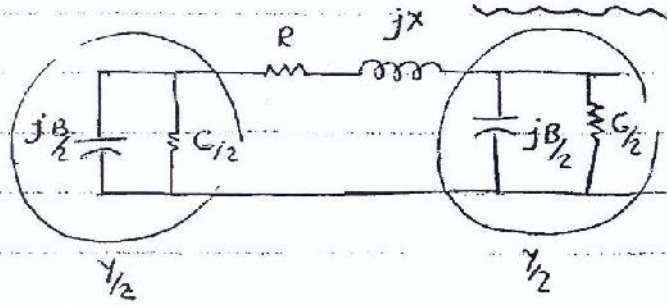
ظرفیت یا Capacitance خطوط انتقال انرژی :



ادمیتانس شنت عالباً خازنی است.

بین دو خط، خط و زمین و بطور کلی بین دو هر سطح هادی که به هم اتصال ندارند خازن وجود دارد

علیرغم ماهیت این خط در کار عادی داریم

چون از طریق خازن ها اتصال برقرار شده

Sharging Current

Capacitance + Conductance

ادمیتانس شنت

مقدار Conductance ضریب هدایتی - بسیار ناچیز است ناشی از جریان نشتی

متقابل آب و هوایی

با Capacitance تکمیل ملاحظه و با افزایش طول زیاد می شود و در طول خط قابل توجه است. روی دقت خط و رگولاسیون ولتاژ موثر است. و هم چنین در پایداری سیستم تاثیر دارد.

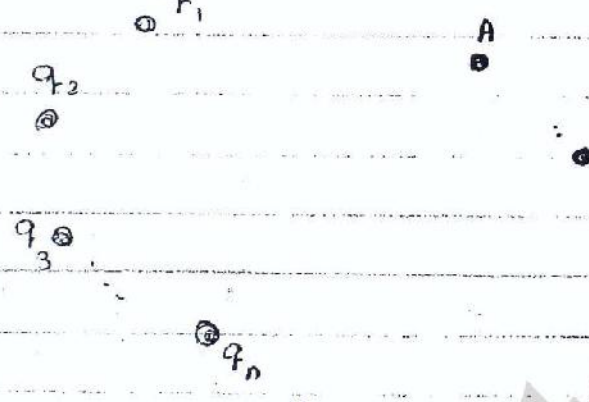
← اما در خطوط کوتاه تاثیر آن در حد بسیار ناچیز است ← ادمیتانس شنت در خطوط کوتاه صرفنظر می شود

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

پتانسیل الکتریکی ناشی از هادی‌های استوانه‌ای باردار:

می‌خواهیم پتانسیل یک نقطه ناشی از هادی استوانه‌ای بلند باردار که بخ‌ع بار در هر واحد طول در هر لحظه برابر صفر است به دست آوریم



فرض بر این است که P دورتر از A است.

$$(V_A - V_P)_1 = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_{1P}}{D_{1A}}$$

$$(V_A - V_P)_2 = \frac{q_2}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_{2P}}{D_{2A}}$$

$$\vdots$$

$$(V_A - V_P)_n = \frac{q_n}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_{nP}}{D_{nA}}$$

$$V_A - V_P = \sum_i (V_A - V_P)_i = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_1 \ln \frac{D_{1P}}{D_{1A}} + q_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{2A}} + \cdots + q_n \ln \frac{D_{nP}}{D_{nA}} \right.$$

$$\Rightarrow V_A - V_P = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_1 \ln \frac{1}{D_{1A}} + q_2 \ln \frac{1}{D_{2A}} + \cdots \right.$$

$$\left. + q_1 \ln D_{1P} + q_2 \ln D_{2P} + \cdots + q_n \ln D_{nP} \right)$$

$$q_1 + q_2 + \cdots + q_n = 0 \Rightarrow q_1 = -q_2 - q_3 - \cdots - q_n$$

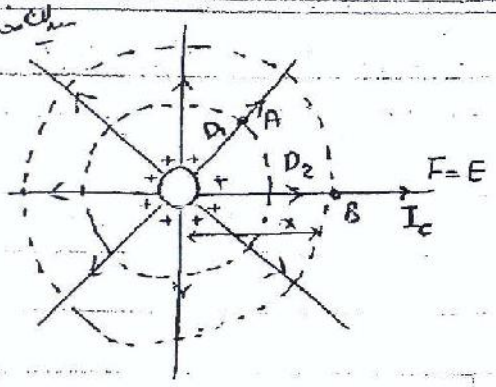
$$V_A - V_P = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_1 \ln \frac{1}{D_{1A}} + q_2 \ln \frac{1}{D_{2A}} + \cdots + q_n \ln \frac{1}{D_{nA}} \right\}$$

$$+ \frac{1}{2\pi\epsilon} \left\{ q_1 \ln \frac{D_{1P}}{D_{nP}} + q_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{nP}} + \cdots + q_{n-1} \ln \frac{D_{n-1P}}{D_{nP}} \right\}$$

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

هادی استوانه‌ای طویل



بار I_c به فاصله x از مرکز هادی

در نظر می‌گیریم

q: بار واحد طول خط انتقال

قانون گوس: شار الکتریکی گذرنده از هر سطح بسته = باری که آن سطح بسته در برگرفته

$$\oint D.ds = q \qquad ds = 2\pi dx \cdot 1$$

(ارتفاع واحد)

$$\Rightarrow D = \frac{q}{2\pi x}$$

$$D = \epsilon E \qquad \epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

$$\epsilon = \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^{-7}}$$

$$\Rightarrow \boxed{E = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 x}}$$

نیروی وارد بر واحد بار به فاصله x از مرکز هادی

$$V_A - V_B = -\int_{D_2}^{D_1} E\,dx = -\int_{D_2}^{D_1} \frac{q}{2\pi\epsilon_0 x}\,dx$$

$$\boxed{V_A - V_B = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1}}$$

اختلاف پتانسیل دو نقطه در فضای اطراف هادی

$D_2 = D_1$ ← اختلاف پتانسیل ندارند

← دایره‌های باریکی هم میدان خطوط میدان مغناطیسی و هم سطوح هم پتانسیل اند

پتانسیل یا نقطه اختلاف پتانسیل بین یا نقطه و ... (مرجع پتانسیل)

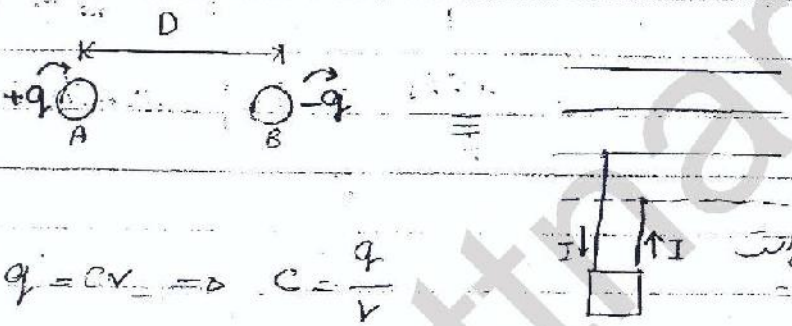
www.itnaf.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$P \to \infty$ $\quad V_A - V_P = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{ q_1 \ln\frac{1}{D_{1A}} + q_2 \ln\frac{1}{D_{2A}} + \cdots + q_n \ln\frac{1}{D_{nA}} \right\}$

$$\boxed{V_A = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_1 \ln\frac{1}{D_{1A}} + q_2 \ln\frac{1}{D_{2A}} + \cdots + q_n \ln\frac{1}{D_{nA}} \right)}$$

ظرفیت خطوط انتقال انرژی تکفاز دو سیمه:



هوای داخل و خارج لوله مانند است

سه بار حاصل از سه

$$q = CV \Rightarrow C = \frac{q}{V}$$

پتانسیل خطوط باری A

$$V_A = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}\left(q \ln\frac{1}{r_a} - q \ln\frac{1}{D} \right) = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln\frac{D}{r_a}$$

$$V_B = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(-q \ln\frac{1}{r_b} + q \ln\frac{1}{D} \right) = \frac{-q}{2\pi\epsilon_0} \ln\frac{D}{r_b}$$

$$V_A - V_B = \frac{q}{2\pi\epsilon_0}\left(\ln\frac{D}{r_a} + \ln\frac{D}{r_b} \right)$$

$$\boxed{V_{AB} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln\frac{D^2}{r_a r_b}}$$

$$C_{AB} = \frac{q}{V_{AB}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\frac{D^2}{r_a r_b}}$$

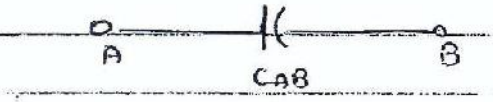
$r_a = r_b = r$

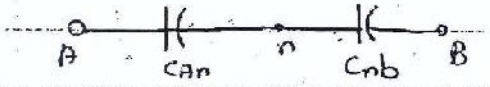
$$\rightsquigarrow \quad C_{AB} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln\frac{D}{r}} = \frac{0.0121}{\ln D/r} \quad \mu F/km$$

$$= \frac{0.0194}{\quad} \quad \mu F/mile$$

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected





C_{An} ، C_{Bn} با هم برای سه‌فاز

$$C_{An} = C_{Bn} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \quad \left(\frac{F}{m} \text{ to nutral}\right)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{2.862}{f} \cdot 10^9 \ln\frac{D}{r} \quad \Omega m \text{ to nutral}$$

$$= \frac{1.779}{f} \; 10^6 \ln\frac{D}{r} \quad \Omega \text{ mile to nutral}$$

دی کتر

ها دور حذف شده اند ⇐ در فاصله بلند اندازش کمتر و میان بتر

⇐ در فاصله بلند می‌توانیم مرتفع کنیم

$$X_C = \frac{1.779}{f} 10^6 \ln\frac{1}{r} + \frac{1.779}{f} 10^6 \ln D \quad \Omega \text{ mile to nutral}$$

$$X_C = X'_1 + X'_2$$

$r = ft$, $D = 1ft$ $\Rightarrow X'_2 = 0$ ⟶ A_1 جدول : X'_1

$r = m$ $D = 1m$ $\Rightarrow X'_2 = 0$

X'_1 برای هادی های مختلف فقط بستگی به شعاع دارد.

A_3 جدول : X'_2

$$I_{charging} = j\omega C_{AB} V_{AB}$$

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

(Ex) روشنایی کابا سیم دوهادی یک خط کمتاز در یک کانال 60^m هادی Partridge

60pt ضد هادی ها

$A_1 \longrightarrow$ سیم $\longrightarrow$ قطر هادی : 0.642"

شعاع : $\frac{0.642}{2\times12} = 0.0268'$

$X_c = \frac{1.779}{60} \times 10^6 \ln\frac{D}{r} = 0.1961\times10^6$ Ω mile to nutral

$B_c = \frac{1}{X_c} = 5.1\times10^{-6}$ ℧/mile to nutral

X_c خط کمتاز $= 2\times0.1961\times10^6 = 0.3926$ MΩ mile

B_c خط کمتاز $= \frac{5.1\times10^{-6}}{2} = 2.55\times10^{-6}$ ℧/mile

محاسبه از جدول

$A_1 \longrightarrow x'_1 = 0.1074$ MΩ mile

$A_3 \longrightarrow x'_2 = 0.0889$ MΩ mile

$\longrightarrow X_c = 0.1074 + 0.0889 = 0.1963$ MΩ mile

tonutra

X خط $= 2X_c = 2\times0.1963 = 0.3926$ MΩ mile

تمرین: سیم کابل هادی Hawk با $f = 50$ Hz هادی های 15 ft فاصله بین

1ft = 30.48 cm
1inch = 2.54 cm
1ft = 12 inch
1yard = 3'
1mile = 1609m

شبکه‌ای 220V طول 2km

(کمتاز حساب 800m - 1km)

جریان شارژ کل خط

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

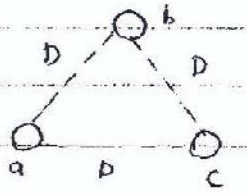
ظرفیت خط انتقال:

فاصله بین هادی‌ها ↑ ⇒ ظرفیت ↓ ⇒ اندوکتانس ↑

فاصله هادی ↑ ⇒ ظرفیت افزایش ↑ اندوکتانس ↓

$$C_{An} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D_m}{D_s}} \qquad C \propto \frac{1}{\ln \frac{D_m}{D_s}} \qquad \therefore L \propto \ln \frac{D_m}{D_s}$$

ظرفیت خط ۳ فازه با فواصل مساوی:



$$V_A = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_1 \ln \frac{1}{D_{1A}} + q_2 \ln \frac{1}{D_{2A}} + \dots + q_n \ln \frac{1}{D_{nA}}\right)$$

نقطه A نقطه‌ای از n بار نقطه‌ای که مجتمع آنها در هر نقطه صفر است.

$$V_a = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_a \ln \frac{1}{r_a} + q_b \ln \frac{1}{D} + q_c \ln \frac{1}{D}\right)$$

$$V_b = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_a \ln \frac{1}{D} + q_b \ln \frac{1}{r_b} + q_c \ln \frac{1}{D}\right)$$

$$V_c = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_a \ln \frac{1}{D} + q_b \ln \frac{1}{D} + q_c \ln \frac{1}{r_c}\right)$$

$$V_{ab} = V_a - V_b = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left[q_a \ln \frac{D}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D}\right]$$

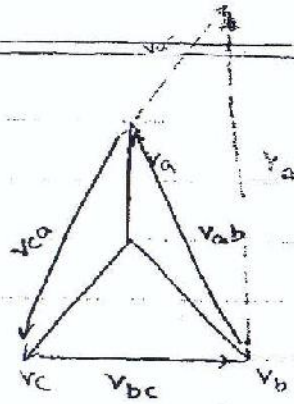
$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} + q_c \ln \frac{D}{D}\right\}$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{D}{D} + q_c \ln \frac{r}{D}\right\}$$

$$V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{2q_a \ln \frac{D}{r} + \underbrace{(q_b + q_c)} \ln \frac{r}{D}\right\}$$

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected



$V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an}$

$$\Rightarrow 3V_{an} = \frac{3q_a}{2\pi\epsilon} \ln\frac{D}{r} \Rightarrow V_{an} = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \ln\frac{D}{r}$$

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln D/r} \quad F/m \quad \text{to nuetral}$$

ظرفیت خط کمتر است به زمین

$$I_{charging} = jw C_n V_{an}$$

$V_a = V\angle 0°$

$V_b = V\angle -120 = Ve^{-j120} = V(\cos 120 - j\sin 120) = V(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{2}}{2})$

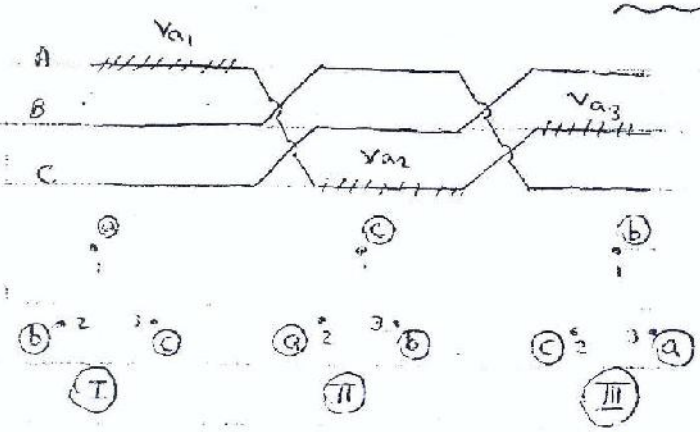
$V_c = V\angle 120 = Ve^{j120} = V(\cos 120 + j\sin 120) = V(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{2}}{2})$

$V_{ab} = V_a - V_b = V(1 + \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{2}}{2})$

$V_{ac} = V_a - V_c = V(1 + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{2}}{2})$

$V_{ab} + V_{ac} = 3V = 3V\angle 0° = 3V_a$

ظرفیت خط انتقال ۳ فاز ترانسپوزه :



www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$V_{a_1} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{ q_a \ln\frac{1}{r} + q_b \ln\frac{1}{D_{21}} + q_c \ln\frac{1}{D_{31}} \right\}$$

$$V_{a_2} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{ q_a \ln\frac{1}{r} + q_b \ln\frac{1}{D_{23}} + q_c \ln\frac{1}{D_{21}} \right\}$$

$$V_{a_3} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{ q_a \ln\frac{1}{r} + q_b \ln\frac{1}{D_{33}} + q_c \ln\frac{1}{D_{32}} \right\}$$

$$V_a = \frac{V_{a_1} + V_{a_2} + V_{a_3}}{3}$$

$$V_a = \frac{1}{6\pi\epsilon}\left\{ 3q_a \ln\frac{1}{r} + 3q_b \ln\frac{1}{\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}} + 3q_c \ln\frac{1}{\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}} \right\}$$

$$V_a = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left\{ q_a \ln\frac{1}{r} + \underbrace{(q_b + q_c)}_{-q_a} \ln\frac{1}{D_{eq}} \right\}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$

$$V_a = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \ln\frac{D_{eq}}{r}$$ حفظ تراز سیم سه فازه

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_a} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\frac{D_{eq}}{r}}$$ D_{eq} = متوسط هندسی فواصل سیم‌ها

(Ex.

