

## نمودار قسمت 3 (part C)



## تحلیل بخش پ (پروفیل ولتاژ, پروفیل جریان, توان اکتیو, توان راکتیو و بازده ی خط)

شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت پ-1) :



مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است

ولتاژ نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار  $(X=0)$ ), تغییری نخواهد کد و همان مقدار برابر 230.94 کیلو ولت line to neutral است که در نمودار مشخص است.

در این نمودار ولتاژ منبع ارسالی پایین تر از حالت های پیشین و برابر 207.38 کیلو وات است. و ولتاژ در سمت بار افزایش می یابد و تا به ولتاژ نامی براساس line to neutral برسد. با توجه به اینکه در این شکل به علت آنکه توان بار به میزان

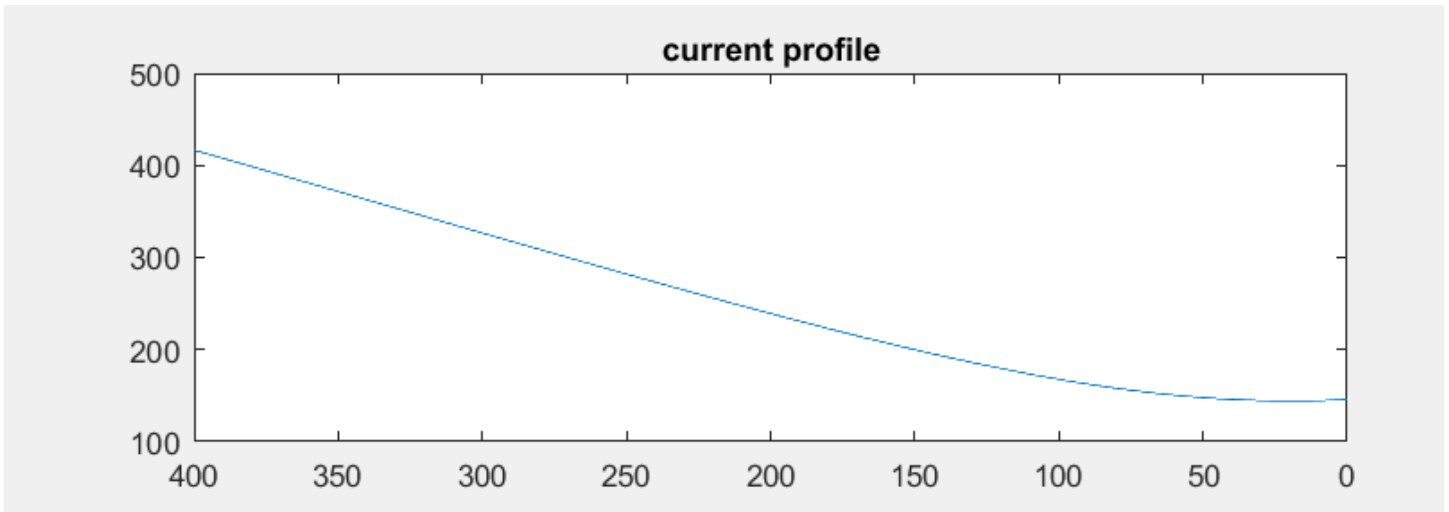


زیادی کاهش از 600 مگاوات به 100 مگاوات رسیده است , تقریباً نمودار شبیه با حالت بی باری خواهد شد.

در حقیقت به دلیل آنکه جریان عبوری از مسیر به دلیل کاهش توان بار کاهش چشمگیری پیدا می کند نمودار پروفیل ولتاژ حالت صعودی پیدا می کند و شبیه به حالت بی باری (جریان صفر) خواهد شد. (تأثیر ترم جریان در معادلات کم می شوند و ترم ولتاژ نامی اثر گذاری بیشتری خواهد داشت .)

بنابراین هرچقدر که به بار نزدیک شویم به علت افزایش ضریب ولتاژ بار (ولتاژ نامی) در معادلات , ولتاژ سمت بار افزایش می یابد.

شرح نمودار پروفیل جریان ( حالت پ - 2 ) :



مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است و محور عمودی بر حسب آمپر است.

جریان نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار  $(X=0)$ ) بیانگر اندازه ی جریان عبوری از بار است . ولتاژ نامی بار برابر با 400 کیلو ولت است و توان بار در حالت پ 100 مگاوات در نظر گرفته شده است.