20' 0 20'

0 38' 0

Drake
60Hz
1mile
$C, X_C = ?$

جدول $\rightarrow r = \frac{1.108''}{2\times12} = 0.0462'$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{20\times20\times38} = 24.8'$$

$$C_n = \frac{1}{\frac{2\pi\times35\pi\times10^{-9}}{\ln\frac{24.8}{0.0462}}} = 8.8466\times10^{-12}\ F/m$$

$$X_C = \frac{1}{C_n} = \frac{1}{8.8466\times10^{-12}} = 0.1864\times10^{6}\ \Omega\cdot mile$$

www.tfnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

جدول ← $X'_1 = 0.0412 \times 10^6$ Ω.mile

$X'_2 = 0.095 \times 10^6$ Ω.mile

$X_C = X'_1 + X'_2 = 0.1865 \times 10^6$ Ω.mile to neutral

مثال (Ex

طول خط ← 175 mile

ولتاژ کار ← 220 KV

الف) اگر بخواهید کابل جهت برای کل خط؟

جریان شارژ هر مایل خط؟

(هر مایل چقدر جریان در هوا از هادی به زمین در جریان است)

مگا ولت آمپر راکتیو شارژ کل خط؟

$$X_C = \frac{0.1865 \times 10^6}{175} = 1066\ \Omega \text{ to neutral}$$

$$I_{charging} = \frac{V_{ph}}{X_C} = \frac{220 \times 10^3/\sqrt{3}}{0.1264 \times 10^6} = 0.681\ A/\text{mile}$$

کل خط $I_{charging} = 0.681 \times 175 = 119\ A$

$$Q = \sqrt{3}\, V I = \sqrt{3} \times 220 \times 10^3 \times 119\ A = 45.9\ MVAr$$

در چه مواقعی این توان راکتیو تولیدی خط را داریم؟ تا مادامی که خط تحت ولتاژ است این توان تولیدی را داریم نا توان راکتیو مصرفی را مادامی داریم که بار داشته باشیم

No Load ← $Q_{مصرفی} < Q_{تولیدی}$ ← افزایش ولتاژ در دو سر خط ← Danger

کم باری! ظرفیتهای خط

Ferranti Effect

بالا رفتن ولتاژ در انتهای خط بدلیل بالا بودن توان راکتیو تولیدی

چکار کنیم؟ ۱. بارهای مصرفی را زیاد کنیم

۲. راکتور اهمی در انتهای خط وصل کنیم ← در هنگام کم باری وارد مدار شود

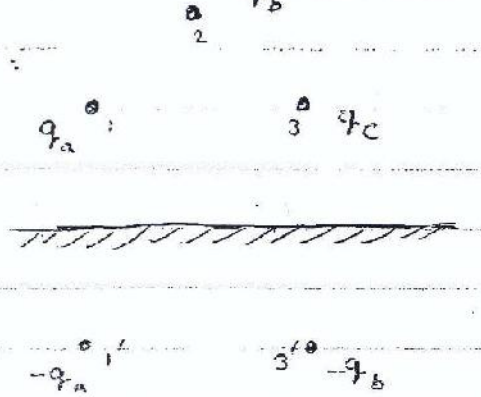
www.tnaf.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

نقش زمین در ظرفیت خطوط انتقال:

در واقع یک صفحه اضافه شده به صفحات خازنی ← سبب به افزایش ظرفیت می‌شود

برای در نظر گرفتن اثر زمین فرض می‌کنیم در داخل زمین هم یا فاصله‌ی عکس‌های خطوط یا مربیان‌های در خلاف جهت مربیان‌های خط وجود دارد.



$$V_{a1} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_a \ln\frac{1}{r} + q_b \ln\frac{1}{D_{12}} + q_c \ln\frac{1}{D_{13}} - q_a \ln\frac{1}{D_{11'}} - q_b \ln\frac{1}{D_{12'}} - q_c \ln\frac{1}{D_{13'}}\right)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_a \ln\frac{1}{r} + q_b \ln\frac{1}{D_{23}} + q_c \ln\frac{1}{D_{12}} - q_a \ln\frac{1}{D_{22'}} - q_b \ln\frac{1}{23'} - q_c \ln\frac{1}{2''}\right)$$

$$V_{a3} = \frac{1}{2\pi\epsilon}\left(q_a \ln\frac{1}{r} + q_b \ln\frac{1}{D_{13}} + q_c \ln\frac{1}{D_{23}} - q_a \ln\frac{1}{D_{33'}} - q_b \ln\frac{1}{D_{31'}} - q_c \ln\frac{1}{D_{32'}}\right)$$

$$V_a = \frac{V_{a1} + V_{a2} + V_{a3}}{3}$$

حال را ساده‌تر می‌شده است:

$$V_a = \frac{1}{6\pi\epsilon}\left\{3q_a \ln\frac{1}{r} + 3q_b \ln\frac{1}{D_{eq}} + 3q_c \ln\frac{1}{D_{eq}} - 3q_a \ln\frac{1}{\sqrt[3]{D_{11'} D_{22'} D_{33'}}} - 3q_b \ln\frac{1}{\sqrt[3]{D_{12'} D_{23'} D_{31'}}} - 3q_c \ln\frac{1}{\sqrt[3]{D_{13'} D_{21'} D_{32'}}}\right\}$$

$$D_{12'} = D_{21'},\quad D_{13'} = D_{31'},\quad D_{23'} = D_{32'}$$

$$q_a + q_b + q_c = 0$$

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$V_a = \frac{q_a}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D_{eq}}{r} - \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12}' D_{23}' D_{31}'}}{\sqrt[3]{D_{11}' D_{22}' D_{33}'}}$$

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_a} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D_{eq}}{r} - \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12}' D_{23}' D_{31}'}}{\sqrt[3]{D_{11}' D_{22}' D_{33}'}}}$$

دومخرج ln دوم فواصل سیم ← مجموع فواصل فازها ← خروج کل ↓

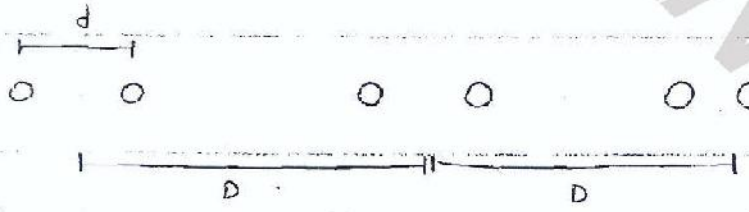
$\ln 2 > 0$ ← C_{an} ↑

اگر فاصله خط از زمین بسیار زیاد باشد ← فواصل سیم تا فازها تا $\ln 2 \downarrow 0$

⇐ تاثیر زمین ناچیز است.

جلسه ۱۵ ۸/۲۲

تاثیر باندل بودن خطوط در Capacitance:



باندل ۲ تایی

$D_{eq} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D}$ ← باندل کردن خطوط روی D_{eq} چندان تاثیر ندارد.

$r_s = \sqrt[4]{r \cdot d \cdot r \cdot d} = \sqrt{r \cdot d}$ ← روی r_s تاثیر دارد. r_s افزایش می‌یابد

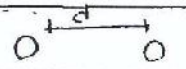
$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D_{eq}}{r_s}}$ + افزایش ظرفیت خازنی چون تعداد هادی‌های باردار زیاد شده

+ اندوکتانس کاهش می‌یابد.

باندل ۳ تایی

$r_s = \sqrt[9]{r \cdot d \cdot d \cdot r \cdot d \cdot d \cdot r \cdot d \cdot d} = \sqrt[3]{r d^2}$

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected



$$r_s = \sqrt[4]{r \cdot d \cdot d \cdot \sqrt{2}\, d} = \sqrt[4]{\sqrt{2}\, r d^3}$$

تبدیل کردن ← افزایش کاپاسیتانس ← کاهش اندوکتانس

(Ex.

ACSR: Phea sant

کاپاسیتانس و راکتانس کاپاسیتیو

$$\text{هادی} \longrightarrow r = \frac{1.382 \times 0.3048}{2 \times 12} = 0.01755\,m$$

$$r_s = \sqrt{r d} = \sqrt{0.01755 \times 0.45} = 0.0889\,m \longrightarrow \text{ریدیوس}$$

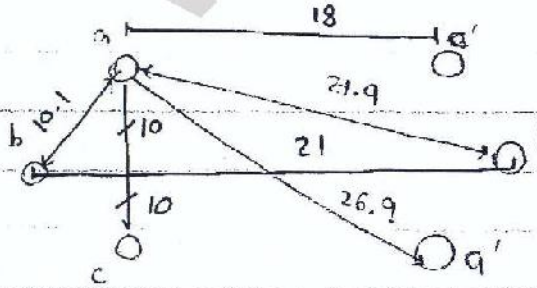
$$D_{eq} = \sqrt[3]{8 \times 8 \times 16} = 10.08\,m$$

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D_{eq}}{r_s}} = \frac{2\pi \times \frac{1}{36\pi \times 10^9}}{\ln \frac{10.08}{0.0889}} = 11.745 \times 10^{-12}\ F/m \quad \text{to neut}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 60 \times 11.754 \times 10^{-12} \times 10^{+3}} = 0.2257 \times 10^6\ \Omega\,km \quad \text{phase to}$$

$$X_C = \frac{0.2257 \times 10^9}{1.609} = 0.1403 \times 10^6\ \Omega\,mile/\text{phase to neutral}$$

(Ex. خط دوباره ←



سوسپتانس کاپاسیتیو انتقال، رسیستانس، ریکتانس اندوکتیو، در فریکوئنسی 60Hz، هادی ها

ACSR: Ostrich B_c mile?

$$\text{هادی} \quad r = \frac{0.680''}{2 \times 12} = 0.0283'$$

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$D_{AB} = \sqrt[4]{ab \cdot ab' \cdot a'b \cdot a'b'} = 14.88$$

$$D_{AC} = \sqrt[4]{ac \cdot ac' \cdot a'c \cdot a'c'} = 14.88$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{bc \cdot b'c \cdot bc' \cdot b'c'} = 18.97$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{AB} \, D_{AC} \, D_{BC}} = 16.1'$$

$$B_c = \omega C = 2\pi \times 60 \times 18.807 \times 10^{-12} \times 1609 = 11.41 \times 10^{-6}$$

$$X_C = \frac{1}{B_c} = \frac{1}{11.41 \times 10^{-6}} \ \Omega \text{ mile, per phase to neutral}$$

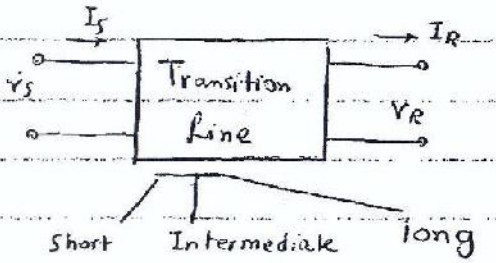
پایان مباحث سیستم

F1

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

فصل 5 : روابط ولتاژ و جریان در خطوط انتقال



I_S و V_S تعیین می‌کنیم ← هدف مطالعه جریانها و ولتاژهای گیرنده است بر حسب فرستنده

در یک ... بخاطر است ولتاژها در یک خط

Short Trans. Line Intermediate Trans. Line

استفاده از مدل‌ها در محاسبات سیستم قدرت

فرض می‌کنیم بارها متقارن اند ← جریانها و ولتاژها متعادل اند

سیستم از نظر فیزیکی متقارن است ← پارامترهای خطوط در 3 فاز یکسان اند

یا در صورتی که نامتقارن اند متعادل شده اند

قوانین 3 فازه ← مسئله را در یک فاز بررسی می‌کنیم

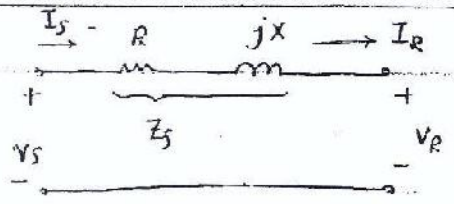
امپدانس واحد طول خط z	امپدانس کل خط $Z = zl$
ادمیتانس واحد طول خط y	ادمیتانس کل خط $Y = yl$
طول خط l	

$$z = r + jx \qquad Z = R + jX$$

$$y = g + jb \qquad Y = G + jB$$

www.tinar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected



مدل فیزیکی خط کوتاه =

مدل ریاضی : رابطه ریاضی که بیانگر رفتار این خط است

مدل ریاضی خط کوتاه =

$I_S = I_R$

$V_S = I_S I_S + V_R = Z I_R + V_R$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ J_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

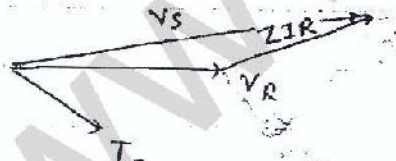
Short Tran. Line

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

$\begin{cases} A = D \\ AD - BC = 1 \end{cases}$

ماتریس خط انتقال

A, B, C, D ← ضرایب عمومی خط



Reciever

Sender

$\begin{cases} V_R \rightarrow \text{ثابت ولتاژ در دریافت خط} \\ I_R \rightarrow \text{جریان بار به سیستم تحمیل شده} \\ Pf : \cos\varphi \end{cases}$

تنظیم ولتاژ =

Voltage Regulation

$$VR \triangleq \frac{|V_{R_{NL}}| - |V_{R_{FL}}|}{|V_{R,FL}|}$$

تنظیم ولتاژ بر حسب درصد گویای سیگنال ولتاژ

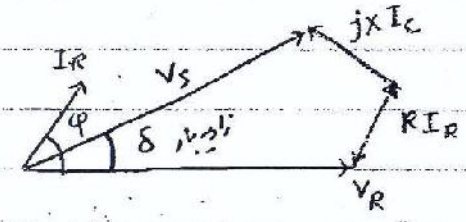
Short Tran. Line $\Rightarrow$ $VR = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|}$

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

بار سلفی $VR > 0$

بار خازنی VR می‌تواند منفی شود



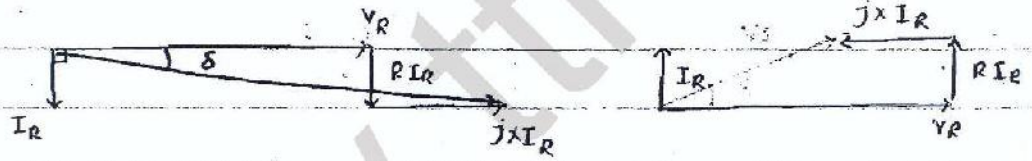
بار خازنی RC

$$VR = \frac{|V_s| - |V_R|}{|V_R|}$$

مقدار اندازه خازن می‌تواند منفی باشد

زاویه بار

$\delta > 0$ ← توان اکتیو از فرستنده به گیرنده می‌رسد.



سلف خالص

خازن خالص

↓

اگر بار خازنی باشد ولتاژ طرف گیرنده ↑ ، اگر خازن خیلی بزرگ باشد ← V_R خیلی بزرگ می‌شود می‌تواند بار را آسیب برند.

ولتاژ بلند ← خازن خیلی بزرگ ← در حال انتقال V_R ↑ ← بار آسیب می‌بیند ←

با کنترل بار یا برداشت کنیم ... تا ولتاژ طرف گیرنده خیلی بالا نرود ← اثر خازنی ↓

← برای جبران سلفی

بار سلفی زیاد ← V_R ↑ مناسب نیست

تپ چنجر (Top changer) ← تا حدود 10٪ ← V_R مناسب

www.itrar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

(Ex.

خط: 50 km = ℓ ; r = 0.0308 Ω/km ; L = 0.95 mH/km

بار: 100 mW ↗ P_L ; 0.8 lag ; 132 kV ↗ V_R

V_S ; V_R = ?

$f = 50$ Hz

حل بصورت یک فاز انجام می‌شود

$$V_{R,ph} = \frac{132}{\sqrt{3}} = 76.2 \text{ kV}$$

$R = 0.0308 \times 50 = 1.54\ \Omega$) مقاومت x خط صد و ده برابر R خط

$X = 2\pi f L \ell = 14.92\ \Omega$

$$I_p = I_S = \frac{100 \text{ mW}}{\sqrt{3} \times 132 \text{ kV} \times 0.018} = 546.7 \text{ A}$$

0.8 lag ⇝ $\varphi = 36.8$ lag

$$V_S = V_R + Z I_S = 76.2 \text{ kV} + (1.54 + j\,14.92)\, 546.7 \angle -36.9$$

$$= 82\angle 4.2^{\circ} \text{ kV} \rightarrow V_S = 142$$

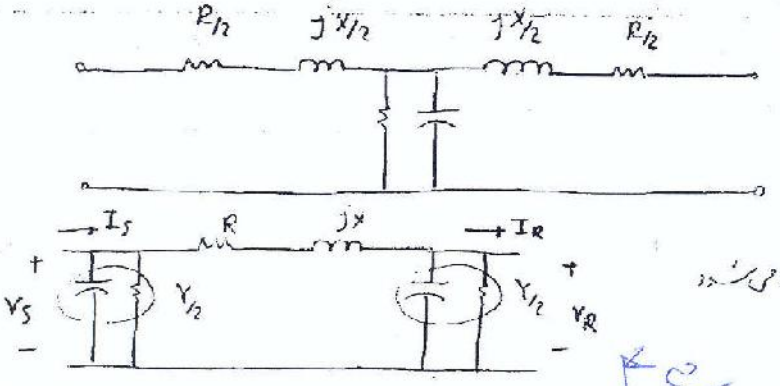
$$VR = \frac{142 - 132}{132} \times 100 = 7.57\%$$

$$VR = \frac{82 - 76.2}{76.2} \times 100 = 7.57\%$$

خط انتقال متوسط :

برای دقیق‌تر شدن از مدل داریم:

(I) مدار معادل T



برای خط انتقال در نظر گرفته می‌شود

(II) مدار معادل Π

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$\begin{cases} V_S = V_R + Z\left(I_R + \frac{Y}{2} V_R\right) \\ I_S = \frac{Y}{2} V_S + I_R + \frac{Y}{2} V_R \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_S = \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) V_R + Z I_R \\ I_S = Y\left(1 + \frac{YZ}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) I_R \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{YZ}{2} & Z \\ \left(1 + \frac{YZ}{4}\right) Y & 1 + \frac{YZ}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \qquad \begin{cases} A = D \\ AD - BC = 1 \end{cases}$$

↑ Intermediate Trans. Line

NL $\Rightarrow$ $I_R = 0$ $\Rightarrow$ $V_S \neq V_R$ برعلاف خط کوتاه

$$V_S = \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) V_{RNL}$$

$$V_S = A\, V_{R,NL} \Rightarrow V_{R,NL} = \frac{V_S}{A}$$

$$\Rightarrow \underline{|V_{R,NL}| = \frac{|V_S|}{A}}$$

$$VR = \frac{|V_{RNL}| - |V_{RFL}|}{|V_{R,FL}|} \times 100$$

(Ex.

230 kv $\begin{cases} 200 \text{ km} \\ \text{Hawk} \end{cases}$

$V_S, VR = ?$

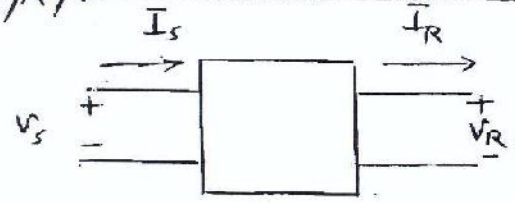
load $\begin{cases} 150 \text{ MW} \\ 0.85 \text{ lag} \\ 230 \text{ kV} \end{cases}$

Hawk : $r = 0.132\ \Omega/\text{km}$

$GMR = r' = \frac{0.858}{2 \times 12} \times 0.3048 = 0.010725 \text{ m}$

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected



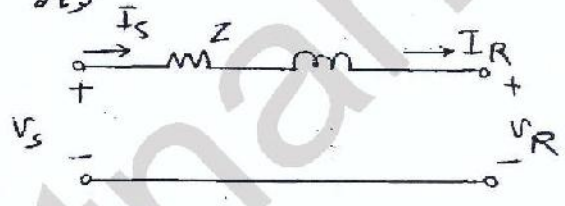
$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} A = D \\ AD - BC = 1 \end{cases}$$

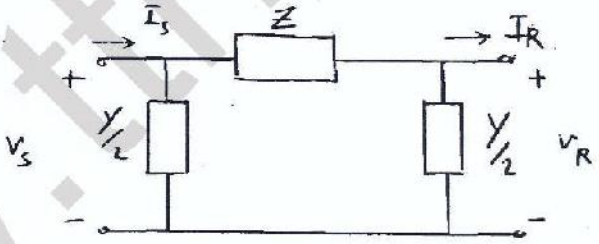
$$V_R = \frac{|V_{ANL}| - |V_{RFL}|}{|V_{RFL}|}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

خط انتقال کوتاه



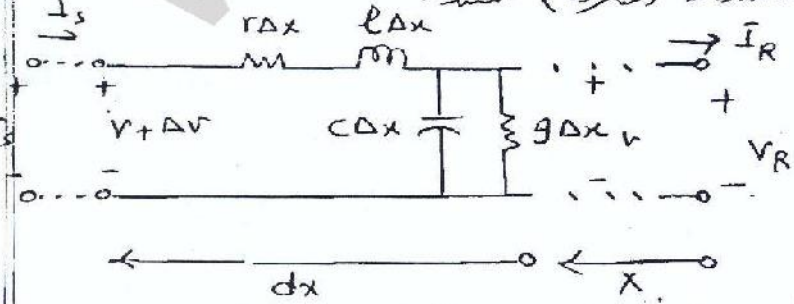
$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{YZ}{2} & Z \\ \left(1+\frac{YZ}{4}\right)Y & 1+\frac{YZ}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$



خط انتقال متوسط

Long Transmition line:

گذشته ← خطوط انتقال را (جمع) Lamped فرض کردیم در صورتی که خطوط انتقال به صورت Distributed (گسترده) هستند



در خطوط بلند این مقادیر گسترده در نظر می‌گیریم و دقت شان را افزایش می‌دهیم

l: اندوکتانس واحد طول خط
r: مقاومت واحد طول خط
c: ظرفیت واحد طول خط
g: هدایت واحد طول خط

www.tnar.ir
Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

یک طول دیفرانسیلی به طول dx از خط را در نظر بگیرم که به فاصله x از ابتدای خط قرار دارد

$$\begin{cases} z = r + j\omega l \\ y = g + j\omega c \end{cases} \qquad \Delta V = I z \Delta x \qquad \frac{\Delta V}{\Delta x} = Iz$$

$$\lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{dV}{dx} = Iz \quad (1) \qquad \Delta I = V y \Delta x \rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta x} = Vy$$

دیفرانسیل واحد طول خط

$$\lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta I}{\Delta x} = \frac{dI}{dx} = \underset{=}{Y} V \quad (2)$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = z \frac{dI}{dx} \qquad \frac{d^2V}{dx^2} = yzV$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} - yzV = 0 \qquad V = Ae^{\sqrt{yz}\,x} + Be^{-\sqrt{yz}\,x} \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{z}\frac{dV}{dx} \qquad I = \frac{1}{\sqrt{\frac{z}{y}}} Ae^{\sqrt{yz}\,x} - \frac{1}{\sqrt{\frac{z}{y}}} Be^{-\sqrt{yz}\,x} \quad (4)$$

$x \to 0$ (ابتدای خط) $\Rightarrow V = V_R \,,\, I = I_R$

$$\begin{cases} V_R = A + B \\ I_R = \frac{1}{\sqrt{\frac{z}{y}}}(A - B) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = \frac{V_R + I_R\sqrt{\frac{z}{y}}}{2} \\ B = \frac{V_R - I_R\sqrt{\frac{z}{y}}}{2} \end{cases}$$

$z_c \triangleq \sqrt{\frac{z}{y}}$ را امپدانس مشخصه (Characteristic Impedance) واحد طول

$\gamma \triangleq \sqrt{yz}$ ثابت انتشار (Propagation Constant)

$$\begin{cases} V = \frac{V_R + I_R z_c}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - I_R z_c}{2} e^{-\gamma x} \\ I = \frac{V_R/z_c + I_R}{2} e^{\gamma x} - \frac{V_R/z_c - I_R}{2} e^{-\gamma x} \end{cases}$$

این دو رابطه ولتاژ و جریان را در فاصله x از ابتدا بر حسب ولتاژ و جریان انتهای خط بیان می‌کنند.

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

این دو رابطه را می‌توان به شکل ماتریسی نیز بیان کرد:

$$\begin{cases} V = \dfrac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} V_R + \dfrac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2} Z_c I_R \\ I = \dfrac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2} \dfrac{V_R}{Z_c} + \dfrac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} I_R \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} V = V_R \cosh \gamma x + I_R Z_c \sinh \gamma x \\ I = \dfrac{V_R}{Z_c} \sinh \gamma x + I_R \cosh \gamma x \end{cases}$$

$$x \rightarrow l \Rightarrow \begin{cases} V_s = V_R \cosh \gamma l + I_R Z_c \sinh \gamma l \\ I_s = \dfrac{V_R}{Z_c} \sinh \gamma l + I_R \cosh \gamma l \end{cases}$$

(A, B)

به شکل ماتریسی:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l & Z_c \sinh \gamma l \\ \dfrac{1}{Z_c} \sinh \gamma l & \cosh \gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

(C, D)

$$A = D, \quad AD - BC = 1$$

$Z, Y \rightarrow$ خط $\rightarrow \gamma$ خط

$$\gamma \triangleq \alpha + j\beta$$

$$e^{\gamma x} = e^{\alpha x} \cdot e^{j(\beta x)}$$

(از)

α: ثابت کمیت خط $\rightarrow$ Attenuation Constant (یعنی)

β: ثابت کمیت فاز Phase Constant

روابط:

$$\begin{cases} \cosh \gamma l = \cosh(\alpha l + j\beta l) = \cosh \alpha l \cdot \cos \beta l + j \sinh \alpha l \cdot \sin \beta l \\ \sinh \gamma l = \sinh(\alpha l + j\beta l) = \sinh \alpha l \cdot \cos \beta l + j \cosh \alpha l \cdot \sin \beta l \end{cases}$$

www.ftmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

بسط Cosh , Sinh :

$$\begin{cases} \cosh \gamma l = 1 + \frac{(\gamma l)^2}{2!} + \frac{(\gamma l)^4}{4!} + \frac{(\gamma l)^6}{6!} + \cdots \\ \sinh \gamma l = \gamma l + \frac{(\gamma l)^3}{3!} + \frac{(\gamma l)^5}{5!} + \frac{(\gamma l)^7}{7!} + \cdots \end{cases}$$

با ساده‌سازی جمله اول بسط تیلور :

$$\begin{cases} \cosh \gamma l = 1 + \frac{YZ}{2} \\ \sinh \gamma l = \sqrt{YZ}\left(1 + \frac{YZ}{6}\right) \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} 1 + \frac{YZ}{2} & Z\left(1 + \frac{YZ}{6}\right) \\ Y\left(1 + \frac{YZ}{6}\right) & 1 + \frac{YZ}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\left(1 + \frac{YZ}{2}\right)^2 = 1 + YZ + \frac{Y^2Z^2}{4}$$

$$YZ\left(1 + \frac{YZ}{6}\right)^2 = YZ\left(1 + \frac{YZ}{8} + \frac{Y^2Z^2}{36}\right)$$

$A = D$ و $AD - BC \neq 1$

مثال . یک خط انتقال 230kV طول 400km طرح

$r = 0.113 \frac{\Omega}{km}$ مقاومت (R) و اندوکتانس (L) را تنها به صورت خالص در نظر گرفته

$\omega l = 0.61 \frac{\Omega}{km}$

$y = j\, 3.2 \times 10^{-6} \frac{\mho}{km}$

Load => 200 MW , 230 kV , $\cos\varphi = 1$

ولتاژ، جریان و توان را در ابتدای خط محاسبه کنید.

www.tthar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$z = 0.113 + j\,0.61 = 0.6204 \angle 79.5 \ \frac{\Omega}{km}$

$y = g + j\omega C = j\,3.2\times10^{-6} \ \frac{\upsilon}{km} = 3.2\times10^{-6} \angle 9.0^\circ \ \frac{\upsilon}{km}$

$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = 44.3 \angle -5.25^\circ \ \Omega$

$\gamma = \sqrt{yz} = 0.00141 \angle 84.75^\circ = 0.000124 + j\,0.0014 \ \frac{1}{km}$

$\gamma l = 0.x\,400 = 0.0516 + j\,0.56$

$I_R = \frac{200\times10^3 \ KW}{\sqrt{3}\times 230 KV \times 1} = 502 \angle 0^\circ$

V_R = به هیچ سیاقی

طبق فرض مسئله ولتاژ دریافتی را مرجع در نظر می‌گیریم.

$V_R = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132.8 \angle 0^\circ \ KV$

$\cosh \gamma l = \cosh(0.0516 + j\,0.56) = 0.8481 + j\,0.0274$

$= 0.8485 \angle 1.85$

$\sinh \gamma l = \sinh(0.0516 + j\,0.561) = 0.0437 + j\,0.5317$

$= 0.5335 \angle 85.3^\circ$

$V_S = V_R \cosh\gamma l + I_R Z_c \sinh\gamma l \quad V_S = 179 \angle 42^\circ \quad |V_S| = \sqrt{3}\,|V_R| = 310 K$

V_S است $\leftarrow$ V_R بیشتر طول دیس توان را کمی بیشتر می‌کند.

$I = I_R \cosh\gamma l + \frac{V_R}{Z_c} \sinh\gamma l \longrightarrow I_S = 461.6 \angle 22.2^\circ \ A$

از سیاهی خط، بار اصلی دارد لذا ضریب توان پسفاز است.