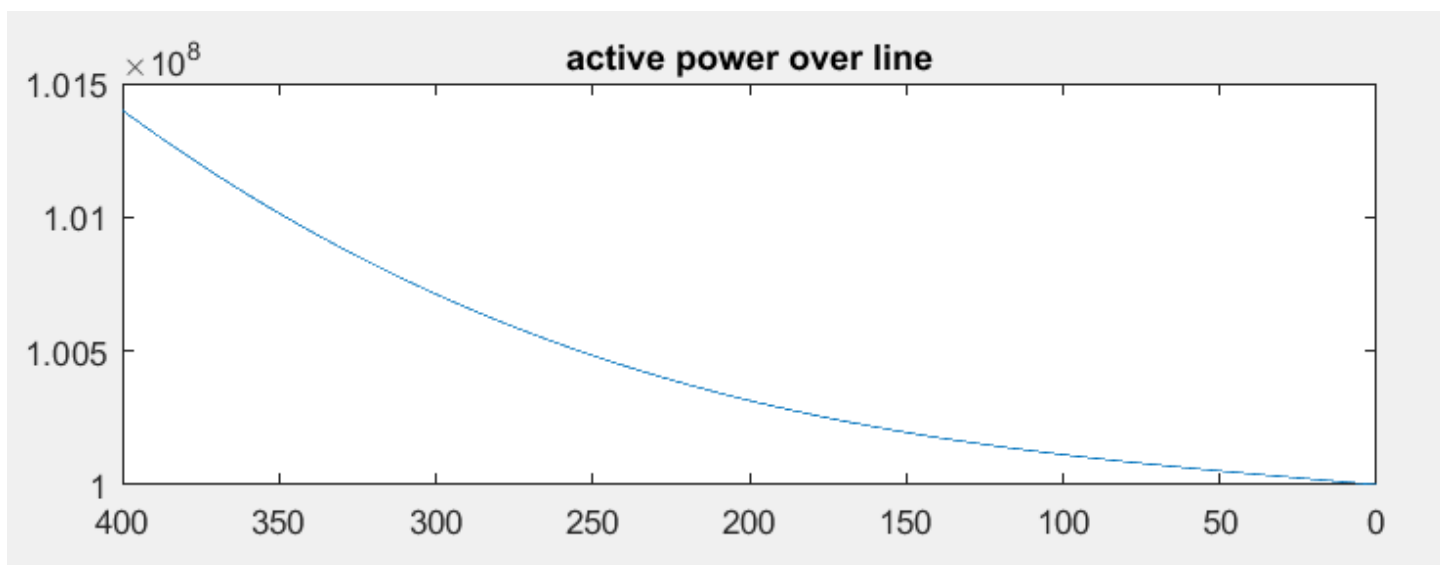
جریان بار به روش دستی

$$|I| = \frac{P}{\cos\phi \times V_{load-LL} \times \sqrt{3}} = \frac{100}{0.99 \times 400 \times \sqrt{3}} = 145.795$$

و جریان مشابه حالت الف بصورت lag است.

همانگونه که واضح است بدلیل کاهش توان از 600 به 100 مگاوات ، اولین تاثیر را بر روی جریان بار خواهد گذاشت که جریان آن نیز به  $\frac{1}{6}$  مقدار خود خواهد رسید ولیکن مشابه استدلال بخش الف به دلیل lag بودن جریان با حرکت از منبع به سمت بار ، کاهش پیدا می کند (پروفیل جریان نزولی است) و لیکن به دلیل کاهش توان بار جریان منبع نیز در مقایسه با حالت الف کاهش و به 416.51 آمپر خواهد رسید که به دلیل کاهش بار است.

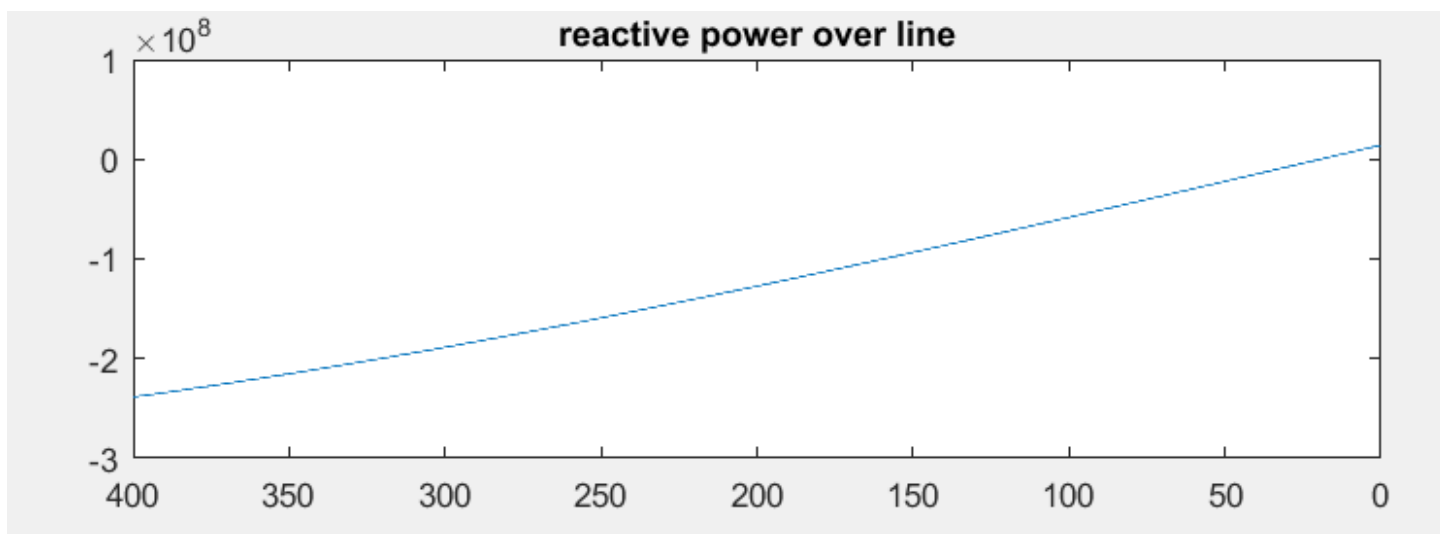
شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط ( حالت پ -3 ) :



توان اکتیو بار برابر با 100 مگاوات فرض شده است. که در نقطه ی انتهایی نمودار فوق نیز قابل مشاهده است.

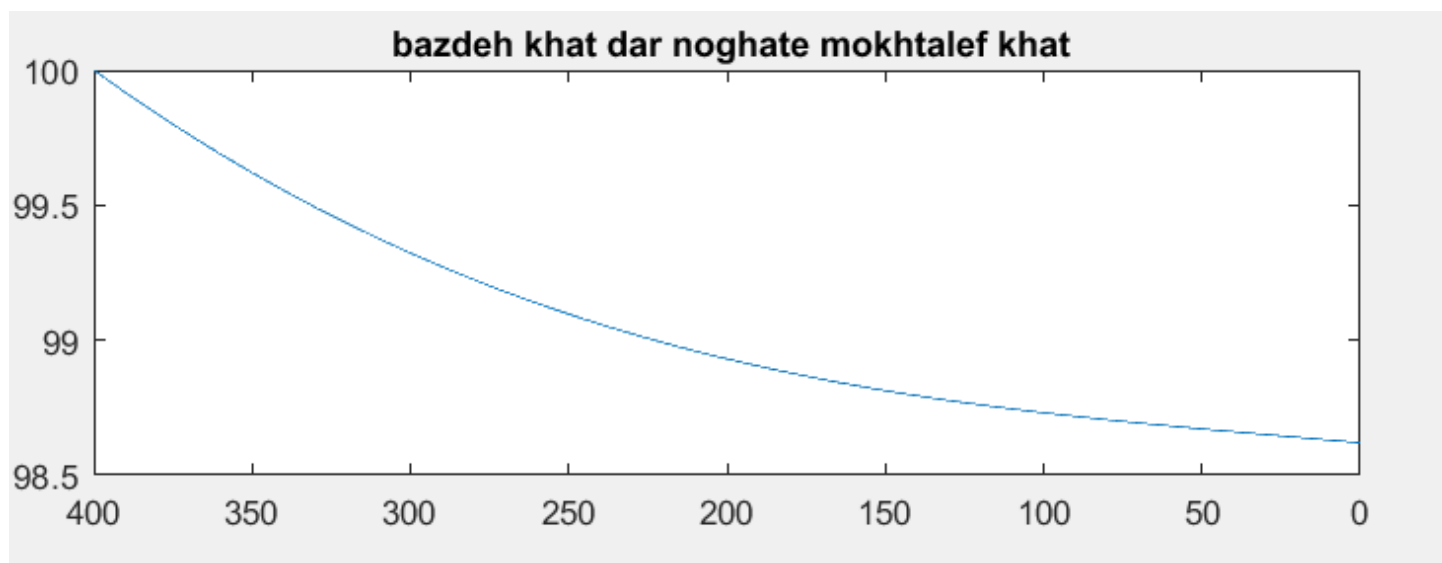
پیرو توضیحات مربوط به بخش الف توان اکتیو نموداری نزولی است و به دلیل کاهش بار، توان تولیدی نیز نسبت به حالت های پیشین کاهش پیدا خواهد کرد و به 101.39 مگاوات خواهد رسید که در اثر کاهش جریان این اتفاق می افتد و تلفات مسیر کم می شود. (چون در حالت بار کامل نیست)

شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط ( حالت پ-4 ) :



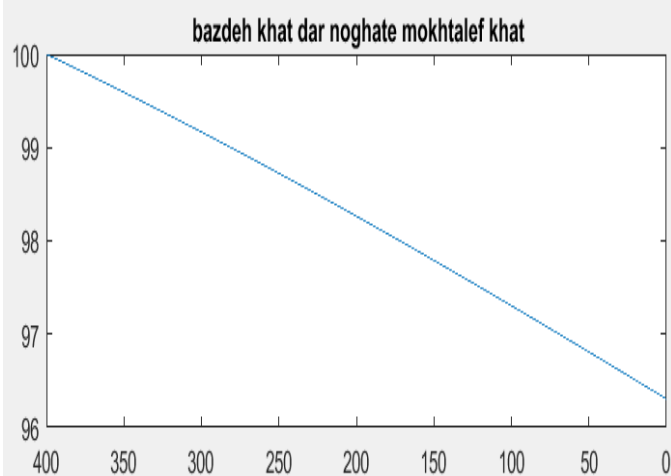
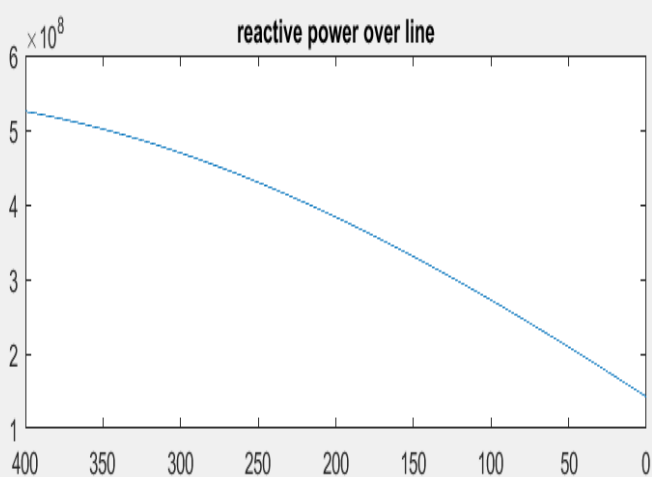
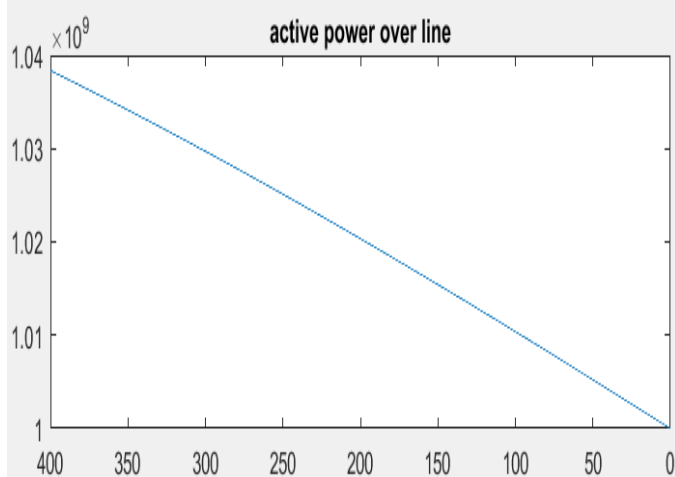
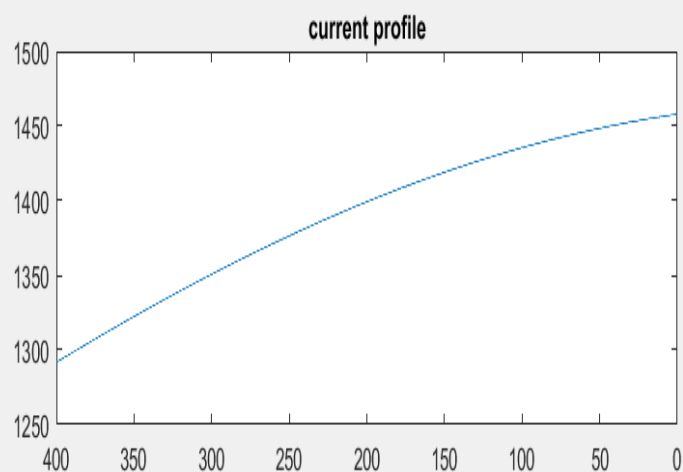
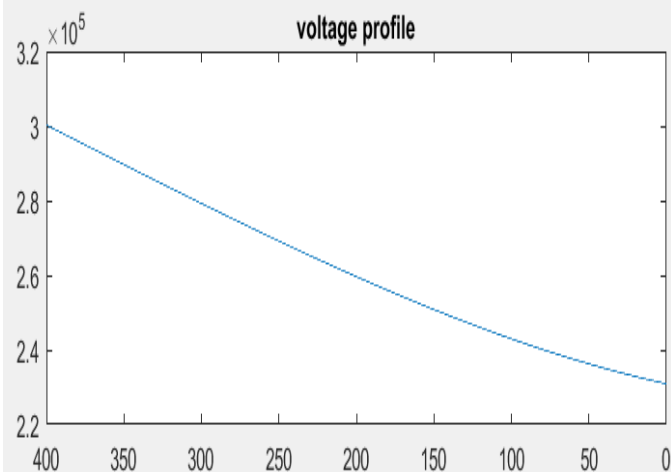
نمودار این حالت شبیه به حالت الف است، منتها به دلیل کاهش جریان مسیر اولاً توان راکتیو آن کمتر از حالت الف است. ثانیاً به علت آنکه در ابتدای مسیر اثر خازنی وجود دارد توان راکتیو منفی است و سپس با افزایش طول مسیر و زیاد شدن امپدانس سری، توان راکتیو کم می شود و اثر خازنی و سلفی آن یکدیگر را خنثی می کنند و در نهایت نزدیک بار اثر سلفی از خازنی پیشی می گیرد.