$\cos\varphi = \cos\phi_S = \cos(42 - 22.2) = 0.941 \ lag$

ابتدای خط

$\cos\varphi = \cos\phi_R = 1$

انتهای خط

$P = P_S = \sqrt{3}\,V_S I_S \cos\phi_S$

ابتدای خط

$= \sqrt{3}\times 310 \times 461.6 \times 0.941$

$P_S = 233 \ MW$

P_S توان تولیدی است (صدق کند 200mw معرف داریم) $\Rightarrow$ 33MW توان تلف می‌شود.

www.ttnar.ir

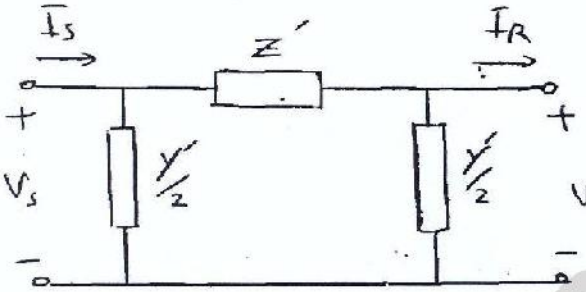
Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

مدار معادل خط بلند :

دقیق

برای خط بلند دو مدار معادل در نظر گرفته می‌شود : ۱- دقیق.
۲- تقریبی

۱- مدار معادل دقیق :



امپدانس کل $Z = R + jwL$
$= (r + jwl) \times$ طول

$$\begin{cases} V_S = Z'\left(I_R + \frac{Y'}{2}V_R\right) + V_R = \left(1 + \frac{Y'Z'}{2}\right)V_R + Z'I_R \\ V_S = \cosh\gamma L\, V_R + Z_c \sinh\gamma L\, I_R \end{cases}$$

$$Z' = Z\frac{\sinh\gamma L}{\gamma L}$$

$$Z' = Z_c \sinh\gamma L = \sqrt{\frac{Z}{Y}}\sinh\gamma L = Zl\frac{\sinh\gamma L}{\sqrt{YZ}\,l} = Z\frac{\sinh\gamma L}{\gamma L}$$ (مقاومت)

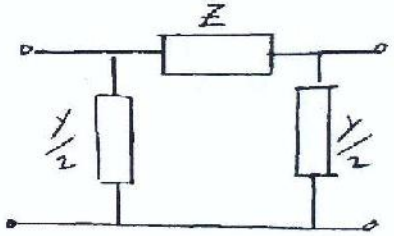
۲- مدار معادل تقریبی :

$$1 + \frac{Y'Z'}{2} = \cosh\gamma L \qquad Z_c \sinh\gamma L = \cosh\gamma L - 1$$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{1}{Z_c}\frac{\cosh\gamma L - 1}{\sinh\gamma L} = \frac{1}{Z_c}\tanh\frac{\gamma L}{2} = \frac{1}{\sqrt{\frac{Z}{Y}}}\tanh\frac{\gamma L}{2}$$

$$= \frac{Y\frac{l}{2}}{\sqrt{ZY}\,\frac{l}{2}}\tanh\frac{\gamma L}{2} = \frac{Y}{2}\,\frac{\tanh\frac{\gamma L}{2}}{\frac{\gamma L}{2}}$$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{Y}{2}\,\frac{\tanh\frac{\gamma L}{2}}{\frac{\gamma L}{2}}$$

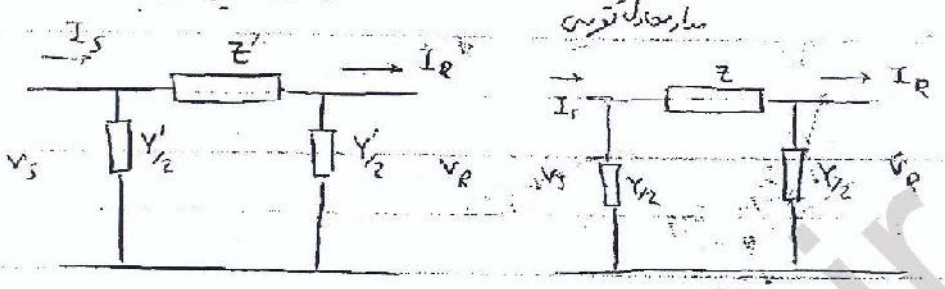


● مثال : خط انتقال با این شرایط داریم . مدار معادل دقیق و تقریبی ؟

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

مدل مدار تقریبی خط بلند



$$Z' = Z \frac{\sinh \gamma l}{\gamma l}$$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{Y}{2} \frac{\tanh \frac{\gamma l}{2}}{\gamma l/2}$$

230 km , 400 km, $Z = 0.113 + j\,0.61\ \Omega/km$ جلسه قبل (Ex.

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{y}} = 440.3 \angle -5.25\ \Omega$$

$$\gamma = \sqrt{Zy} = 0.000129 + j\,0.0014\ 1/km$$

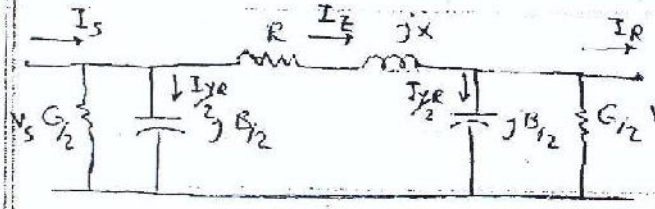
$$\gamma l = 0.0516 + j\,0.56 = 0.56.24 \angle 84.73$$

$$\sinh \gamma l = 0.5335 \angle 85.3 \qquad Z' = Z_c \sinh \gamma l = 234.9 \angle 80.05$$

$$Z = Zl = 400 (0.113 + j\,0.61) = 248.15 \angle 79.5$$

$$Y'/2 = \frac{1}{Z_c} \tanh \frac{\gamma l}{2} = 6.573 \times 10^{-4} \angle 89.7\ \mho$$

$$Y/2 = j \times \frac{1}{2} \times 3.2 \times 10^{-6} \times 400 = 6.4 \times 10^{-4} \angle 90\ \mho$$



$$I_Z = I_R + I_{y_R}$$

www.tinar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

قدرت ظاهری یک فاز $\tilde{S}_s = P_s + jQ_s = V_s I_s^*$

$$= \frac{-1}{B^*} V_s V_R^* + \frac{D^*}{B^*} |V_s|^2$$

$$B = |B| \angle \beta \qquad D = |D| \angle \Delta$$

$$V_R = |V_R| \angle 0^\circ \qquad V_s = |V_s| \angle \delta$$

جایگذاری مقادیر $\Rightarrow \tilde{S}_s = P_s + jQ_s = -\frac{|V_R||V_s|}{|B|} \angle \delta + \beta + \frac{D|V_s|^2}{B} \angle \beta - \Delta$

$$3\cdot\tilde{S}_s = 3(P_s + jQ_s) = \frac{\sqrt{3}\cdot|V_R|\sqrt{3}|V_s|}{|B|} \angle \delta + \beta + \frac{D\cdot(\sqrt{3}|V_s|)^2}{B} \angle \beta - \Delta$$

$$\boxed{S_s = P_s + jQ_s = \frac{-|V_R||V_s|}{|B|} \angle \delta + \beta + \frac{|D||V_s|^2}{|B|} \angle \beta - \Delta}$$

قدرت ظاهری ۳ فاز و حالت کلی

قدرت active ارسالی در 3φ :

$$P_s = \frac{-|V_R||V_s|}{|B|} \cos(\delta + \beta) + \frac{|D||V_s|^2}{|B|} \cos(\beta - \Delta)$$

قدرت reactive ارسالی در 3φ :

$$Q_s = -\frac{|V_R||V_s|}{|B|} \sin(\gamma + \beta) + \frac{|D||V_s|^2}{|B|} \sin(\beta - \Delta)$$

تنها متغیر δ (زاویه بار است) مقادیر V_R و V_s نزدیک به 1 p.u اند

و B و D هم ثابت اند.

• برای حداکثر توان ارسالی (active) max مقدار خود را می‌یابد؛

$\cos(\delta + \beta) = -1 \Rightarrow \delta + \beta = \pi = 180^\circ$ K1

www.tfnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$P_s = P_{s\max} \Rightarrow \delta + \beta = \pi$$

$$P_{s,max} = \frac{|V_R||U_s|}{|B|} + \frac{|D||U_s|^2}{|B|}\cos(\beta - D)$$

خط انتقال کوتاه

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

در خطوط R مقدار کمی دارد حدود 0.1X اگر از R صرفنظر کنیم به عبارت دیگر از مقاومت سری صرفنظر کنیم

$$A = D = 1\angle 0^\circ = |D|\angle\delta$$

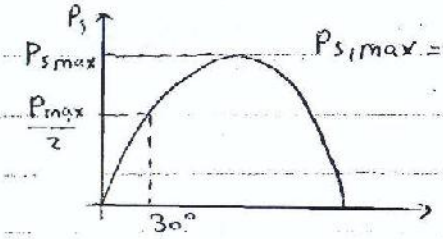
$$B = Z = R + jX \simeq jX = X\angle 90 = |B|\angle\beta$$

↓ از مقاومت سری صرفنظر شده

$$P = \frac{|V_R||U_s|}{|B|}\cos(90+\delta) + \frac{|V_s|^2}{X}\cos(90^\circ)$$

$$\boxed{P_s = \frac{|U_R||U_s|}{|B|=X}\sin\delta}$$

$\Rightarrow$ P_s نقطه بیشترین پایداری دارد



$$P_{s,max} = \frac{|U_R||U_s|}{X}$$

محدوده زاویه پایداری حدود 30° است ،

با حدود $\frac{P_{max}}{2}$ از آن مدت می‌کنیم چرا؟

چون در صورت بروز خطا اگر زاویه زیاد باشد

از 90° می‌گذرد و سیستم از سنکرونیسم خارج می‌شود

$\Rightarrow$ زاویه بحرانی پایداری 30° تا 90°

تا کجا می‌شود که توان همواری را فرستاد توسط فقط به اختلاف فاز دو شینه بستگی دارد

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$Q_S = -\frac{|U_R||U_S|}{B}\sin(90+\delta) + \frac{|U_S|^2}{|B|}\sin 90^\circ$$

$$Q_S = \frac{|U_S|}{X}\left(|U_S| - |U_R|\cos\delta\right)$$

$$\delta \text{ مقادیر کوچک} \Rightarrow Q_S = \frac{|U_S|}{X}\Delta U$$

$$\cos\delta = 1$$

$\Rightarrow$ توان راکتیو تولیدی قطب سنگین به تفاوت مقادیر U دارد

$\Delta U > 0$ توان راکتیو از باس R منتقل شده

$\Delta U < 0$ " " " S به R " "

$$P_{S,Max} = \frac{|U_R||U_S|}{X}$$ ظرفیت خط انتقال

افزایش ظرفیت: ظرفیت خط انتقال $\propto$ اسپان خط انتقال

① $\longrightarrow$ افزایش انتقال خط : استفاده از خازن سری تا راکتانس سری خط را کم کند

چون در شبکه مقدار زیادی راکتور دارد (90٪ عناصر راکتور اند) افزودن خازن سری می تواند مدار رزونانس را در شبکه زیاد کند $\longrightarrow$ شبکه دچار رزونانس های زیر سنکرون شود زیر 50 Hz

SSR $\longrightarrow$ Sub-Synchronous Resonance

② یکی از دیگر راه های کاهش X استفاده از خط انتقال دو مداره و هم مداره است

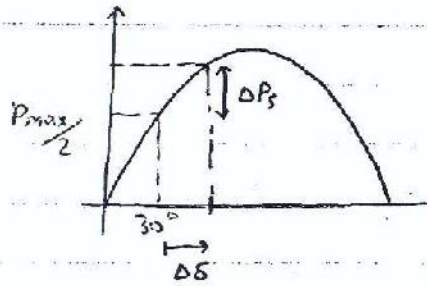
گرانتر هزینه زمین می برد

③ راه دیگر افزایش ولتاژ است با افزایش ولتاژ چون با توان دوم آن ظرفیت تغیر می کند

ولتاژ 2 برابر $\longrightarrow$ 4 برابر ظرفیت

www.tfnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected



ضریب سنکرون کننده $\frac{\Delta P_s}{\Delta \delta} \triangleq T_s$

$\Delta\delta \to 0 \Rightarrow T_s = \frac{dP_s}{d\delta}$

$T_s = \frac{|V_s||U_s|}{X} \cos\delta_0 = P_{max} \cos\delta_0$

ضریب سنکرون کننده هرچه بزرگتر باشد δ_0 کوچک باشد

More Stable $\delta_0 = \uparrow T_s$ شکل پایدارتر T_s یکی از شاخص های پایداری شکل است.

بار طبیعی خط انتقال Natural load

دلتا فاصله هر نقطه از خط انتقال تا ابتدای خط x

$$V = \frac{V_R + I_R Z_C}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - I_R Z_C}{2} e^{-\gamma x}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

$$V = \underbrace{\frac{V_R + I_R Z_C}{2} e^{\alpha x} e^{j\beta x}}_{\text{رفته}} + \underbrace{\frac{V_R - I_R Z_C}{2} e^{-\alpha x} e^{-j\beta x}}_{\text{بازتابی}}$$

$$V = V_1 + V_2$$

$|V_1|$ ← با دور شدن از ابتدای خط افزایش می‌یابد $\quad x\uparrow \Rightarrow |V_1|\uparrow$

$\angle V_1$ ← با دور شدن از ابتدای خط به اندازه βx جلو می‌افتد $\quad x\uparrow \Rightarrow \angle V_1$ جلو می‌افتد

با دور شدن از ابتدای خط $|V_1|\downarrow$ و بازتاب عقب می‌افتد

موج رفته انتقال خط Incident Wave

www.ttnari.ir

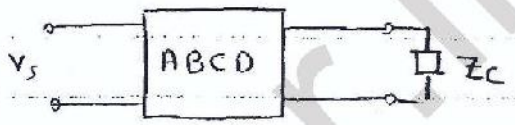
Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

V_2 برعکس V_1 است. با دور شدن از ابتدای خط $|V_2|$ ↑ و ناز آن حلزونی افتد
با دور شدن از انتهای خط $|V_2|$ ↓ و ناز نقطه می افتد

Reflected wave موج سیار بازگشت

ولتاژ در هر نقطه، هم جنین جریان مجموع دو موج سیار رفت و برگشت است.

امپدانس بار = Z_C



$V_R = I_R Z_C \Rightarrow V_2 = 0$

یعنی اگر امپدانس بار برابر Z_C باشد موج برگشت نداریم ⇐ در چه صورت برگشت نداریم؟
خط انتها باشد

خطی که امپدانس بار آن برابر امپدانس مشخصه آن خط باشد موج بازگشت نداریم
⇐ خط، خط بی‌نهایت گویند

$Z_{load} = Z_C \rightarrow$ Infinite Line

Reflected Wave = 0

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$$

$$\left.\begin{matrix} R=0 \\ G=0 \end{matrix}\right\} \text{اگر} \Rightarrow \text{Loss Less} \Rightarrow Z_C = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$
بدون خط

Z_C مقداری حدود 400 اهم زاویه 15° دارد.

$Z_C = 400 \angle 15^\circ \ \Omega$

$Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} \angle 0^\circ$ ← خط بدون تلف — امپدانس مشخصه اهمی خالص است.

↓ Surge Impedance امپدانس موجی

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

ابدالی بی حالت خاص از ابدالی مشخص است که در آن R_0 یا G_0 برابر صفر است.

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$ Surge Impedance برای خط انتقال بدون تلفات

امپدانس موجی، حالت خاص از امپدانس مشخصه است که از آن در آن صرف نظر کرده‌ایم. لذا امپدانس موجی، یک امپدانس اهمی است.

SIL : Serge Impedance Load امپدانس موجی بار:

هدی است که توسط خط با بار اهمی با مقاومت Serge Impedance داده می‌شود.

TL
خط انتقال بدون تلفات
$\sqrt{\frac{L}{C}} = SI$

$$SIL = \frac{|V|^2}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \quad MW$$

$$\gamma \triangleq \sqrt{yz} = \sqrt{j\omega C \cdot j\omega L} = j\omega\sqrt{LC} = \alpha + j\beta$$

(Lossless ↑)

$\alpha = 0 \Rightarrow \beta = \omega\sqrt{LC}$

$$V = V_R \angle \gamma x = V_R \angle j\beta x$$

در خط انتقال بدون تلفات با بسته بار هم SIL باشد، ولتاژ ثابت و برابر ولتاژ گیرنده است.

و همچنین هر چه از انتهای خط دور شویم، زاویه ولتاژ افزایش می‌یابد.

$$V_s = V_R \angle j\beta l = V_R \angle j\omega\sqrt{LC}\, l$$

وقتی $\beta x = 2\pi$ شود، یک سیکل کامل موج ولتاژ طی می‌شود.

$\beta x = 360^\circ \rightarrow x = \lambda \qquad \beta\lambda = 2\pi \rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{\beta}$ m (طول موج)

$$\beta = \omega\sqrt{LC} = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu_0}{2\pi}\log\frac{D}{r'} \cdot \frac{2\pi\varepsilon_0}{\log\frac{D}{r}}}$$

$r \simeq r' \rightarrow \beta = 2\pi f\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ $\frac{Rad}{m}$

www.tnaf.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$\lambda = \underset{\text{سرعت}}{NT} = \frac{V}{f} = \frac{2R}{\beta} = \frac{2\pi}{2\pi f\sqrt{\mu.\varepsilon.}} \rightarrow V = \frac{1}{\sqrt{\mu.\varepsilon.}} \quad \frac{m}{s}$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{4\pi\times10^{-7}\times\frac{1}{36\pi\times10^{9}}}} = 3\times10^{8} \quad \frac{m}{s}$$

یعنی در یک خط بدون تلفات، منبع الکترومغناطیسی با سرعت نور حرکت می‌کند.

$$\lambda = \frac{3\times10^{8}}{50} = 6\times10^{6}\ m = 6000\ Km \quad \leftarrow \text{در فرکانس } 50\,Hz$$

اگر انتهای دریافتی از خط انتقال باز شود و با این فرکانس تغذیه شود، در همه جا ولتاژ مشاهده خواهد شد. چون طول خط انتقال در برابر طول موج بسیار کوچک است. در صفحات بعد ثابت خواهد کرد که این حالت صحیح است.

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh\gamma l & Z_c \sinh\gamma l \\ \frac{1}{Z_c}\sinh\gamma l & \cosh\gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

اگر $\sinh\gamma l = 0$ $\Rightarrow \begin{cases} V_S = V_R \\ I_S = I_R \end{cases}$ $\rightarrow$ بدون خط، خط تنظیم شده

می‌گوییم.

و خط دارای تلفات نیز مانند خط بدون تلفات طول مشخص دارد که

β و α در مقابل γ و Z_c خیلی کوچک هستند بنابراین خط دارای تلفات را هم می‌توانیم خط تنظیم شده فرض کنیم.

L را کم می‌کند. C را کم می‌کند.

به وسیله خازن سری و راکتورهای شنت (راکتور کنترل شونده، اندوکتانس خط) خط را به خط تنظیم شده تبدیل می‌کنیم.

ص ۱۶ ، ۱۷

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

روش‌های تعادل با کمبود تولید :

در بسیاری از موارد چون بار دینامیکی است نمی‌توانیم به حد مطلوب تولید کنیم.
کمبود تولید را در دهه اول با کاهش فرکانس جبران می‌کنند.

اگر بار مقاومتی باشد ← $P = T\omega$

در کوتاه مدت ← قدرت حرکتی ↓ ← P ↓

حوزه تعداد بارهای موتوری در شبکه افزایش یابد، به ازای کاهش فرکانس،
کاهش توان مصرفی موتور را شاهد هستیم.

راه دوم خاموش کردن است.

راه سوم خاموش کردن

↓

load shedding (قطع بار)

گاهی رله‌ها عمل کنند ← load cutting (حذف بار)

هر چه کشور صنعتی‌تر باشد، به ازای فرکانس مشخص، بار بیشتری کاهش می‌یابد
زیرا تعداد بارهای موتوری در شبکه زیادتر است.

روش‌های تنظیم ولتاژ (ترانسفورماتور) :

منظم ولتاژ به صورت استاندارد 5٪ است، اگر ولتاژ از 5٪ بالاتر باشد، تجهیزات موتوری آسیب می‌بینند اگر از 5٪ پایین‌تر بود، تجهیزات موتوری از لحاظ عاقی آسیب می‌بینند. $200 \leq V_{\text{ولتاژ}} \leq 240$

در شبکه انتقال، این مقدار 10٪ است چون بار کمتر حرکتی داریم و فقط ترانسفورماتور داریم. Tap در خط انتقال داریم که موجب

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

افزایش یا کاهش ولتاژ توسط ترانسفورماتور صورت می‌گیرد.

در مدت اجرای موتورهای افزایش ولتاژ، مدار مغناطیسی افزایش می‌یابد و مسلماً گرم شده و تلفات دستگاه زیاد می‌شود.
و کاهش ولتاژ، پول کم می‌شود و اگر بار زیاد باشد، موجب آسیب‌های موتور می‌شود و اگر جریان زیاد باشد، سیم‌پیچ‌های موتور می‌سوزد.

در خطوط انتقال هم که افت ولتاژ داریم نمی‌توان با کم کردن ولتاژ خط کاری کرد. بنابراین برای کاهش توان راکتیو می‌توانیم از خازن‌ها استفاده کنیم تا توان راکتیو خط را کم کنیم.

خازن‌ها می‌توانند در آشپزخانه، اتاق و یا وسط خط وصل شوند.
مشکلاتی که خازن‌ها ایجاد می‌کنند: ۱) رزونانس
(من خازن‌ها و سلف‌های شبکه را حذف می‌کنم تا متوجه نشویم که حذف شدن خط اتفاق افتاده)
۲) خازن‌ها در مقابل افزایش ولتاژ:

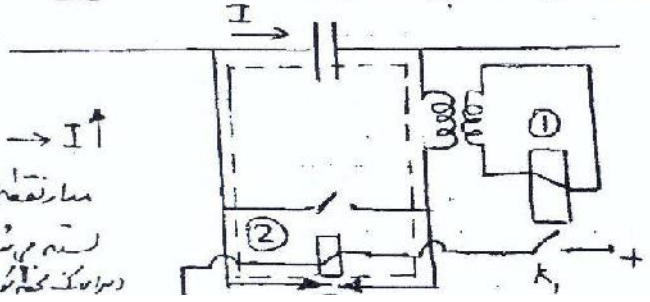
معمولاً خازن‌ها تا ۱۸۰ درصد ولتاژ نامی را می‌توانند تحمل کنند.
و ۱۲۰ درصد جریان نامی را می‌توانند تحمل کنند.

$$V = \frac{|I|}{C\omega}$$

در هنگام خطا، جریان می‌تواند تا ۱۰ برابر جریان نامی افزایش یابد بنابراین ولتاژ دو سر خازن تا ۱۰ برابر حد مجاز زیاد می‌شود که خازن آن را نمی‌تواند تحمل کند.
معمولاً از دو یا سه خازن‌های سری یا 3 برابر ولتاژ نامی استفاده می‌کنند.

$$V = \frac{3|I_n|}{C\omega}$$

مدار تک خطی از خازن سری در مقابل اتصال کوتاه:



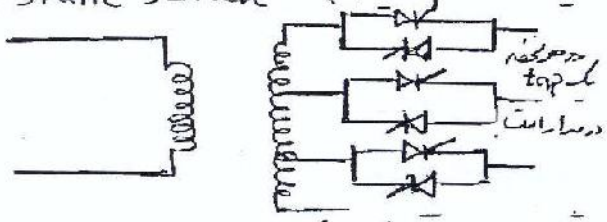
جریان در هنگام خطا ↑ I
مدار قطع می‌شود
(مدار یک مخ کوتاه)

www.tinar.ir

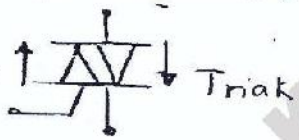
Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

Electronic Switch
یا Static switch

Tap changer الکترونیکی یا استاتیک



اگر فرمان آتش توسط گیت داده شود، دیود هدایت می‌شود.



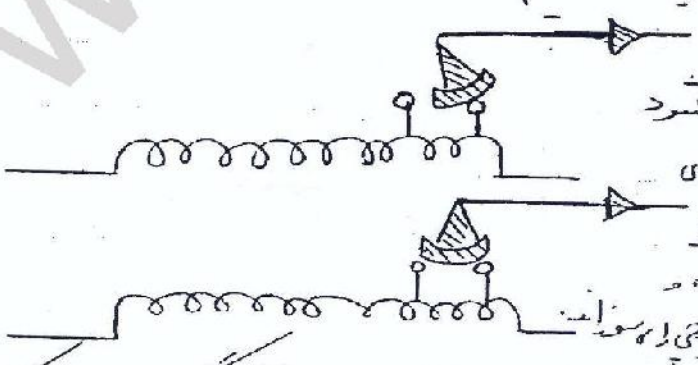
دارای دو تا thyristor پشت به پشت

در کل 17 تا tap داریم.

اگر ولتاژ اولیه ↓ ⟸ tap ها را بیرون می‌آوریم ⟸ ولتاژ ثانویه ↑

اگر ولتاژ اولیه ↑ ⟹ tap ها را داخل می‌بریم ⟹ ولتاژ ثانویه ↓

Tap changer دینامیک سخت‌تر از Tap changer استاتیک است. دولتاژهای با Tap استاتیک نداریم.



tap باید قطع شود تا بتوان تاپ را برای نقطه‌ای سالم وسط اتصال کوتاه شده جریان یا ولتاژ پیدا کرد.

دلیل این که دو tap به هم وصل می‌شوند، مقاومت بوبین یا واریکتور است و وقتی قطع می‌شوند، مقاومت از مدار خارج می‌شود ⟸ tap دینامیک سخت‌تر است.

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

خازن سری را در خطوط فشار قوی نصب نمی‌کنیم. زیرا:

$$L = 2\times10^{-4} f \ln\frac{D_m}{D_s}$$

در آن، فاصله بین فازها کوچک است ← D_m کم ← L کم

(با دو متغیر f و L قابل صرف نظر کردن است.) و نیز فشار متوسط

فاز HV، فواصل فازی بزرگ هستند ← D زیاد ← L بزرگ.

← f و L قابل صرف نظر کردن است.

اراده موضع بهبود پایداری دینامیک:

پس از بروز اتصال کوتاه، خطا را قطع کنیم.

یکی از روش‌های تنظیم ولتاژ، استفاده از Tap changer ترانسفورماتور است.

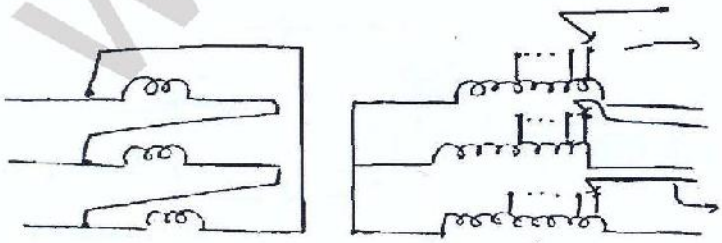
روش دوم، تزریق ولتاژ است. به این صورت که در خطوط، ولتاژی را با خط سری می‌کنیم. این تزریق می‌تواند از منبع خودی و یا از منبع خارجی باشد.

تزریق ولتاژ ← Voltage injection.

روش سوم، تزریق یا جذب قدرت راکتیو، توسط خازن و یا توسط سلف استاتیک یا دینامیک است.

سلف و خازن استاتیک ← (SVC)

Tap changer:



با تغییر نول مشترک، ولتاژ خروجی تغییر می‌کند.

Tap changer دینامیک.

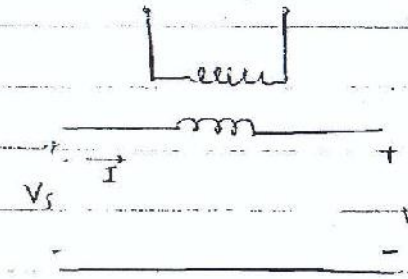
www.ftnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

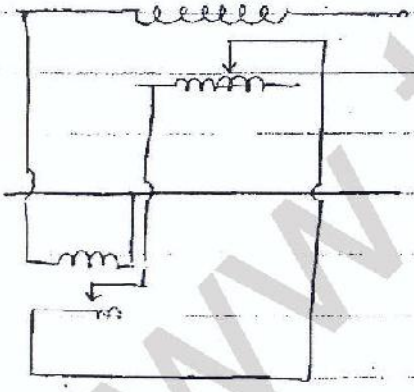
جلسه ۱۹ 9/11

تنظیم ولتاژ با استفاده از تزریق ولتاژ :

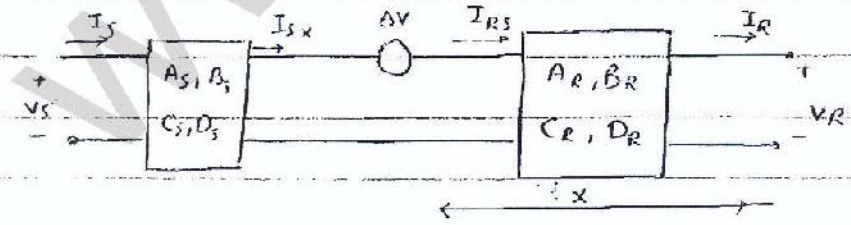
هم می‌تواند از خود خط انجام شود و هم از یک منبع خارجی



(I) تزریق ولتاژ (ترانسفورماتور) با استفاده از منبع خارجی



(II) تزریق ولتاژ با استفاده از خود خط



فرض کنید تزریق از فاصله x از انتهای خط انجام شود

منبع تزریق ایده‌آل $I_{Sx} = I_{Rx}$

ضمن k و φ ثابت $\Delta V = k \cdot V_{Sx} \angle \varphi$

با منظور ساده‌سازی، انتهای خط به ولتاژ مطلوب

هدف : $\overline{V_R = V_S}$ }

$$\begin{cases} V_{Rx} = A_R V_R + B_R I_R \\ I_{Rx} = C_R V_R + D_R I_R \end{cases}$$

$$V_{Rx} = V_{Sx} + k V_{Sx} \angle \varphi$$

$$\begin{cases} V_S = A_S V_{Sx} + B_S I_{Sx} \\ I_{Sx} = I_{Rx} \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_S = A_S V_{Sx} + B_S (C_R V_R + D_R I_R)$$

$$\Rightarrow V_{Sx} = \frac{1}{A_S} V_S - \frac{B_S}{A_S} (C_R V_R + D_R I_R)$$

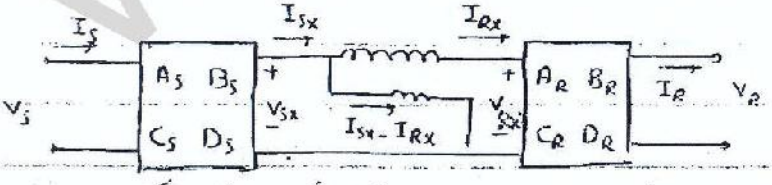
$$\left[V_{Rx} = (1 + k \angle \varphi) V_{Sx} \right]$$

$$(1 + k \angle \varphi) \left[\frac{1}{A_S} V_S - \frac{B_S}{A_S} (C_R V_R + D_R I_R) \right] = A_R V_R + B_R I_R$$

در معادله بالا دو مجهول k و φ داریم

پس ← مدل سازی دامنی توزیع تانسیون در هنگام میک منبع خارجی داریم.

پس ← " " " " " " " " ازجوابخط استفاده می کنیم.