شرح نمودار بازده ی خط ( حالت پ -5 ) :



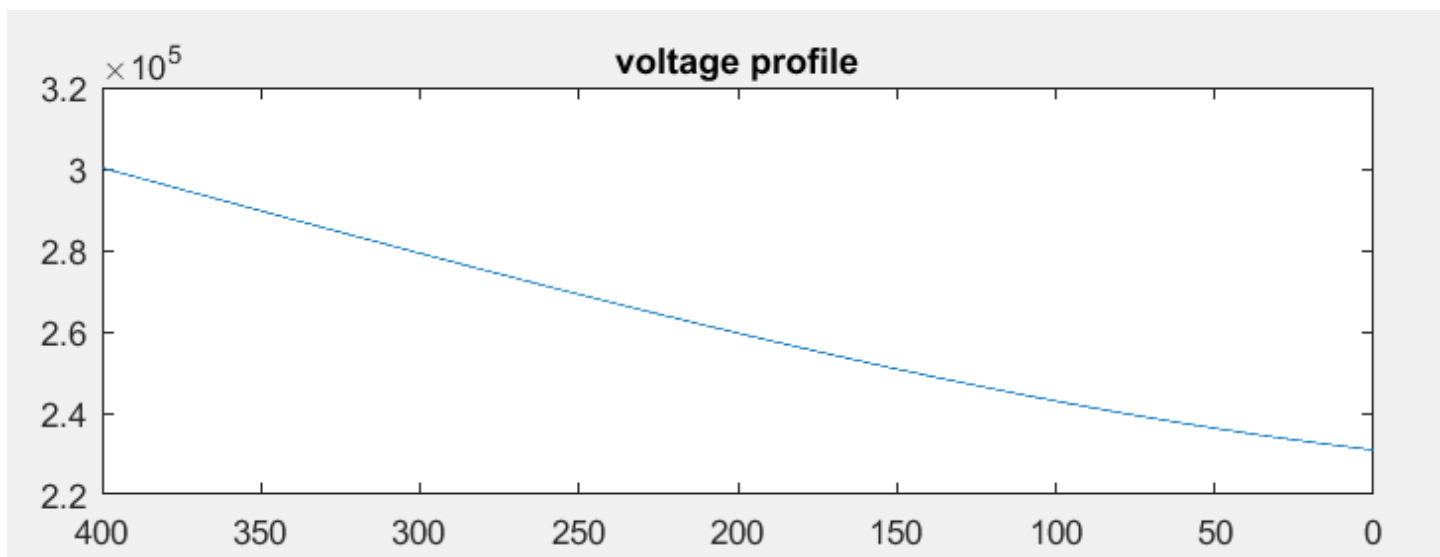
در حالت پ به دلیل کاهش توان اکتیو بار, جریان کم می شود و این کاهش جریان سبب کاهش تلفات در طول مسیر می شود , و بازده ی این حالت از حالت های الف و ب و ت بیشتر خواهد بود . و بالای 98.5 درصد می سد که هرچه به سمت بار می رویم به دلایل بیان شده در بخش های الف و ب راندمان کاهش می یابد و نمودار نزولی است.