ولتاژ ابتدای خط معلوم است ← می خواهیم ولتاژ بار را مقدار مشخص ثابت کنیم

$$\Delta V = k V_{Sx} \angle \varphi$$

$$V_{Rx} = A_R V_R + B_R I_R$$

$$V_{Sx} + \Delta V = V_{Rx} \Rightarrow V_{Sx}(1 + k \angle \varphi) = V_{Rx}$$

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$V_S = A_S V_{Sx} + B_S I_{Sx} \Rightarrow V_{Sx} = \frac{1}{A_S} V_S - \frac{B_S}{A_S} I_{Sx} \quad (II)$$

دایره تراکنش قدرت داریم. فرض بر این است که تلفات نداریم ⇐ قدرت راکتیو ورودی به قسمت نزدیک = قدرت راکتیو خروجی از قسمت نزدیک

قسمت راکتیو ها ⇐ قدرت ظاهری خروجی از قسمت نزدیک = قدرت ظاهری ورودی به قسمت نزدیک

$$V_{Sx} \cdot (I_{Sx} - I_{Rx})^* = \Delta V \, I_R^*$$

$$\Delta V \rightarrow k V_{Sx} \angle \varphi$$

$$(I_{Sx} - I_{Rx})^* = k \angle \varphi \cdot I_{Rx}^*$$

$$\Rightarrow I_{Sx} - I_{Rx} = k I_{Rx} \angle -\varphi$$

$$I_{Sx} = I_{Rx} (1 + k \angle -\varphi)$$

$$I_{Rx} = C_R V_R + D_R I_R$$

$$I_{Sx} = (1 + k \angle -\varphi)(C_R V_R + D_R I_R) \quad (III)$$

$$(III), (II) \Rightarrow V_{Sx} = \frac{1}{A_S} \left[V_S - B_S (1 + k \angle -\varphi)(C_R V_R + D_R I_R) \right]$$

$$A_R V_R + B_R I_R = \frac{1 + k \angle \varphi}{A_S} \left[V_S - B_S (1 + k \angle -\varphi)(C_R V_R + D_R I_R) \right]$$

= دو معادله و دو مجهول داریم.

این روش در خطوط حداکثر 63 kV اعمال می شود

و امروزه استفاده از عناصر FACTS جایگزین این روش ها شده

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

(Ex. خط - طول 250 km داریم

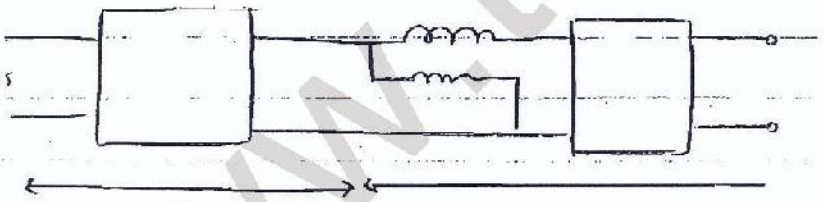
line $\begin{cases} Z_{خط} = 0.094 + j0.4 \ \Omega/km \\ Y_{خط} = j2.78 \cdot 10^{-6} \ \mho/km \end{cases}$

load $\begin{cases} 120 mw \quad 0.93 lag \\ 220 kV \quad 50 Hz \end{cases}$

$V_S = 230 \ kV$

در فاصله 60 km از ابتدای خط ترانزیت هم باز به خط تزریق می‌کنیم (منبع تزریق از خط تأمین می‌شود) مشخصات تزریق را تعیین کنید

تعیین مناسبت که فاز V_{SX} چه‌قدر نسبت به صفر باشد ⟵ $P=0$ ⟵ ترانزیت هم باز



60 km, Short line Interm. line, 120 km

Short line : $A_S = 1 \quad B_S = Z_L = 5.92 + j24 \ \Omega$

$= (0.094 + j0.4)\,60$

استفاده از روابط تقریبی ⟵ قسمت راکتیو را نیز در نظر گرفتیم

Intermediate line

$$A_R = D_R = 1 + \frac{YZ}{2} = 0.048 + j0.0037 \ \Omega$$

$$B_R = Z\,\frac{1+YZ}{6} = 7.6 + j75.52$$

$$C_R = Y\,\frac{1+YZ}{6} = j0.524 \times 10^{-3} \ \mho$$

$$|I_R| = \frac{120 \times 10^3}{}$$

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$\frac{1+K\angle\varphi}{A_S}\left[V_S - B_S(1+K\angle-\varphi)(C_R V_R + D_R I_R)\right] = A_R V_R + B_R I_R$$

$$(1+k\quad)\left[\frac{230}{\sqrt{3}}\angle\delta - (5.92+j24)(1+K)(C_R V_R + D_R I_R)\right]$$

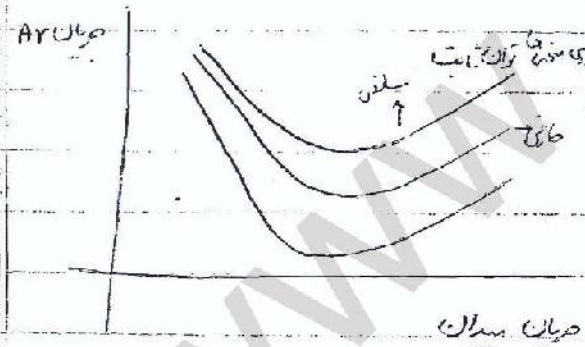
$$= A_R V_R + B_R I_R$$

$$\delta = 12.5 \qquad k = 0.096$$

$$V_{SX} = \frac{1}{A_S}\left[V_S - B_S(1+k)(C_R V_R + D_R I_R)\right]$$

$$\Delta V = k V_{SX} = 12.2 + j\,2.02\ kV$$

ماشین سنکرون حالت کار نوسانی و صوتی دارد و از نظر جریان هم حالت کار خازنی یا سلفی و متداخل خازنی دارد.



منحنی های V شکل ماشین سنکرون

نشان دهنده I_{Ar} برحسب I_f

I_{Ar} : ماشین ⟵ تحریک زیاد خازنی

سلفی ⟵ تحریک کم

حالت سلفی ⟵ جریان تحریک خیلی کم

active ⟵ جریان ثابت است

⟵ مقدار اکتیو جریان برای رتبه ثابت است اما مقدار موهومی بزرگ است

⟵ اندازه جریان ↑

تا وقتی که دیگر نشود ⟵ کل جریان ↓ ⟵ ثابت : active ⟵ ↑ جریان تحریک

reactive ↓

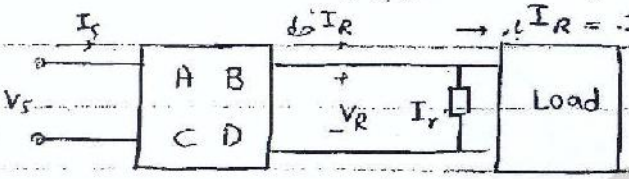
www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

تنظیم ولتاژ با استفاده از تزریق یا جذب قدرت راکتیو

خازن یا راکتور معمولاً در انتهای خط نصب می‌شود

در 400kV به صورت بیش مرض دو طرف راکتور نصب است (چون ولتاژ بالاست و خازن آن هم قابل صرفه‌تر است)



عنصر راکتیو شانت

$$I_R = I_S - j\,I_R + I_r'$$

$$I_Q - j\,I_X = I_\dots - j\,I_R + I_r'$$

$$I_r' = j(I_r - I_X)$$

$$Q = \sqrt{3}\,|V_L|\,|I_r|\ \text{MVAr}$$ — قدرت تزریقی

$$V_S = A\,V_R + B\,(I_Q - jI_X)$$

load	60mw 125 kv , 0.825 lag
line	100 km 0.09 + j 0.4 Ω/km

(Ex. یک مثال حل کنید داریم)

$U_S = 132$ KV

تا تزریقی چقدر است؟

ط تزریقی آنقدر است که lag را به حداقل برساند یعنی تا خازن گذاریم چون

www.itnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$V_R = |V_R| \angle 0°$

$V_S = \frac{132}{\sqrt{3}} \angle \delta$

$P = \sqrt{3}\,|V_R|\,|I_R|\cos\varphi$

$60\,mw = \sqrt{3} \times 125\,kv \times 0.825\,|I_R|$

$\rightarrow I_R = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 125 \times 10^3 \times 0.825} = 0.318\ kA$

$I_R = |I_R|(\cos\varphi - j\sin\varphi) = I_a - j I_R$

$= 0.277 - j\,0.178.7\ Amp$

$V_S = AV_R + BI_R = AV_R + B(I_a - j I_x)$

$\frac{132}{\sqrt{3}} \angle \delta = 1 \cdot \frac{125}{\sqrt{3}} \angle 0° + 100 \cdot (0.09 + j\,0.4)(0.277 - j I_x)$

$132 \angle \delta = 125 + 9.33 + 69.3 I_x - j(19.2 - 15.6 I_x)$

$\begin{cases} I_x = 0.1568\ kA \\ I_x = -32.1\ kA \longrightarrow \text{X} \end{cases}$

$I_R = I_a - j I_x = 0.277 - j\,0.1568$

$I_R = I_a - j I_R = 0.277 - j\,0.1787$

$I_{R'} = \oplus j\,0.0219\ kA$

V_R ... (illegible)

(illegible)

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$V_R = |V_R| \angle 0°$

$V_S = \frac{132}{\sqrt{3}} \angle \delta$

$P = \sqrt{3}\,|V_R|\,|I_R|\cos\varphi$

$60\,mw = \sqrt{3} \times 125\,kv \times 0.825\,|I_R|$

$\rightarrow I_R = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 125 \times 10^3 \times 0.825} = 0.318\ kA$

$I_R = |I_R|(\cos\varphi - j\sin\varphi) = I_a - jI_R$

$= 0.277 - j0.178.7\ Amp$

$V_S = AV_R + BI_R = AV_R + B(I_a - jI_x)$

$\frac{132}{\sqrt{3}} \angle \delta = 1 \cdot \frac{125}{\sqrt{3}} \angle 0° + 100 \cdot (0.09 + j0.4)(0.277 - jI_x)$

$132 \angle \delta = 125 + 4.33 + 69.3 I_x - j(19.2 - 15.6 I_x)$

$\begin{cases} I_x = 0.1568\ kA \\ I_x = 32.1\ kA \longrightarrow \times \end{cases}$

$I_R = I_a - jI_x = 0.277 - j0.1568$

$I_R = I_a - jI_R = 0.277 - j0.1787$

$I_{R'} = \oplus j\,0.0219\ kA$

V_R ← ثبت

جهت خازن ادت =

عدم تغییر ← تنظیم

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$Q = \sqrt{3} \times 125 \times 0.0219^{kA} = 4.75$ MVAR

چون باید از بانک خازنی استفاده شود = راکتانس کپاسیتور

$$I_{r'} = I_c = \frac{V_R}{X_{cw}} = \frac{.123}{\sqrt{3}} \times \epsilon \times 2\pi \times 50$$

$\longrightarrow C =$

سه تا اتصال ۲ خازن چون ولتاژ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ برابر گرفتیم

طبق ۲۰.

line | $f = 60$ Hz, 230 mile, bank — خط تک مداره ۳ فاز (Ex.

ولتاژ و جریان ابتدای خط؟

load | 165 mw, 215 kv, Cos φ = 1 — $V_{S}, I_S = ?$ — درصد تنظیم ولتاژ $VR = ?$

www.ttnar.ir

حل: خطوط غیرمتقارن

$$D_{eq} = \sqrt{23.8 \times 23.8 \times 47.6} = 30.0'$$

مدل

$$z = 0.1603 + j(0.4150 + 0.4127 \cdot 2) = 0.8431 \angle 79.09 \ \Omega/\text{mile}$$

$$y = \frac{j}{0.0950 + 0.1009} \cdot 10^{-6} = 5.105 \times 10^{-6} \angle 90^\circ \ \text{S/mile}$$

$$Z_c = \sqrt{z/y} = 406.4 \angle -5.43 \ \Omega$$

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$V_R = \frac{215}{\sqrt{3}}\ kv = 124.130 \angle 0^\circ\ kv$$

$$I_R = \frac{125 \times 10^3}{\sqrt{3}\ 215.1} = 337.7 \angle 0^\circ\ A$$

$$V_S = V_R \cosh \gamma l + I_R Z_c \sinh \gamma l$$

$$I_S = I_R \cosh \gamma l + \frac{V_R}{Z_c} \sinh \gamma l$$

$$\cosh \gamma l = 0.8902 + j\,0.209 = 0.8904 \angle 1.34$$

$$\sinh \gamma l = 0.0405 + j\,0.4538 = 0.4596 \angle 84.91$$

$$V_S = 137.851 \angle 27.77^\circ\ kv$$

$$I_S = 332.27 \angle 26.33^\circ\ Amp$$

$$U_S = \sqrt{3}\,|V_S| = 238.8\ kv$$

ناحیه ای است. خازن = مصرف توان راکتیو منفی از اکتوالت = ولتاژ دارم
(سلف = تولید)

$$P_S = \sqrt{3}\,V_S I_S \cos \Phi_S = \sqrt{3} \times 332.27 \times 238.8 \times \cos 1.44$$

$$= 177.44\ MW$$

ثبات رخطه داریم. $12\ \frac{MW}{Km}$

$$V_{R\,FL} = 124.13\ kv$$

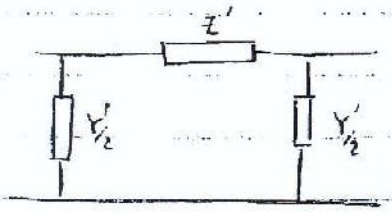
$$V_{R\,NL} = \frac{V_S}{\cosh \gamma l} = \frac{137.851}{0.8904} = 154.819$$

$U_{R\,NL} = 268.154 kv$ ← تغییر ولتاژ دارم 215^{kv} تا

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

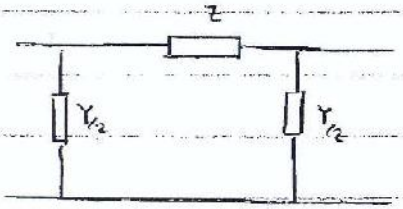
در مورد کابل برعکس است مانند کابل ۲ سلف کابل



مدار معادل دقیق خط =>

$Z' = Z_c \sinh \gamma l = 186.78 \angle 79.46$ (Ω)

$\frac{Y'}{2} = \frac{1}{Z_c} \tanh \frac{\gamma l}{2} = \frac{1}{Z_c} \cdot \frac{\cosh \gamma l - 1}{\sinh \gamma l} = 0.000579$ (U)



مدار معادل تقریبی خط =>

(بقدر با مدت خط در نظر گرفتم)

$Z = \gamma l = 193.9 \angle 79.04^\circ$ سه اختلاف کمتر از 3.8٪

$\frac{Y}{2} = \frac{\gamma}{2} l = 0.000578 \angle 90^\circ$ سه اختلاف کمتر از 2٪

در حالت تقریبی از g صرفنظر کردیم => تلفات در R (مقاومت سری)

هدایت شنت

در حالت دقیق هر دو تلفات در R و G بود

(Ex. در مثال قبل مدل ABCD را با ترمهای کلی خط بیابید

مدل جریان ←

$A = D = \cosh \gamma l = 0.8904 \angle 1.34$

$B = Z' = Z_c \sinh \gamma l = 186.78 \angle 79.46$

$C = \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma l = 0.00113 \angle 90.42$

(Ex. با استفاده از جدول سری امپدانس سری را بدست آورید 170 کیلومتر خط را ABCD

مدل جریان سری ←

$Z' = 34.17 + j183.62$

ثابت انتشار خط γ را بدست آورید $\gamma l = \infty$

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$A = D = 1 + \frac{Y'Z'}{2} = 0.97 \angle 1.24$ $\quad C = Y'\left(1 + \frac{Y'Z'}{4}\right) = 0.00091180 \angle 90.41$ ℧

جبران سری ← کاهش اندازش سری، کاهش VR، افزایش ظرفیت خط

$$P_{S_1 max} = \frac{|V_S||V_{R1}|}{|B|} + \frac{|D||V_S|^2}{|B|} \cos(\beta - \delta)$$

راکتانس ← $\frac{1}{3}$ B ← افزایش ظرفیت خط تا حدود ۳ برابر قبل

VR=? رطلت با بای راکتانس خط نصب می کنیم 170 اهم Shunt Inductor (Ex

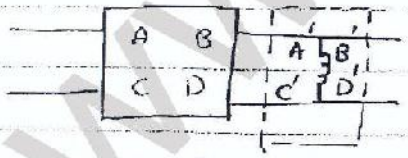
جبران شنت

با استفاده از Inductor ← سلف شنت

اتصال کوتاه ← جریانها عموماً اندکند ← جبران سریعاً اندک است.

$Y = j\,5.105 \times 10^{-6} \times 230 = j\,0.001174$ ℧

$Y_{C'} = Y_L = -j\,0.7 \times 0.001174 = -j\,0.000822$ ℧



باهم سری شدند

$A' = D' = 1$

$B' = 0$

$C' = -j\,0.000822$ ℧

$V_S = AV_R + BI_R$ ← کمیت را می خواهیم A_{eq} ← $V_{R,NL}$

$A_{eq} = AA' + BC' = 1.0411 \angle -0.4$

$V_{RNL} = \frac{V_S}{A_{eq}} = \frac{137.851}{1.0411} = 132.409$

$V_{RFL} = 124.13$

VR 132.409 124.13 ... حل شد

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

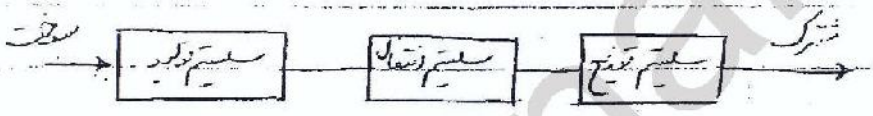
تمرین: دو خط با پارامترهای $\begin{matrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{matrix}$ و $\begin{matrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{matrix}$ سری می‌کنیم پارامترهای خط معادل را

تمرین: دو خط با پارامترهای ... موازی ... معادل را

میان خطوط در شاخه‌ی ... اصلاً نول داریم ... صورت گسسته تکفاز داریم

فصل 6: سیستم توزیع:

(Distribution System)



10.5 KV — 400 KV — 20 KV

13.2 KV — 230 KV — 0.4 KV

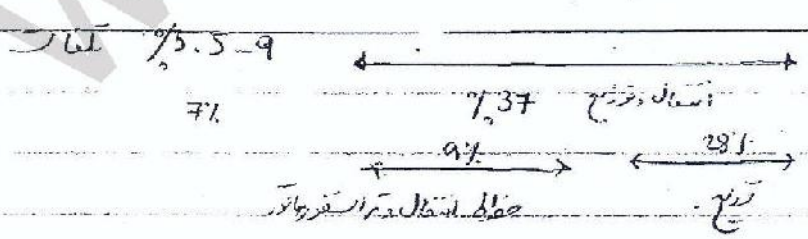
19 KV — 132 KV

21 KV — (63)

28 KV — ولتاژ توزیع

Sub. Transition

(750) ولتاژ فوق



تولید 192000 mwh

7000 mwh — 9000 mwh — 28000 mwh — 4000 mwh

مشترک 142000 mwh — 48000 mwh تلف می‌شود

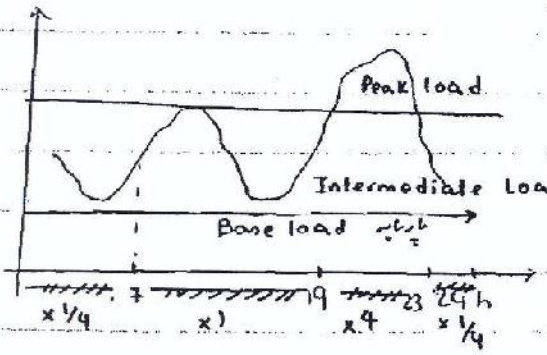
مقداری از تلفات فنی می‌باشد

www.ttmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

به این ترتیب توزیع بار بین فازها تقریباً متعادل شد.

- 12kw ↓ 50A ~ 250kw ← کشور ۳ فاز (230 kv)
- زیر 50A (12kw) ← معمولاً تک فاز



Load Curve

منحنی بار :

در ساعات مختلف قیمت ها مختلف اند

← کشورهای چند توزیع

کمیت های مشخص کننده سیستم توزیع :

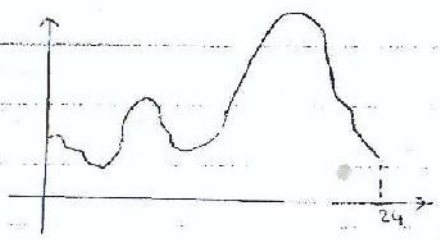
① نوع بار :

- بار خانگی ← تقسیم ایران به ۵ منطقه گرمسیری ۱-۲-۳ معتدل
- بار تجاری
- بار صنعتی ← برای مصرف دولتی یکی است. (کمتر از خانگی)
- بار کشاورزی ← مصارف وابسته به کشاورزی مثل چاه ها
- عمومی ← روشنایی معابر
- سایر ← تلفات / فنی / غیرفنی

غیرفنی عالباً بیشتر است

اختلاف توزیع معرف

حداکثر ← ۱۵٪ باید باشد



Load Curve ②

کشور پیشرفته خانگی ... تک یکی ... بیشتر است

سرمایه گذاری بار برای تک ... شود

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

تلفات ⟨ فنی ⟨ مجاز ، غیرمجاز
غیرفنی

از هر ۳ نیروگاه ۱ نیروگاه صرف تلفات می‌شود = ۷ بهای سرمایه‌گذاری در تولید در توزیع سرمایه‌گذاری

کنتیم = کاهش تلفات توزیع

اصلاح هادی‌ها = X

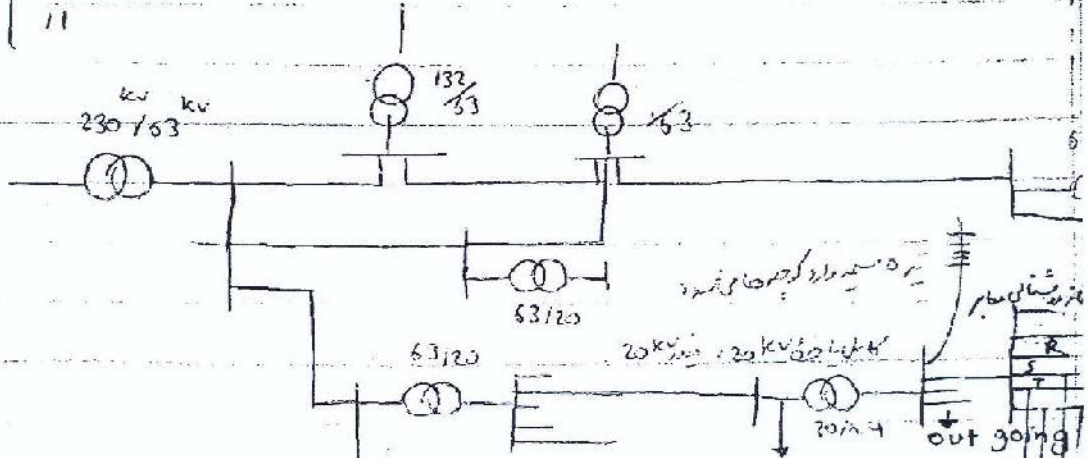
کاهش حجم سیکل 20KV = حذف یا min کردن شکست ضعیف

جلسه ۲۵ ۹۸/۱

سیستم توزیع:

بخشی از سیستم که با مشترک ارتباط است

	ولتاژ	توان توزیع	انتقال
استاندارد ایران	20	63	230
	0.4	132	400
زغیش های	33		
	11		



www.tnat.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

بار پایه ← Base load
- واحدهای بخاری نو
- واحدهای اتمی
- واحدهای سیکل ترکیبی نو

بار میانی ← Intermediate load
- بخاری قدیمی
- سیکل ترکیبی قدیمی

Peack load
- بخاری قدیمی تر
- گازی یا اندمان غیر بابت

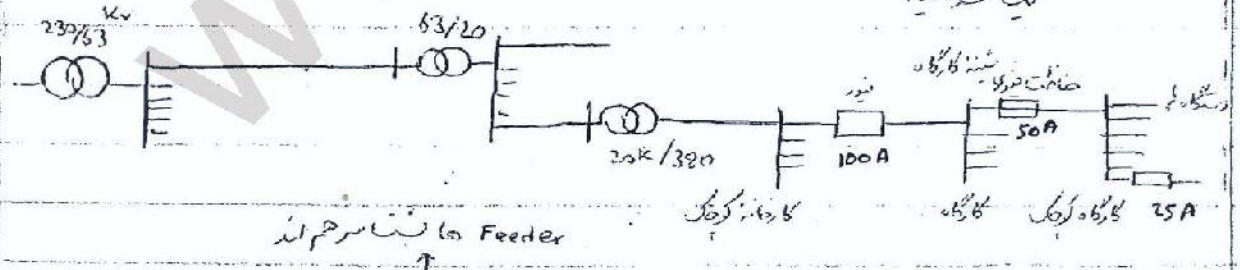
تغییرات بر روی کنترل مرکاس در نظر گرفته می شود ← مجدداً آی

③ شبکه های توزیع

۲ نوع شبکه توزیع به کار می رود.

(I) شبکه توزیع شعاعی Radial

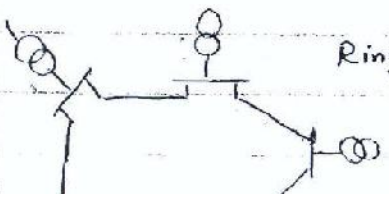
یک سو تغذیه



یک شبکه شعاعی از یک سو تغذیه می شود، برگشت ندارد ← قابلیت اطمینان کم

پایین است (اگر دیگری از فیدرها خارج شود همه بی برق می شوند)

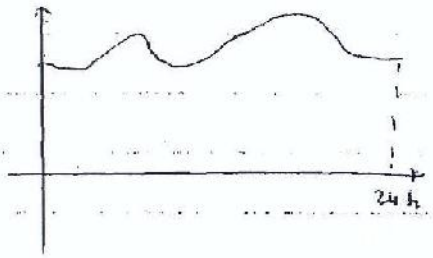
(II) شبکه توزیع حلقوی Ring Distribution Network



دو سو تغذیه، دو برق از دو طرف تغذیه می شود

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected



کشور صنعتی، خانگی

انحراف جزئی کم است

حفظ سرمایه

$$P_{ave} = \frac{1}{24}\int_0^{24} P(t)\,dt \quad \text{بار متوسط روزانه}$$

$$P_{ave} = \frac{1}{8760}\int_0^{8760} P(t)\,dt \quad \text{بار متوسط سالانه}$$

$$\eta = \frac{P_{ave}}{P_{pick}} \times 100 \quad \text{ضریب بهره برداری، ضریب بار}$$

پیشرفت هم در مصرف خانگی است

در ایران $\eta = \%0.45$

ژاپن $\eta = \%95$

ضریب بار، اختلاف Pick از P_{ave} نشان می دهد کشور چقدر صنعتی است.

تولید واحدهای نیروگاهی	تولید اولین نیروگاه در آمریکا	License ⟶ Westing House - GE
	سوئد آبان	BBC + ACEA ⟹ ABB
	آلمان و سوئد	Siemens
	فرانسه	AlSthom / Cegelex / Cegelec ⟶
	انگلیس ⟵ جای بگذار	Rolls Royce
	ژاپن	Hitachi / Mitsubishi
	ایتالیا	Fiat / Ansaldo
	روسیه	
	چین	
	سوئیس	ACEC واحدگاری

www.tfnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

(Ex. در شبکه‌ای قدرت مورد نیاز 32 MVA است در حالی که بار $3KVA/هکتار$ است.

← توان ترانس 16 MVA ، 63 kV

* انتخاب باید برای کل قابلیت اطمینان سیستم انجام گیرد

تعداد پست‌ها $N = \frac{S_{Total}}{S_T}$

S : کل ساخت

S_T : ساخت تغذیه شده توسط هریک از پست‌ها

$10^4 S = \pi R^2 \longrightarrow R = 100\sqrt{\frac{S}{\pi}}$ شعاع تغذیه شونده

برآورد بار Load Forecasting

پیش بینی بار آینده

برحسب بازه‌های زمانی به ۴ دسته تقسیم می‌شود ←

(A) Long Term ← 10 سال

(B) Inteimediate Term ← 3 ~ 5 سال (گاهی ۱ سال هم کاهش می‌یابد)

(C) Short Term ← 1 ~ 168 ساعت (۱ ساعت تا ۱ هفته)

(D) Very Short Term ← $5^{min} \sim 1^{hour}$

(A) ← برنامه‌ریزی کلان برای شبکه ← مدت زمان تولید ۱۰ سال بوده / فراهم خطوط انتقال مدنظر

مقایسه روش‌های رگرسیون و سری‌های زمانی

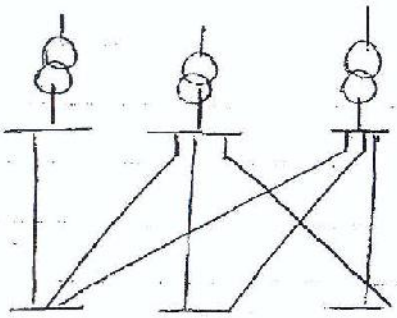
(B) ← پیش‌بینی بار واحدها ← Unit Comm

www.tmar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

(III) شبکه توزیع حلقوی

از جند سو تغذیه



— قابلیت اطمینان بسیار بالا

احتمال خاموشی قطع برق بسیار پایین.

(برق اضطراری)

قابلیت اطمینان ⟵ حلقوی > Ring > شعاعی

(4) تراکم بار

تراکم بار = $\frac{KVA}{S}$ یا $\frac{MVA}{S}$:

⟶

ترانس ها کوچکتر

کابل ها کوتاهتر و ضخامت کمتر

افزایش تعداد ترانس ، Ia Backup

افت ولتاژ کمتر . (چون طول فیدر اولی بیشتر است)

انتخاب پست 63 KV یا 20 KV وابسته به تراکم بار است

تراکم بار KVA/km²	1	3	5	10	20	40	120
قدرت پست 63kv MVA	6	16	25	40	80	100	140
قدرت پست 20kv KVA	75	160	250	35	40	500	125

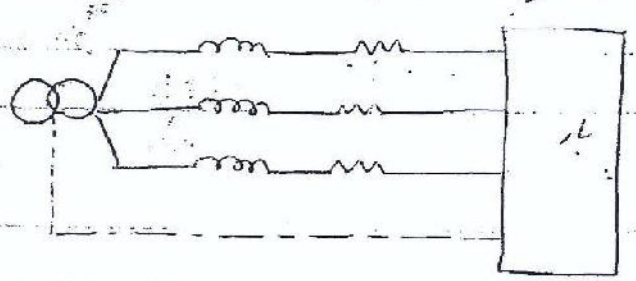
www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

جلسه ۲۱ ۱۹/۲۰

افت ولتاژ در شبکه های توزیع :

۱ـ شعاعی 2ـ حلقوی 3ـ غربالی



چون معرف کننده مکان هم داریم ← NUll هم داریم .