## نمودار قسمت 4 (part D)



## تحلیل بخش ت (پرفیل ولتاژ, پروفیل جریان, توان اکتیو, توان راکتیو و بازده ی خط)

شرح نمودار پروفیل ولتاژ (حالت ت- 1) :



مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است

مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است

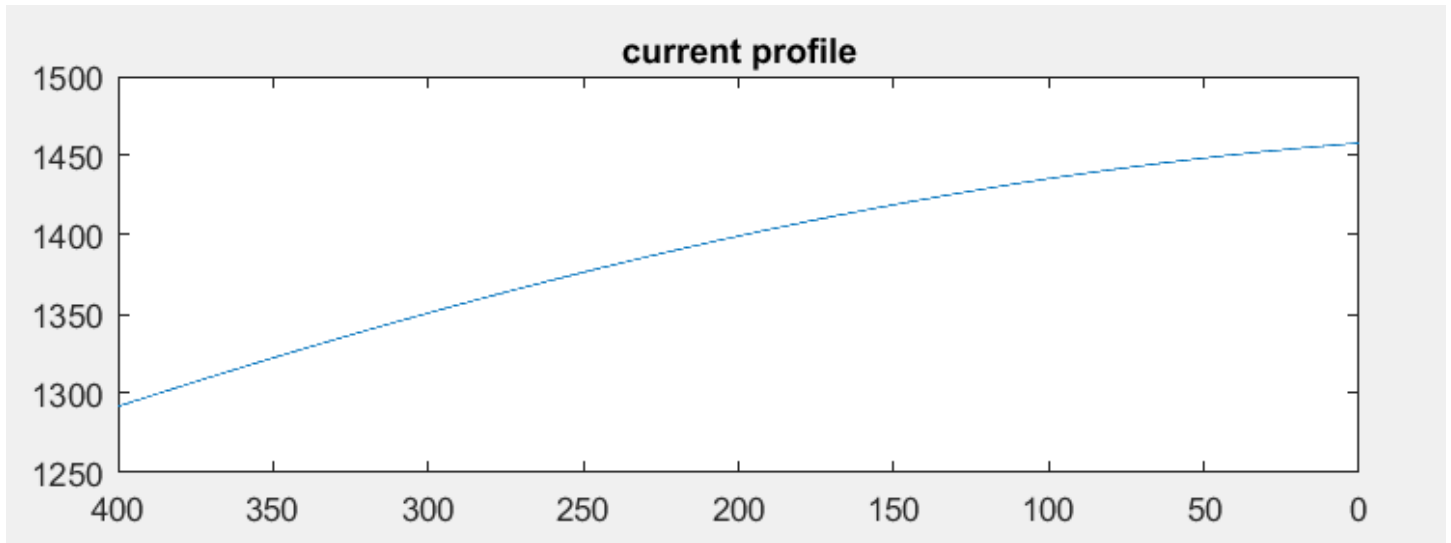
ولتاژ نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار (X=0)) این مقدار برابر 230.94 (line to neutral) کیلو ولت است که در نمودار مشخص است.

مقدار ولتاژ منبع نیز بصورت دستی ، برابر مقدار **300.23** کیلو ولت بدست آمده است که در نمودار نیز واضح است (نقطه ی ابتدایی ). کاملاً مشابه با بخش الف به دلیل افت ولتاژ موجود در طول مسیر به دلیل وجود امپدانس سری هر قدر که از سمت منبع به سمت بار حرکت کنیم افت ولتاژ نقاط متناظر آن بیشتر خواهد شد . و در نتیجه پروفیل ولتاژ به صورت نزولی خواهد بود .

تفاوتی که در این قسمت و قسمت الف وجود دارد این است که به دلیل افزایش توان اکتیو بار به **1000** مگاوات ، وثابت بودن ولتاژ بار در ولتاژ نامی ، جریان مدار افزایش پیدا می کند ، که این خود سبب افزایش افت ولتاژ و تلفات سری در در مسیر می شود بنابراین می بایست در سمت فرستنده نسبت به حالت های پیشین ولتاژ بیشتری را ارسال کرد. بنابراین ولتاژ سمت فرستنده در این قسمت نسبت به تمامی حالت ها بیشتر خواهد بود.



شرح نمودار پروفیل جریان ( حالت ت - 2 ) :



مقادیر محور افقی بر اساس کیلو متر است و محور عمودی بر حسب آمپر است.

جریان نقطه ی انتهایی نمودار (مکان بار  $(X=0)$ ) بیانگر اندازه ی جریان عبوری از بار است . ولتاژ نامی بار برابر با 400 کیلو ولت است و توان بار در حالت پ 100 مگاوات در نظر گرفته شده است.

جریان بار به روش دستی

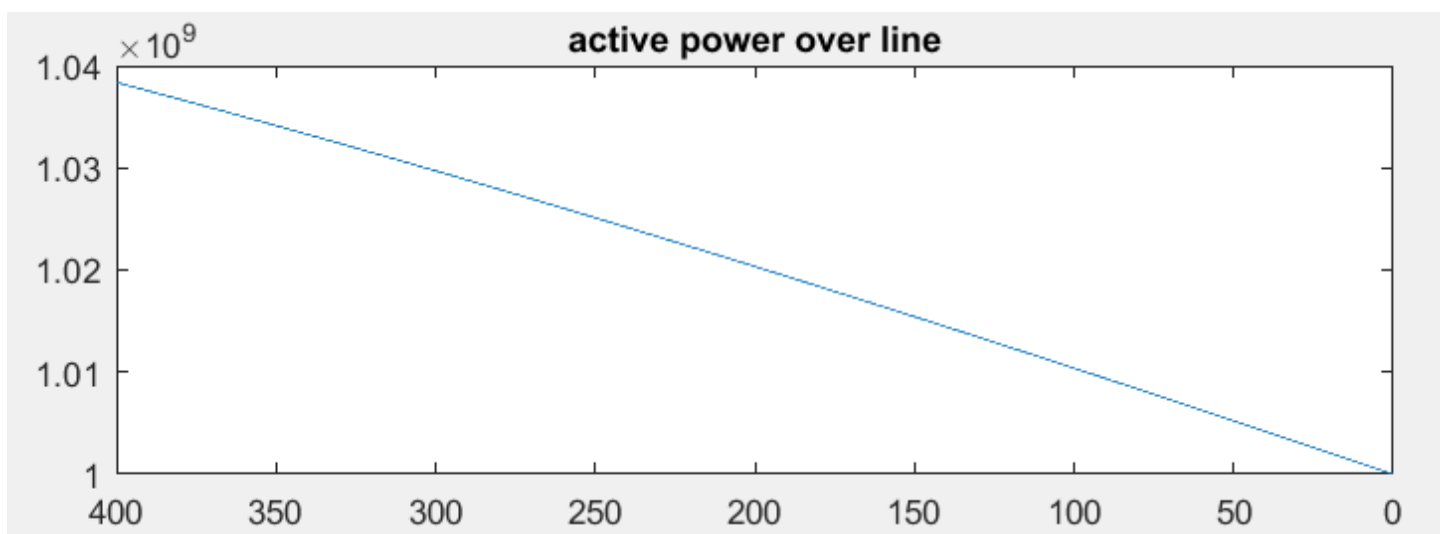
$$|I| = \frac{P}{\cos\phi \times V_{load-LL} \times \sqrt{3}} = \frac{100}{0.99 \times 400 \times \sqrt{3}} = 1457.95 \text{ A}$$

و جریان مشابه حالت الف بصورت lag است.

همانگونه که واضح است بدلیل افزایش توان از 600 به 1000 مگاوات (نسبتبه حالت الف) , اولین تاثیر را بر روی جریان بار خواهد گذاشت که جریان آن نیز به  $\frac{10}{6}$  مقدار خود خواهد رسد. ولیکن مشابه استدلال بخش الف به دلیل ثابت ماندن ولتاژ برخلاف افزایش توان در سمت بار جریان در سمت بار زیاد می شود . وجود یک توان اکتیو مشخص در سمت فرستنده و افزایش مقدار ولتاژ فرستنده سبب می شود تا جریان فرستنده از یک مقدار مشخص بالا تر نیاید . بنابراین در ابتدای مسیر جریان کم است ولی هرچقدر که به بار نزدیکتر می شویم به علت کاهش ولتاژ و اینکه عملا توان اکتیو آنقدر متاثر از تلفات نمی شود و بازده معمولا بالاست , می بایست جریان افزایش یابد و د نتیجه پروفیل ولتاژ بصورت صعودی است.

**\*\* ولی درکل جریان نسبت به تمامی حالت ها به دلیل افزایش توان , بیشتر است .**

شرح نمودار توان اکتیو هر نقطه از خط ( حالت ت -3 ) :



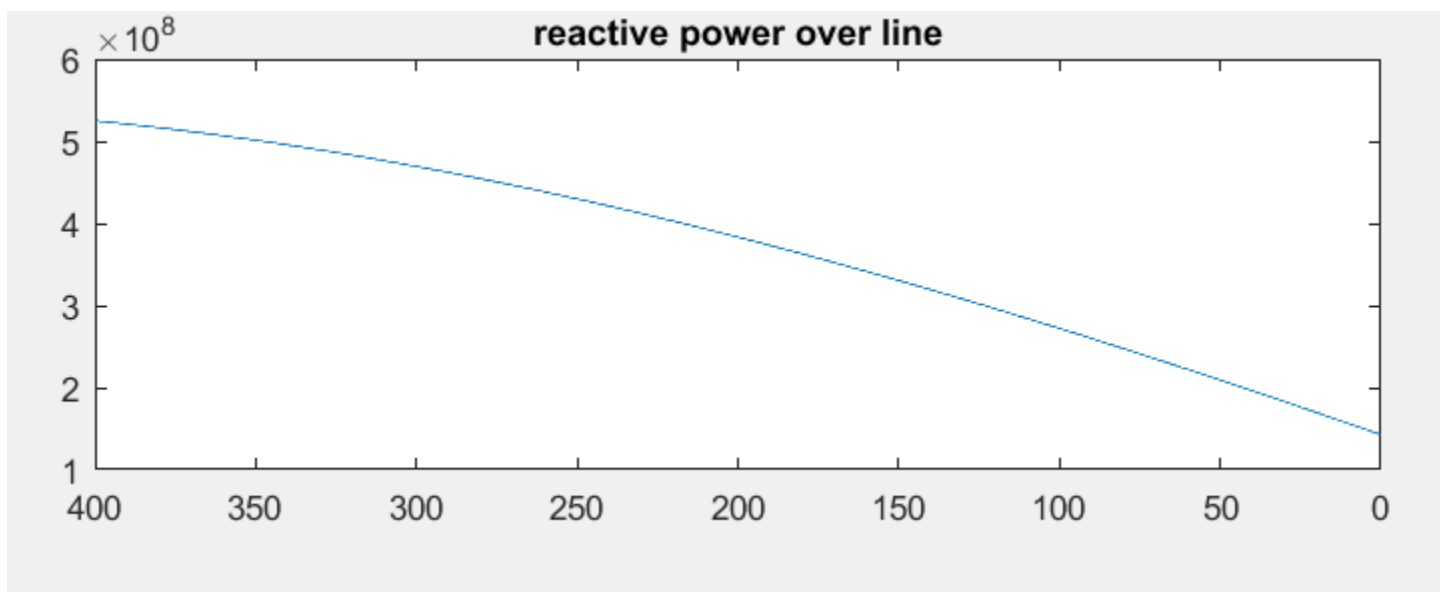
توان اکتیو بار برابر با 1000 مگاوات فرض شده است. که در نقطه ی انتهایی نمودار فوق نیز قابل مشاهده است.

پیرو توضیحات مربوط به بخش الف توان اکتیو نموداری نزولی است و به دلیل افزایش بار , توان تولیدی نیز نسبت به حالت های پیشین افزایش پیدا خواهد و چون جریان مسیر نیز افزایش می یابد, تلفات نسبت به حالت های دیگر بیشتر است و در نتیجه می بایست توان بیشتری را در ورودی ارسال کنیم.

در این حالت توان اکتیو ارسالی به 1038.38 مگاوات خواهد رسید.

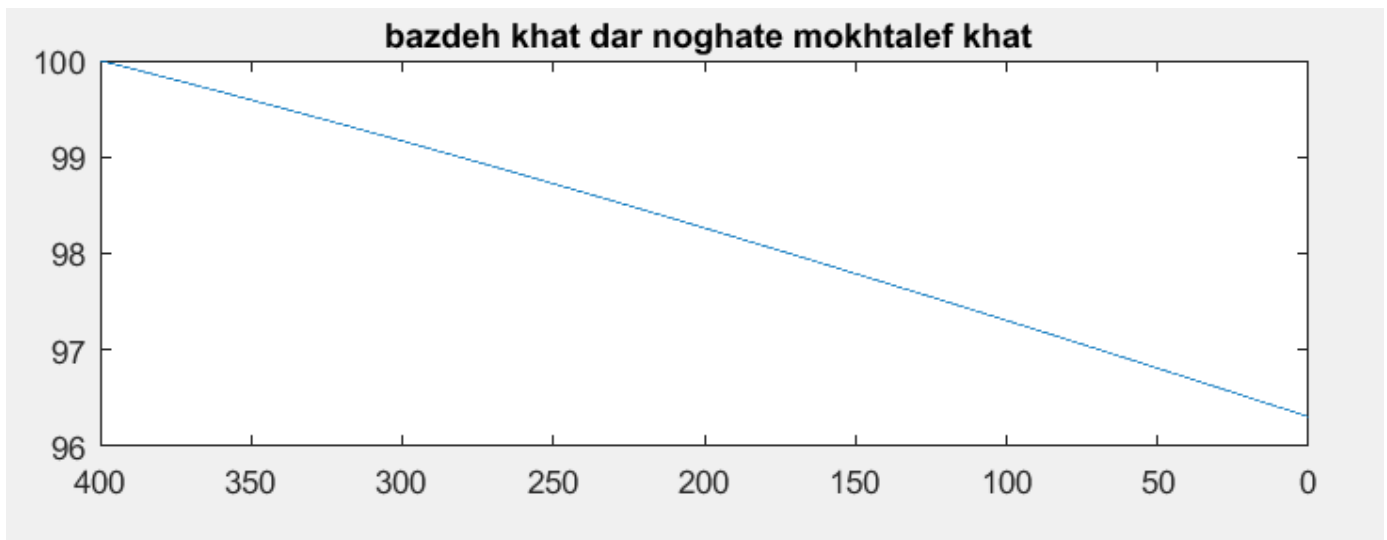
**\*\***دلیل نزولی بودن منحنی توان اکتیو در بخش الف آمده است.

شرح نمودار توان راکتیو هر نقطه از خط ( حالت ت-4 ) :



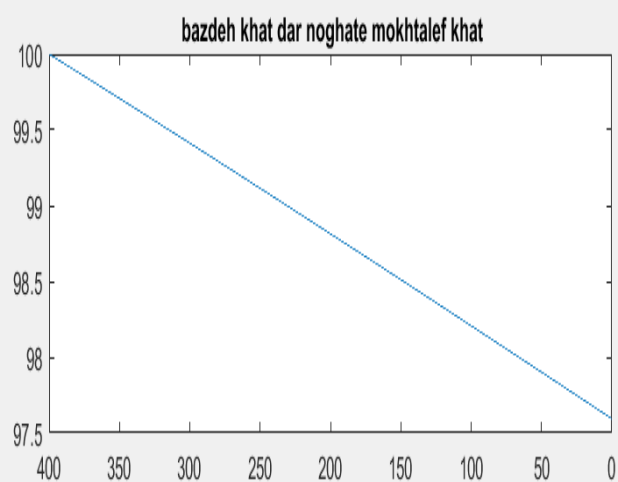
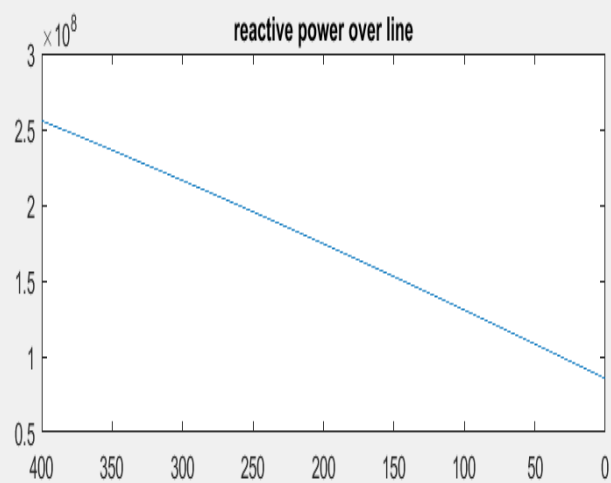
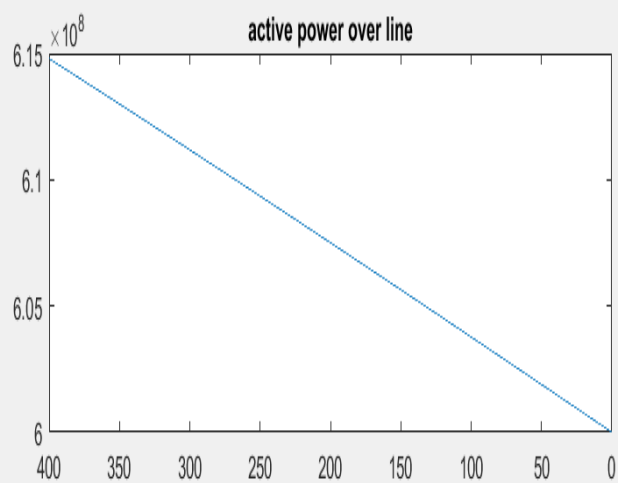
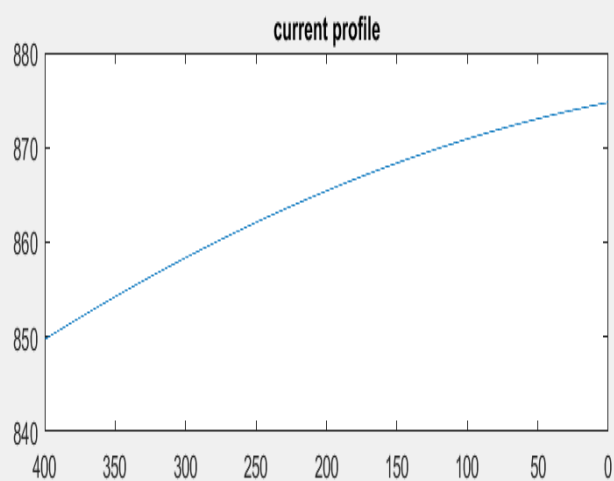
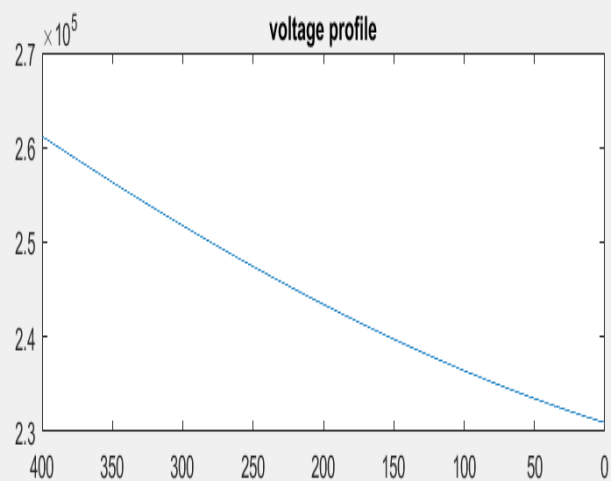
به دلیل افزایش جریان و lag بودن آن توان راکتیو در این حالت نسبت به حالت های پیشین بیشتر است و همچنین , در اثر افزایش جریان و عبور از امپدانس سری دارای مقدار مثبت است. البته در انتهای خط کمی از این امپدانس توسط اندوکتانس مواجی خنثی می شود.

شرح نمودار بازده ی خط ( حالت ت - 5 ) :



در حالت ت کمترین بازده را نسبت به حالت های دیگر تجربه می کند . زیرا که بیشترین توان سبب بیشترین جریان و در نهایت بیشترین اتلاف توان در مسیر خواهد شد. هرچه که مسیر بیشتر می شود , تلفات سری بیشتر (امپدانس عبوری بیشتر می شود) می شوند و در نتیجه بازده کاهش می یابد.

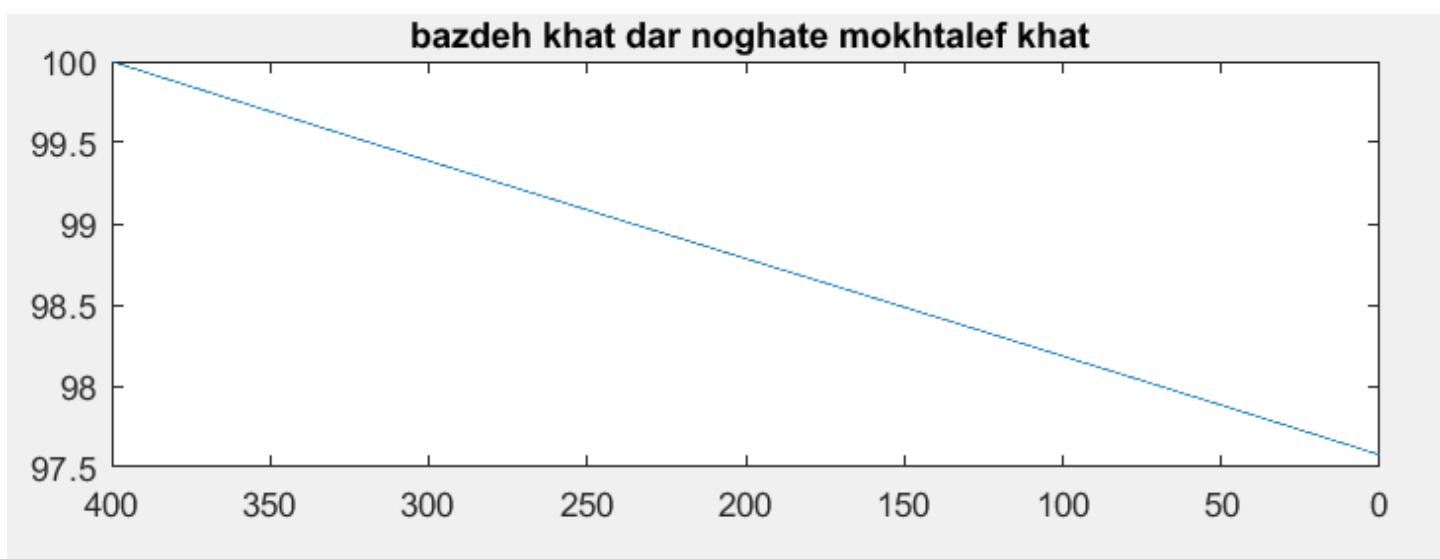
## نمودار قسمت 5 (part E)



## تحلیل بخش ث ( بررسی نمودار و محاسبه ی بازده ی خط) در حالت

### جبران سازی و محاسبه ی بازده ی خط

( حالت ث -1 ) بررسی مقدار بازده و محاسبه ی تغییرات بازده در اثر جبران سازی ( خواسته ی سوال)



نمودار فوق مقادیر محاسبه شده بازده را پس از جبران سازی نشان می دهد.

در این مقاله که مربوط به درس تحلیل سیستم های انرژی الکتریکی است، سعی بر آن شده است که کلیه ی مطالب خواسته شده به همراه نتایج نمودار ها و توضیحات مربوط به کد ها بصورت مرحله به مرحله بیان بشود.

فایل متلب و تصاویر خروجی آن نیز در پوشه ی دیگر قابل مشاهده است

با تشکر فراوان از شما

مهران تجیدی