3x25+16

↓ ↓

مقطع فاز مقطع NUll

فرض می کنیم عدم تقارن ناچیز است ← محاسبات برای یکفاز

چون در شبکه توزیع طولها کوتاه است از کاپاسیتانس و اثر هوایی در نظر گرفته می شود

اما در مورد کابل برعکس است باید C در نظر گرفته شود

چون مقاطع فازی کم و کوتاه است از اندوکتانس هم می توان در اغلب موارد صرفنظر کرد

در مورد کابل ها از اندوکتانس کاملاً صرفنظر شود ← مقاومت

در مورد خط هوایی ← اندوکتانس و مقاومت

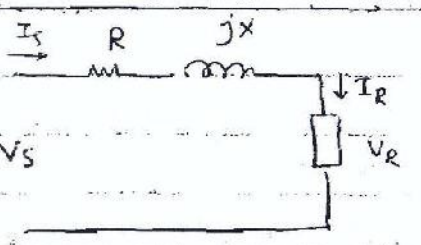
مقطع کابل با توجه به موضع مشخص می شود : 1) آمپراژ فاز هادی

2) حصوصاً افت ولتاژ

افت ولتاژ توزیع است دارد در شبکه های توزیع متفاوت خلاف است ← در کشور ما 5٪ بیشتر نمی توان در شبکه توزیع شکایت کرد)

www.itnar.ir

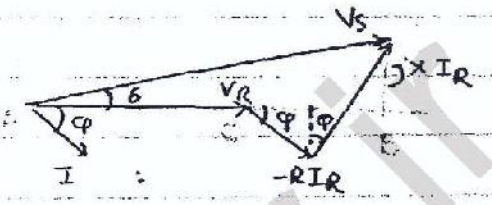
Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected



$P_1 \cos\varphi$

$$P = \sqrt{3}\, V_R\, I \cos\varphi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, V_R \cos\varphi}$$



$$AB \simeq V_S$$

$$V_S - V_R = BC$$

$$\Delta V = RI_R \cos\varphi + XI_R \sin\varphi$$

$$\Delta U = \frac{RP + XQ}{U} \Leftarrow \Delta U = \sqrt{3} RI\cos\varphi + \sqrt{3} XI\sin\varphi$$

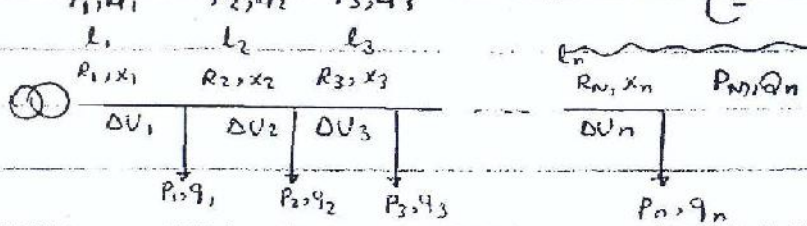
$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \times 100\% = \frac{\sqrt{3} RUI\cos\varphi + \sqrt{3} XUI\sin\varphi}{U^2} \times 100\%$$

$$\Delta U\% = \frac{RP + XQ}{U^2} \cdot 100\%$$ درصد افت ولتاژ خط

$$\Delta U\% \simeq \frac{RP}{U^2} \cdot 100\%$$

در کارگاه‌های کوچک از این رابطه استفاده می‌شود (به‌دلیل کوتاه بودن خط‌ها، کابل‌ها و کوچک بودن جریان‌ها)

① افت ولتاژ در شبکه‌های توزیع شعاعی:



افت ولتاژ در خط توزیع شعاعی = کمترین یا MAX

$$P_1, Q_1 = \sum P_i, Q_i$$

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

Radial Deep point ← پارامتر

مقاطع کابل‌ها می‌توانند متفاوت باشند ← برای شبکه رادیال هم داریم می‌گیریم

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \cdots + \Delta U_n \quad \text{افت ولتاژ نقطه انتهایی}$$

$$= \frac{1}{U} \sum_{k=1}^{n} R_k P_k + X_k Q_k$$

$$R_1 P_1 + X_1 Q_1 = R_1 (P_1 + P_2 + \cdots + P_n) + X_1 (q_1 + q_2 + \cdots + q_n)$$

$$R_2 P_2 + X_2 Q_2 = R_2 (P_2 + P_3 + \cdots + P_n) + X_2 (q_2 + q_3 + \cdots + q_n)$$

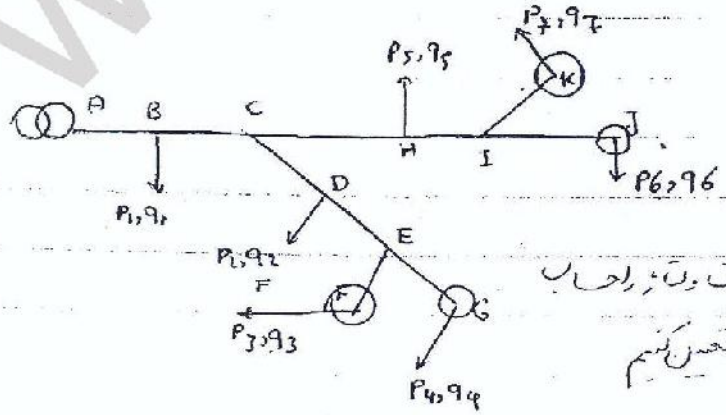
$$\vdots$$

$$R_n P_n + X_n Q_n = R_n P_n + X_n q_n$$

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{1}{U} \sum_{k=1}^{N} r_k P_k + x_k q_k$$

$r_k = R_1 + R_2 + \cdots + R_k$ ← مجموع مقاومت خطوطی که توان P_k از آن می‌گذرد

$x_k = x_1 + x_2 + \cdots + x_k$ مجموع راکتانس خطوطی که توان q_k از آن می‌گذرد



(Ex.

در هر نقطه انتهایی باید افت ولتاژ را حساب کرده و مقطع کابل مناسب را انتخاب کنیم

$$\Delta U = \frac{1}{U} \sum_{1}^{n} r_k P_k + x_k q_k$$

$$\Delta U = \frac{1}{} \sum^{N}$$

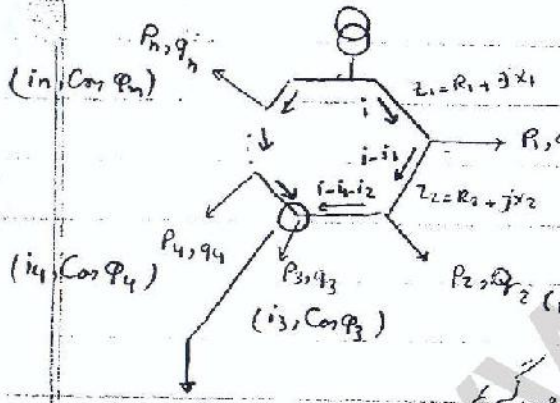
www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$\Delta U_F = \frac{1}{U}\left(R_{AB}P_{AB} + R_{BC}P_{BC} + R_{CD}P_{CD} + R_{DE}P_{DE} + R_{EF}P_{EF} + X_{AB}Q_{AB} + X_{BC}Q_{BC} + X_{CD}Q_{CD} + X_{DE}Q_{DE} + X_{EF}Q_{EF}\right)$$

برای باقی شاخه ها هم بنویسیم و ببینیم ΔU کجا بزرگتر از 5٪ افت ← با توجه به هدود ولتاژ لازم مقطع کابل مناسب را تعیین کنیم.

② افت ولتاژ در شبکه، توزیع طولی:



افت ولتاژ را نقطه ناشی از گذر توان اکتیو در نظر می گیریم

افت ولتاژ در طول مسیر بسته برابر صورت

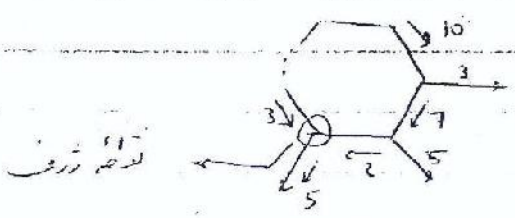
دری = نزدیک نقطه P استفاده می کنیم

نقطه ژرف نقطه ای است که از دورترین طرف جریان به آن وارد می شود

افت ولتاژ در حلقه $\Delta U = Z_1 i + Z_2(i - i_1) + Z_3(i - i_1 - i_2) +$

$\cdots + Z_n(i - i_1 - i_2 - \cdots - i_{n-1}) = 0$

$\Rightarrow \{ i = \cdots$

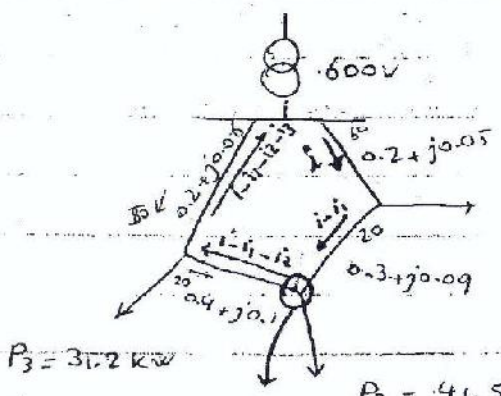


نقطه ژرف

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

(Ex.



$$P_1 = \sqrt{3}\, U\, I_1 \cos\varphi \rightarrow \dot{I}_1 = \frac{41.5 \times 1000}{\sqrt{3} \times 600 \times 1} = 40\ A$$

$$P_2 = \sqrt{3}\, U\, i_2 \cos\varphi \rightarrow i_2 = \frac{41.56 \times 1000}{\sqrt{3} \times 500 \times 0.8} = 40 - j30\ (A)$$

$$P_3 = \sqrt{3}\, U\, i_3 \cos\varphi \rightarrow i_3 = \frac{31.2 \times 1000}{\sqrt{3} \times 600 \times 1} = 30\ (A)$$

حلقه $\Delta U = 0 \rightarrow$

$$i(0.2 + j0.05) + (i - 40)(0.3 + j0.09) +$$

$$(i - 40 - 40 + j30)(0.4 + j0.1) + (i - 40 - 40 + j30 - 30)(0.2 + j0.06) =$$

$$i = 60 - j16.2$$

در نقطه Deep Point قطع می‌کنیم و $Real(i)$ را در نظر می‌گیریم.

$$\Delta V = (60 + j16.2)(0.2 + j0.05) + (20 - j16.2)(0.3 + j0.09)$$

$$= 20.2 + j6$$

$$\Delta U = \sqrt{3}\, \Delta V = \sqrt{3} \times 21 = 36.4 > 5\%\, U_{nom}$$

$\%\Delta U > \%5 \rightarrow$ باید مقطع کابل را بزرگتر کنیم.

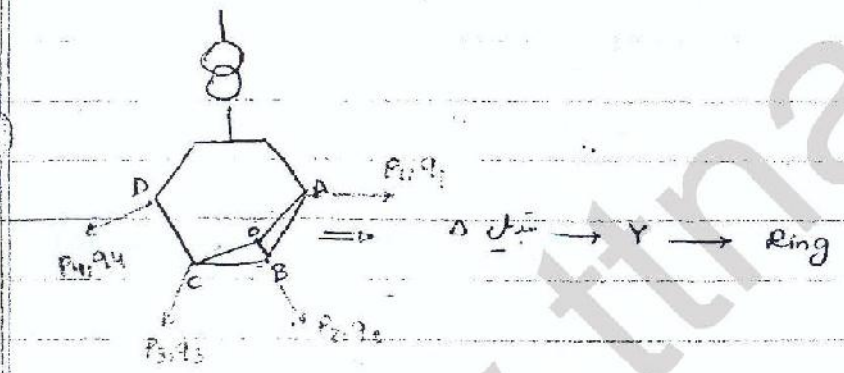
www.tfar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

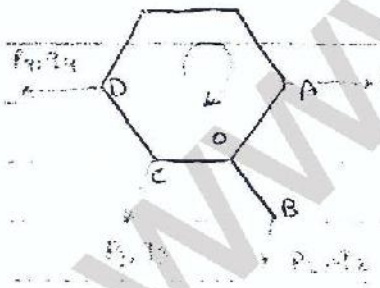
③ افت ولتاژ در شبکه توزیع عربانی :

به طور کلی در شبکه های عربانی با این حساب ها ی برآگشتی می توان افت ولتاژ را به دست آورد و به طور کلی با استفاده از روش های پخش بار که برای حل شبکه های انتقال به کار می رود باید آن را حل کنیم .

در برخی از موارد که شبکه عربانی قابل تبدیل به شبکه های حلقوی است می توانیم از این روش ها استفاده کنیم .



Δ تبدیل ← Y ← Ring



اگر افت ولتاژ MAX در O بود

کافی Deep point ⇐ در نقطه B ۵۷٪ را حساب می کنیم

اگر Deep point نقطه C بود . ممکن است C یا B

Deep point کافی باشد

← ولتاژ O را تعیین کنم ← B را محدوم کنیم

مقایسه C و B ← MAX ← Deep Point

www.ttnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

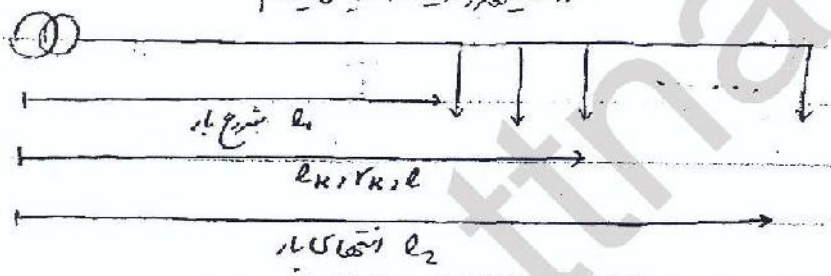
شبکه روشنایی معابر:

از شبکه‌هایی که در توزیع شبکه روشنایی معابر است.

افت ولتاژ استاندارد در ایران < ٪۵ ⇐ تعیین کابل‌ها (مقطع خطوط)

شبکه روشنایی معابر: تمام چراغ‌های یک فاز در فواصل یکسان از یک Feeder تغذیه می‌شوند ⇐ شبکه توزیع شعاعی با توزیع بار یکسان

روشنایی معابر را از یک فاز تغذیه می‌کنیم



r, x : مقاومت و راکتانس واحد طول هادی

n : تعداد چراغ‌ها

$P+jQ$: مصرف هر چراغ

$$R_{section} = \frac{L_2 - L_1}{n-1} \cdot r$$

$$X_{section} = \frac{L_2 - L_1}{n-1} \cdot x$$

$$\Delta U = \frac{1}{U}\left[\left(R_S P + R_S(2P) + \cdots + R_S(n-1)P + L_1 r n P\right) + \left(X_S Q + X_S(2Q) + \cdots + X_S(n-1)Q + L_1 x n Q\right)\right]$$

$$= \frac{1}{U}\left[R_S\left(1+2+\cdots+(n-1)\right)P + L_1 r n P + X_S\left(1+2+\cdots+(n-1)\right)Q + L_1 x n Q\right]$$

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{1}{U}\left[R_s \frac{n(n-1)}{2} p + L_1 r n p + X_s \frac{n(n-1)}{2} q + L_1 x n q\right]$$

$$\Delta U = \frac{1}{2U}\left[r(np) + x(nq)\right](L_1 + L_2)$$

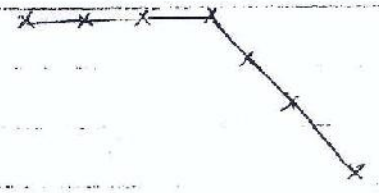
$$np = P \qquad nq = Q$$

$$\Delta U = \frac{rP + xQ}{2U}(L_1 + L_2)$$

در بسیاری از شبکه‌های توزیع از تیر چوبی به عنوان نگهدارنده کابل استفاده می‌کنند چوب هم از سیمان است.

تیر چوبی به ۷ کلاس مختلف برحسب تحمل نیروهای کششی و فشاری تقسیم می‌شود

Class 1	2000	kg	} نیروی زاویه
Class 2	1700		
Class 3	1350		
Class 4	1100		} نیروی مستقیم
Class 5	900		
Class 6	700		
Class 7	550		



طولی از تیر که باید در خاک دفن شود $\left(\frac{h}{10}\right)^m + 60\ cm$

تعیین سطح مقطع اقتصادی در خطوط توزیع :

در ولتاژ معین سطح مقطع زیاد $R \downarrow$ تلفات انرژی $P = RI^2 \downarrow$

از هادی گران‌تر می‌شود (تیرها باید سنگین‌تر انتخاب شوند (Rank بیشتر)

www.tnar.ir

Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected