بسمه تعالی

جزوه

بررسی سیستم های قدرت

دانشگاه

تهران

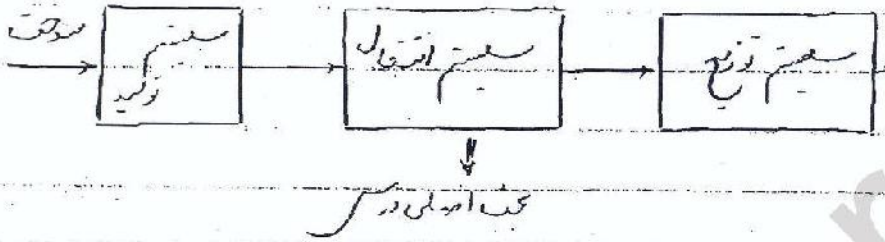
استاد

دکتر افضلی

"بررسی سیستم های قدرت"

جلسه ۱ ۸۶/۷/۱

- مفاهیم اساسی سیستم های انرژی (قدرت) الکتریکی



- پارامترهای خطوط انتقال
- روابط ولتاژ و جریان در خطوط انتقال
- سیستم توزیع
- بخش پست الکتریکی

کتاب های مرجع:

- هادی سعادت ترجمه دانشگاه علم و صنعت "بررسی سیستم های قدرت"

Stevenson ✓

- احد کاظمی ... ایشان از دانشگاه علم و صنعت

بارم بندی:
- میان ترم ۶ نمره
- نهایی ۱۲ نمره
- تمرین ۲ نمره
- * پروژه اختیاری

www.ttnar.ir

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

خاصیت انرژی الکتریکی ← تحولات اقتصادی ← عدم آلودگی زیست محیطی

تولید در زمان نیاز ← قابلیت کنترل (ولتاژ، جریان، فرکانس، توان ...)

قابلیت تبدیل به انواع انرژی به سهولت ← از سایر انواع انرژی بیشتر استفاده می شود

جلوگیری از کمتر و حفاظت کامل

واحدهای بادی، آبی، گازی، بخاری، سیکل ترکیبی، اتمی ← تولید برق

مواد حاصل از احتراق گاز سبب گرمش زمین می شود

چون نوعی گازی است گازی نامیده شده

نیروگاه ها برای تولید برق عالی سنکرون هستند

Synchronous

با سرعت ثابت باید بگردند ← هرزمان

فرکانس: 50 Hz ← $n = \frac{60f}{P}$ دور سنکرون

تعداد قطب

در تمام واحدها به جز بادی ماشین ها سنکرون اند و در بادی ماشین Asynch هستند

هستند چون فقط در سرعت سنکرون خوب تولید می کنند.

ولتاژ تولیدی ژنراتور سنکرون ← 28 KV ← ولتاژ تولید نیروگاه بسیار بالا تر

765 KV

به دلیل مقاومت خطوط انتقال دچار افت ولتاژ در سیستم انتقال ما باید

باشد تا جریان کاهش یافته ← تلفات انتقال ↓

به ۲ ترانسفورماتور نیاز داریم یکی افزاینده در سمت ژنراتور کاهنده در مقصد

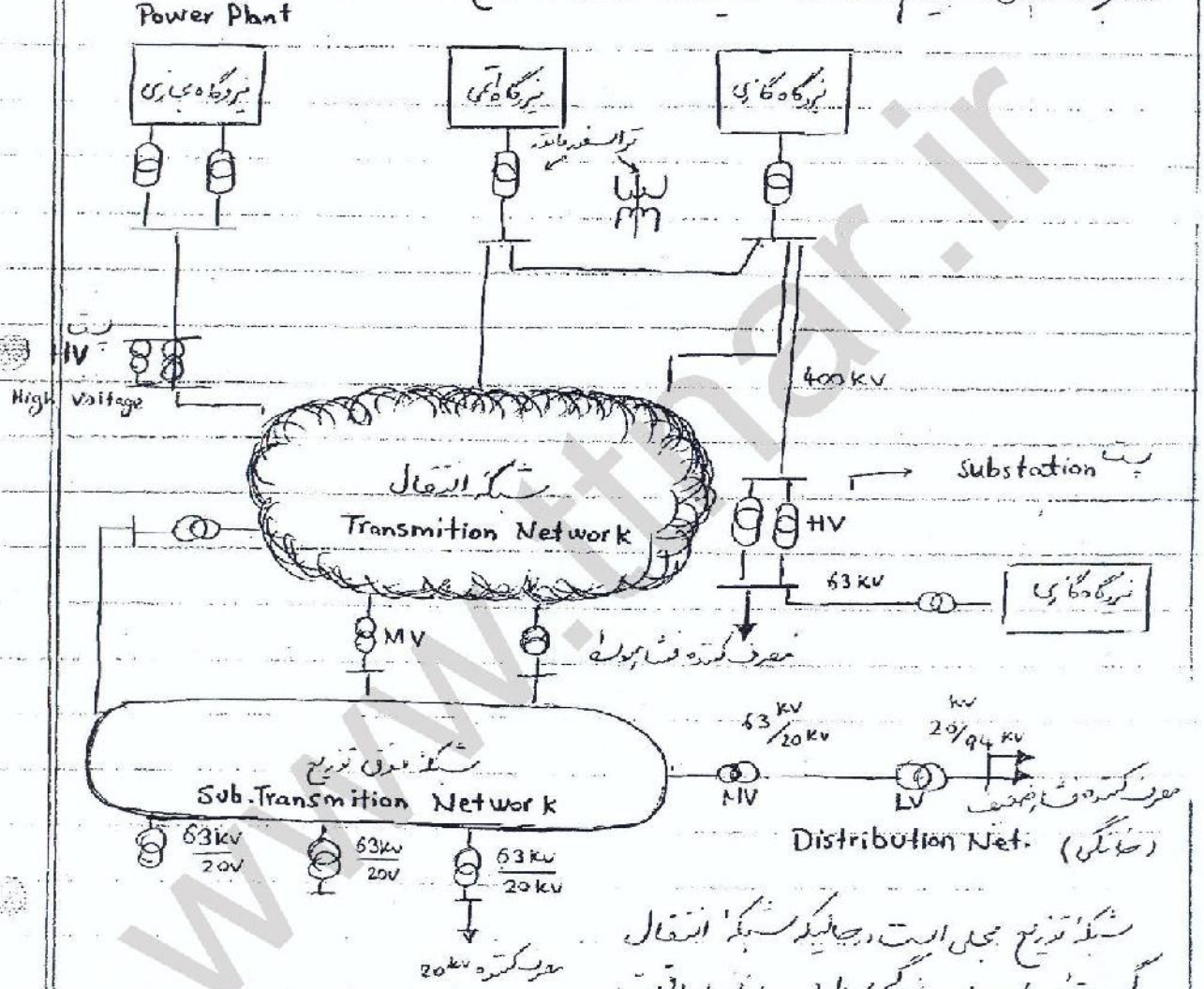
www.tfnar.ir

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

جلسه ۲ ۷٫۳

عناصر اصلی سیستم قدرت :

اجزای اصلی سیستم قدرت : تولید ، انتقال ، توزیع



شبکه توزیع مجبور است، چالیکه شبکه انتقال گستره بسیار بزرگی دارد و بنابر وقت و کنترل بیشتری دارد. ← تابع خطاها گستردگی کمتری دارد.

Trip ← از مدار خارج می شود.

در خطوط انتقال بین دو شهر چون قطع یک خط موجب تحمیل بار اضافی در سایر خطوط دیگر می شود که آن را هم قطع می کند ← باید قابلیت اطمینان را بالاتر ببریم یعنی ظرفیت تحمل بار هرکدام را به گونه ای طراحی کنیم که در صورت قطع دیگری مشکلی ایجاد نشود.

RTU ← Remot Terminal Unit آن خطاها را جمع آوری کرده به مرکز می فرستد.

www.ftnar.ir

ماشین های سنکرون قدرت الکتریکی را بصورت AC تولید می کنند و انتقال هم بصورت AC است.

چرا AC سلونیس ؟ عملیات راحت برای مشتق و انتگرال. چرا ؟ سنکرون قدرت بر از مختلف و خازن چون عناصر مشتق گیر و انتگرال گیر است و چون مشتق و انتگرال سلونیس جزء سلونیس ها نداشت ← مشکل ایجاد می شود

اولین شرکت الکتریکی ← ادیسون ← Pearl Electric 1880

برق DC ، انتقال با کابل های زیرزمینی ، روشنایی چراغ های التهابی

روند تولید ← DC → AC (نگذار) → AC (تبدیل)

لزوم انتقال شرکت ها با فاز ها و قدرت ها و فرکانس های مختلف ← لزوم است برای دستیابی

فرکانس اروپا 50 HZ آمریکا 60 HZ

چرا متفاوت ؟ تحقیقات اروپایی و آمریکا فرکانس نوسان 220 V ، 180 ، 200 ، 160

ژاپن شمال 60 HZ ⊙ هم جا نتوانند تحویل بگیرند

جنوب 50 HZ

ایران 50 HZ ← متأثر از صنعت اروپا

چرا 400 HZ در هواپیما و کشتی ؟ طول موج ↓ ← ابعاد اجزای الکترومغناطیسی ↓ ← وزن ↓

$$V_{rms} = 4.44\, n f A B_{max} = 4.44\, n f \Phi_{max} \quad \Phi \downarrow \Rightarrow A \downarrow$$

عیب : ↑ هزینه حفاظت سیستم هم زیاد ← اتصال کوتاه ← خطا : Fault

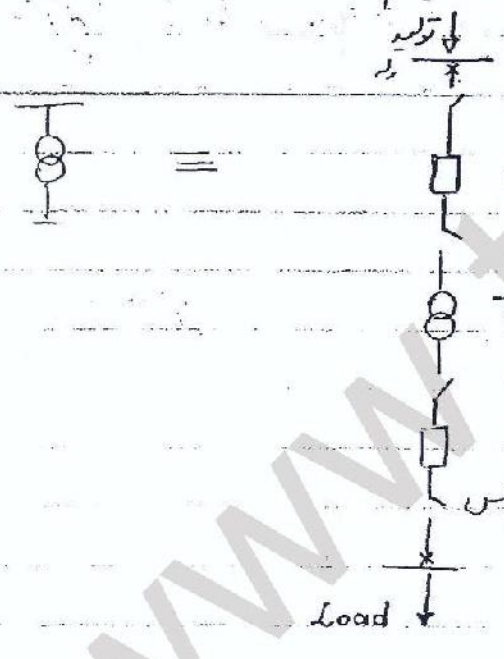
مزیت : قابلیت رشد ↑ ، صرفه جویی اقتصادی

ان سیستم حفاظتی مطمئن تری می خواهد (در مقابل صرفه جویی مان ٪10)

دیاگرام تک خطی سیستم قدرت :

- Power Plant
  - Thermal PP
    - Gas Turbines
    - Steam Turbines
    - Combined cycle PP ترکیب گاز و بخار
  - Hydro PP
  - Nuclear PP

Bus ← محل استفاده از دو یا چند سیستم قدرت



از سکسیونر نمی‌توان برای قطع جریان بار استفاده کرد اما از کلید قدرت می‌توان

خطای بار ← جریان اضافی ← رله جریان زیادی را حس می‌کند ← کلید قدرت جریان قطع می‌دهد

کلید ← هم قطع جریان بار و هم جریان خطا

چرا هم از کلید استفاده می‌شود هم سکسیونر ← برای تعمیر کلید بین آنها قرار قطع را کلید و بعد سکسیونر می‌دهیم ← کلید را خارج می‌کنیم

در LV و MV سکسیونرهایی با قابلیت قطع زیر بار وجود دارد.

Rellaying System ↔ Protection System

شکل قبل یک بخش از دیاگرام تک خطی بود

سیستم قدرت در جاها ۳ فاز است. ۳ فاز ۳ تک فاز با اختلاف فاز 120° اند

یعنی کلیه اتفاقات دیگی با تأخیر زمانی 6.6 ms در دیگری تکرار می‌شود

$f = 50\,Hz \rightarrow T = \frac{1}{50}\,sec = 20\,msec$

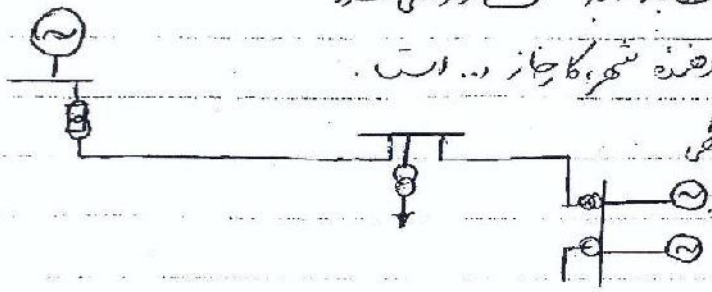
www.tnar.ir

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

چون اتصالات متعادل است کل سه فاز را با یک خط نشان می‌دهیم به دیاگرام تک خطی

نیروگاه، ترانسفورماتور، BUS: خط بار، بار نشان داده می‌شود

↓ بار در نیروگاه تک خطی نشان دهنده شکل کاملاً واقعی است.



علاوه بر تقریح و اتصال از مولد تک خطی
می‌توان در سطح LV هم استفاده کرد.

مفاهیم اساسی ولتاژ و جریان الکتریکی:

علت استفاده از ولتاژ سینوسی ← وجود عناصر مشتقگیر و انتگرال‌گیر در سیستم قدرت
و قطع ولتاژ سینوسی، سینوسی باقی می‌ماند

سیستم تک‌فاز

$$\begin{cases} v(t) = V_m \sin(\omega t + \varphi_1) = V\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi_1) \\ i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_2) \end{cases}$$

(V: rms) $\varphi_2 - \varphi_1$: اختلاف فاز

$$v(t) = \Im_m\left[V\sqrt{2}\, e^{j(\omega t+\varphi_1)}\right] = \Im_m\left[\left(Ve^{j\varphi_1}\right)\sqrt{2}\, e^{j\omega t}\right]$$

$$i(t) = \Im_m\left[I\sqrt{2}\, e^{j(\omega t+\varphi_2)}\right] = \Im_m\left[\left(Ie^{j\varphi_2}\right)\sqrt{2}\, e^{j\omega t}\right]$$

$$\begin{cases} \underline{V} = Ve^{j\varphi_1} \\ \underline{I} = Ie^{j\varphi_2} \end{cases}$$

Phasor: بردار، برای مقدار حقیقی از

حالت سینوسی $V = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}}$ $I = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}}$

Impedance $\underline{Z} = \dfrac{\underline{V}}{\underline{I}}$

$$\underline{Z} = \frac{Ve^{j\varphi_1}}{Ie^{j\varphi_2}} = Ze^{j(\varphi_1-\varphi_2)}$$

www.ttnar.ir

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

$$v(t) = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{dN\Phi}{dt} = \frac{dLi}{dt} = L\frac{di}{dt}$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_2) = Im\left[I\sqrt{2}\, e^{j\omega t} e^{j\varphi_2}\right]$$

$$\rightarrow v(t) = L\omega I_m \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$= L\omega I_m \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega t - \varphi_2\right)$$

$$= -L\omega I_m \sin\left(\omega t + \varphi_2 - \frac{\pi}{2}\right) = Im\left[-L\omega I\sqrt{2}\, e^{j(\varphi_2 - \frac{\pi}{2})} e^{j\omega t}\right]$$

$$\underline{I} = I e^{j\varphi_2}$$

$$\underline{V} = -L\omega I e^{j(\varphi_2 - \pi/2)}$$

$$Z = \frac{\underline{V}}{\underline{I}} = \frac{-L\omega I e^{j\varphi_2} e^{-j\frac{\pi}{2}}}{I e^{j\varphi_2}} = L\omega e^{j\pi/2} = jL\omega$$

$$\Rightarrow \boxed{Z_L = Ljw} \quad \text{در سلف جریان نسبت به ولتاژ } 90^\circ \text{ پس می‌ماند.} \qquad \boxed{\hat{Z} = \frac{\pi}{2}}$$

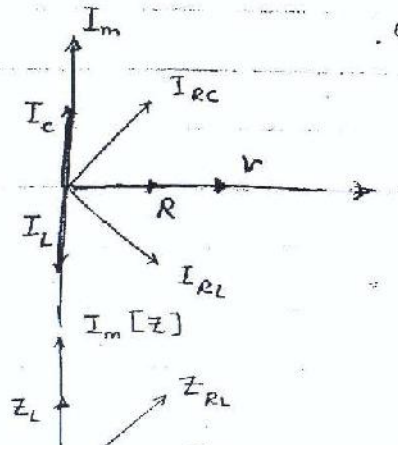
ولتاژ منبع ← سلف مدار پس می‌ماند است.

خازن $i = C\frac{dv}{dt}$

$$\boxed{Z_c = \frac{1}{jwc}} \qquad \boxed{\hat{Z} = -\frac{\pi}{2}}$$

جریان خازن نسبت به ولتاژ 90° پس می‌ماند

ولتاژ خازن نسبت به جریان 90° پیش می‌ماند است.



$Z = Z\angle 30 \longrightarrow RL$

$Y \triangleq \frac{1}{Z}$

www.tnar.ir

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

$$\underline{Z} = Z\angle\varphi = Ze^{j\varphi} = Z\cos\varphi + jZ\sin\varphi$$

$$= Re[\underline{Z}] + j\,I_m[\underline{Z}] = R + jX = R + j(X_L - X_C)$$

Impedance — Resistance — Reactance — Inductive Reactance — Capacity Reactance

$$Y \triangleq \frac{1}{\underline{Z}} \quad \text{Admitance}$$

$$= \frac{1}{R+jX} = \frac{R}{R^2+X^2} + j\frac{-X}{R^2+X^2}$$

$$= G + jB$$

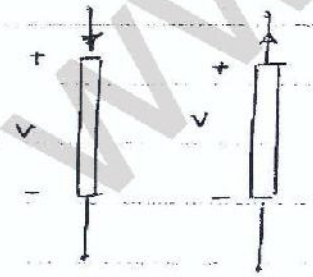
Conductance — Susceptance

طبق ۳ ۷،۸

قدرت در مدارهای سینوسی تکفاز ⇐

$V \times I > 0$ ⇐ سیستم مصرف کننده قدرت الکتریکی

$VI < 0$ ⇐ " " تولید کننده " "



سیستم قراردادی تولید کننده — سیستم قراردادی مصرف کننده

قدرت لحظه‌ای یک عنصر عبوری $(P(t))$

$$P(t) = V(t)I(t)$$

$P(t) > 0$ ⟶ جذب توان

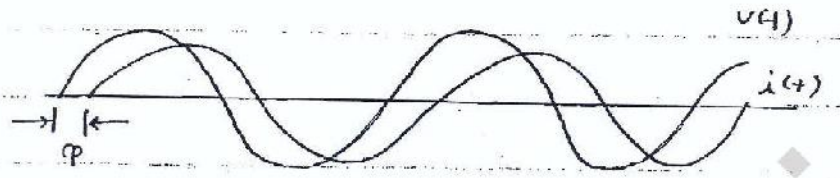
$P(t) < 0$ ⟶ تولید توان

www.itnar.ir

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

$v(t) = V_m \cos \omega t$

$i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi)$



$$P(t) = V_m I_m \cos\omega t \cos(\omega t - \varphi) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos(2\omega t - \varphi) + \cos\varphi]$$

$$= \frac{1}{2} V_m I_m \cos(2\omega t - \varphi) + \frac{1}{2} V_m I_m \cos\varphi$$

متناوب $T/2$

قدرت متوسط $P = \frac{1}{T} \int_T p(t)\,dt$

$$P = 0 + \frac{1}{2} V_m I_m \cos\varphi = VI\cos\varphi \ \ W$$

$P \geq 0$ Passive عنصر ... توان ... چه پسفاز ... باشد چه پیش فاز

$v(t) = Re\left[V_m e^{j\omega t}\right]$ $\quad i(t) = Re\left[I_m e^{-j\varphi} e^{j\omega t}\right]$

$\underline{V} = V e^{j0}$ $\quad \underline{I} = I e^{-j\varphi}$

$\underline{S} = \underline{V}\underline{I}^*$ بردار قدرت $\quad S = |V||I|$ قدرت ظاهری : $(\underline{S})$ بردار قدرت

Apparent power (VA)

$$\underline{S} = VI e^{j\varphi} = VI[\cos\varphi + j\sin\varphi] = VI\cos\varphi + jVI\sin\varphi$$

Active pow. اکتیو ... توان متوسط ... Reactive

$P = Re[S] = VI\cos\varphi$ (W) $\quad Q = Im[S] = VI\sin\varphi$ (VAr)

Active ... P ... توان متوسط ... مصرف کننده توان

www.tnar.ir

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

ظاهری

$S = P + jQ$ ⟷ واحد $VA = W + jVAr$

مقاومتی، راکتیو، کل ⟷ حقیقی، راکتیو

Power Factor (PF) ⇒ $PF = \cos\varphi$

φ: اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان

مدار سلفی ضریب قدرت پس فاز (lag) دارد.

مدار خازنی " پیش فاز (lead) دارد.

$Z = R + j(X_L - X_C)$ $X_L > X_C$ سلفی $X_L < X_C$ خازنی

$V = |Z||I|$ ⇒ $P = ZI^2 \cos\varphi$

$Q = ZI^2 \sin\varphi$

P: طرف مقاومت مصرف می‌شود، Q در X

$P = R|I|^2$ $Q = X|I|^2$

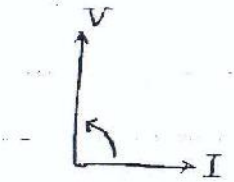
$R = |Z|\cos\varphi$ $X = |Z|\sin\varphi$

اگر مدار پیش فاز باشد مصرف کننده توان راکتیو است، تولید کننده توان راکتیو است

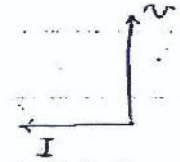
" " پس فاز " " " " " " " "

$\varphi = 90^\circ$ ⟶ مدار مقاومت ندارد ⟶ $P = 0$ $\sin\varphi = \pm 1$

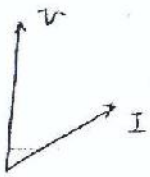
خازنی یا سلفی خالص



سلفی خالص



خازنی خالص

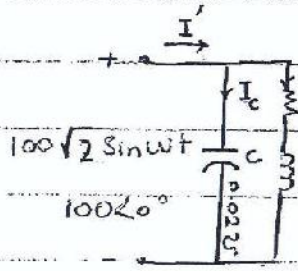


RC

www.itnar.ir

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

(Ex. موتور تکفاز

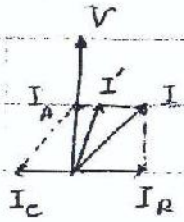


$$\underline{I} = \frac{\underline{V}}{\underline{Z}} = \frac{100\angle 0^\circ}{R + jX} = \frac{100\angle 0^\circ}{8 + j6} = \frac{100\angle 0^\circ}{10\angle 36.9^\circ} = 10\angle -36.9^\circ$$

جریان عقب است ← مصرف کننده توان اکتیو و راکتیو

مقاومت ... $P = RI^2$ توان مصرف می‌کند ... برای کاهش آن چه باید کرد؟

← خازن



$$I_c = \frac{V}{-jX_c} = jVB_c = j\,100\angle 0 \cdot 0.02 = 2\angle 90^\circ$$

$$I' = I + I_c = 10\angle -36.9^\circ + 2\angle 90^\circ = 8.94\angle -26.5^\circ$$

خازن افزوده شده باعث اصلاح $\cos\varphi$ گردید.

$$S = VI^* = 100\angle 0^\circ \; 8.94\angle 26.5^\circ = 800 + j\,399 = 894\ VA$$

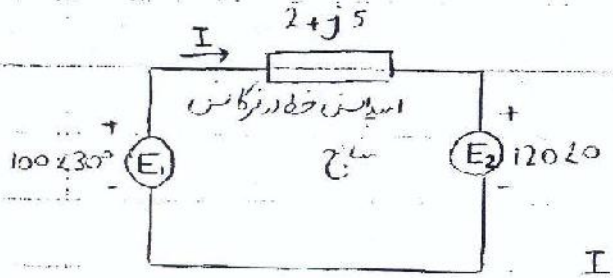
$$P = RI^2 = 8 \cdot 10^2 = 800\ W$$

$$Q_L = X_L I^2 = 6 \cdot 10^2 = 600\ VAr \qquad Q_c = 50 \cdot I^2 = 200\ VAr$$

Q_L ← مصرف می‌شود $\qquad$ Q_c ← تولید می‌شود

$$Q = Q_L - Q_c = 600 - 200 = 400 = VAr$$

(Ex.



۲ منبع نزدیک باید هم فرکانس باشند

$$I = \frac{E_1 - E_2}{Z} = \frac{100\angle 30 - 120\angle 0}{2 + j5} = 11.18\angle 55.5$$

$$S_1 = -E_1 I^* = 100\angle 30^\circ \cdot -11.18\angle 55.5^\circ = -1009 + j\,421$$

www.ttnar.ir

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

$S_2 = E_2 \cdot I^* = 120\angle 0^\circ \cdot 11.18\angle -55.5^\circ = 760 - j\,11.05$ VA

منبع 2 مصرف کننده توان اکتیو، تولید کننده توان راکتیو است

مقدار است که یک خازن به آن وصل شده است.

عامل انتقال توان اکتیو اختلاف فاز است. (ولتاژ نشین ها)

هرچه در شبکه از Generator که فاز بیشتری دارد به بار - فاز کمتر - توان منتقل می شود

اختلاف

عامل انتقال توان راکتیو اندازه ولتاژ است.

(*)

(معمولاً در شبکه یک ژنراتور فاز مبنا = 0 دارد ← فازشین های بار < 0)

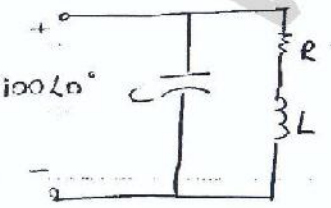
توان تلفاتی $P_{\text{ولتی واحدها}} - P_{\text{مصرفی واحدها}} = 1009 - 760 = 249$ W

$= RI^2 = 2(11.8)^2$

$P_{Loss} = -(P_1 + P_2)$

$Q_{\text{ولتی واحدها}} - Q_{\text{مصرفی واحدها}} = 1105 - 481 = 624$ VAr

$= XI^2 = 5(11.18)^2$

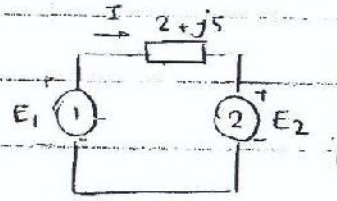


$\begin{cases} R = 8 \\ X_L = 6 \\ X_C = 100 \end{cases}$ $\begin{cases} R = 8 \\ X_L = 6 \\ X_C = 200 \end{cases}$ $\begin{cases} R = 8 \\ X_L = 6 \\ X_C = ? \end{cases}$ $Q_{\text{منبع}} = 0$ (Ex.

در هر ۳ حالت جریان حلقه، توان اکتیو و راکتیو تولیدی منبع را تعیین کنید.

www.tmar.ir

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



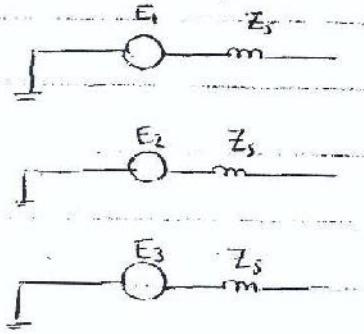
$\begin{cases} 100\angle 0 \\ 120\angle 0 \end{cases} \quad \begin{cases} 100\angle 0 \\ 120\angle 30 \end{cases}$ (Ex.

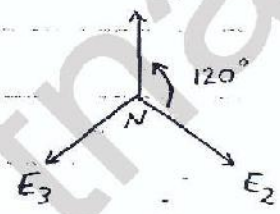
حلهٔ ۴ ۷,۱۰

مدارهای ۳ فاز =

مدار ۳ فاز متقارن از ۳ مدار تک فاز کاملاً متقارن تشکیل شده که از نظر زمانی است

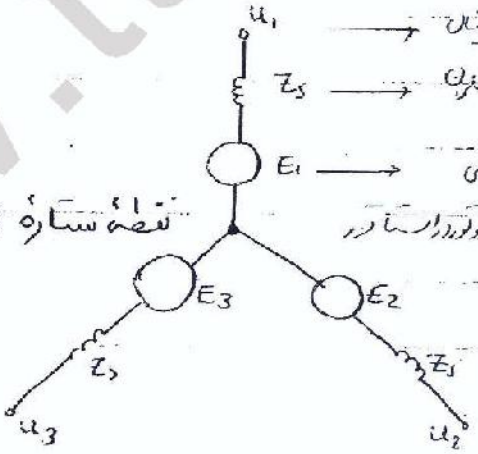
به هم تأخیر دارند (7.77^{ms})





E_1 ست 120° E_2 ست

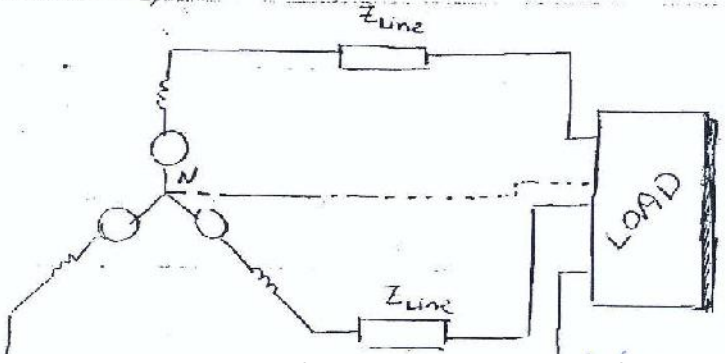
پیش فاز دارد

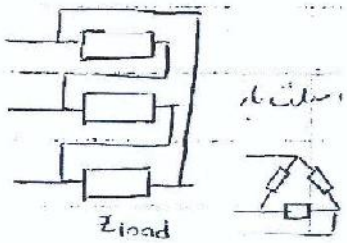


نقطهٔ ستارهٔ ایزولی ← می توانند وصل شود

NO LOAD → $E_1 = u_1$

FULL LOAD →





www.ttnar.ir

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

اگر بار اتصال ستاره داشته باشد هرد N را می‌توانیم به هم وصل کنیم.

در حالت تعادل ولتاژ نقطه نول که مجموع ۳ ولتاژ است صفر می‌باشد.

$$\underline{V_1} = V_1 \angle 0^\circ$$
$$\underline{V_2} = V_2 \angle -120$$
$$\underline{V_3} = V_3 \angle -240^\circ = \angle +120$$

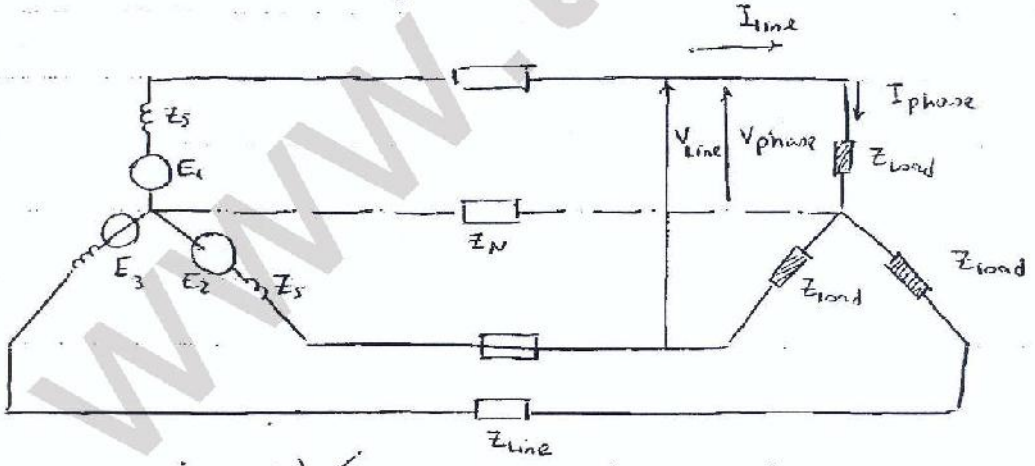
ترتیب abc ، ترتیب مثبت ، ترتیب $a = 123$

E_1 منفی ، E_2 مثبت ، E_3 منفی ، E_1 مثبت ... و این‌گونه است.

چگرد

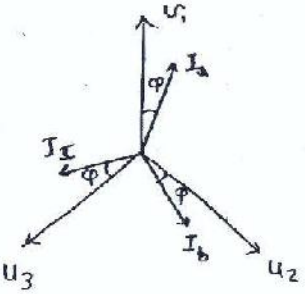
توالی منفی ، راستگرد

$$V_1 = V_1 \angle 0^\circ$$
$$V_2 = V_2 \angle +120$$
$$V_3 = V_3 \angle -120$$



بارهای متعادل ← امپدانس بار در ۳ فاز (اندازه و فاز) یکی است.

$$E_1 = Z_s I_1 + Z_{Line} I_1 + Z_{Neu} (I_1 + I_2 + I_3)$$
$$E_2 = Z_s I_2 + Z_{Line} I_2 + Z_{Neu} (I_1 + I_2 + I_3)$$
$$E_3 = Z_s I_3 + Z_{Line} I_3 + Z_{Neu} (I_1 + I_2 + I_3)$$



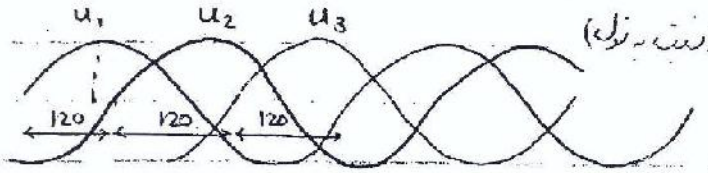
فرض: بار RL است.

در حالت ۴ سیم‌نول $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ ← ایسم‌نول جریان نمی‌گذرد ← $V_N = 0$

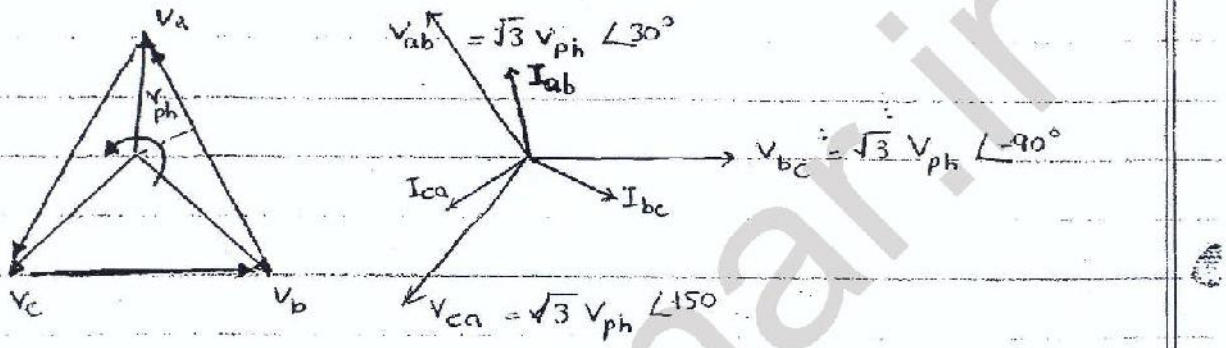
www.tnar.ir

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

Cos φ ـ اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان هر یک از فازها



ولتاژ فاز (نقطه ـ نول) u_1، u_2، u_3



Line Voltages

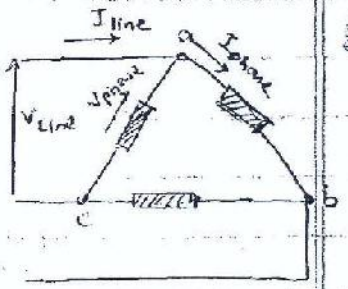
$$\begin{cases} V_{ab} = V_a - V_b \\ V_{bc} = V_b - V_c \\ V_{ca} = V_c - V_a \end{cases}$$

$$I_N = I_a + I_b + I_c = 0$$

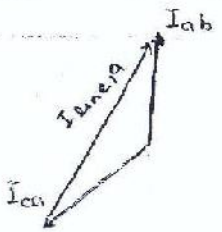
به دلیل تعادل و تقارن بار

در ستاره $\begin{cases} I_{line_Y} = I_{phase_Y} \\ V_{line_Y} = \sqrt{3}\, V_{phase_Y} \angle +30^\circ \end{cases}$

در مثلث $\begin{cases} I_{line_\Delta} = \sqrt{3}\, I_{Ph_\Delta} \angle -30^\circ \\ V_{line_\Delta} = V_{phase_\Delta} \end{cases}$



$I_{Line} = I_{ab} - I_{ca}$



www.ttnar.ir

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

میثم ۵ شنبه ۵ آذر ۹۳ بعدازظهر

قدرت در مدارهای سه فاز

تعریف قدرت: حاصلضرب ولتاژ در جریان لحظه‌ای

$$P_{3\varphi} = V_a I_a \cos\varphi + V_b I_b \cos\varphi + V_c I_c \cos\varphi$$

تقارن: $|V_a| = |V_b| = |V_c| = V_{ph}$

$|I_a| = |I_b| = |I_c| = I_{ph}$

$$P_{3\varphi} = 3 V_{ph} I_{ph} \cos\varphi$$

$$Q_{3\varphi} = 3 V_{ph} I_{ph} \cos\varphi$$

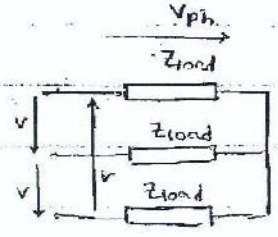
بار ستاره $V_{ph} = \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}}$ $I_{ph} = I_{Line}$ $\Rightarrow P_{3\varphi,Y} = \sqrt{3}\, V_{Line,Y}\, I_{Line,Y} \cos\varphi$

$$Q_{3\varphi,Y} = \sqrt{3}\, V_{Line\,Y}\, I_{Line\,Y} \sin\varphi$$

بار مثلث $V_{ph} = V_{Line}$ $I_{pho} = \frac{I_{Line}}{\sqrt{3}}$ $\Rightarrow P_{3\varphi,\Delta} = \sqrt{3}\, V_{Line\,\Delta}\, I_{Line\,\Delta} \cos\varphi$

$$Q_{3\varphi\Delta} = \sqrt{3}\, V_{Line\,\Delta}\, I_{line\,\Delta} \sin$$

$$S = \sqrt{3}\, V_{Line}\, I_{Line}$$



توان مصرف شده هر بار (Ex.

$$P_{3\varphi} = \sqrt{3}\, V_L I_L \overset{\cos\varphi}{=} \sqrt{3}\, V_L \frac{V_{ph}}{Z_{load}} \cos\varphi$$

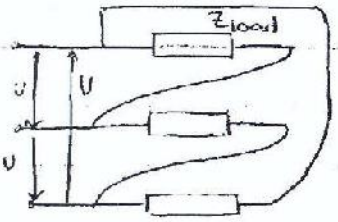
$$= \sqrt{3}\, V_L \times \frac{V_L}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{Z_{Load}} \cos\varphi = \frac{U^2}{Z_{load}} \cos\varphi$$

ادامه در جلسات ۲

www.ftnar.ir

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

(Ex. توان مصرفی هر بار



$$P_{3\varphi} = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\varphi$$

$$= \sqrt{3}\, U \frac{\sqrt{3}\,U}{Z_{Load}} \cos\Phi = 3\frac{U^2}{Z_{load}} \cos\Phi$$

↑ در حالت بار Δ

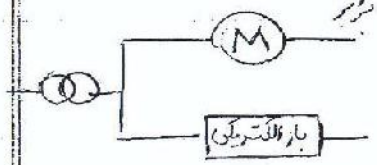
Note

اگر ۳ امپدانس مشابه را به صورت ستاره ببندیم $\frac{1}{3}$ حالتی که آن را به صورت Δ ببندیم توان مصرفی می‌کند

از این نکته برای راه اندازی موتورها استفاده می‌کنند

موتورها ← القایی، سنکرون ← در لحظه‌ی قرار گرفتن در شبکه قدرت جریان زیادی را از شبکه می‌کشند ← جریان تماسی، یورشی، Inrush Current ← این جریان تا ۶ برابر جریان حالت دائمی متغیر است ← حدود ۲ برابر لحظه‌ای ایجاد می‌کند که عملکرد بار را مختل می‌کند ☺

← موتور را در ابتدا به صورت Y می‌بندیم ← جریان ۳ برابر



← افت ولتاژهای ۶ برابر ۱ برابر می‌شود.

بعد از مرتفع شدن مشکل استارت را Δ می‌کنیم

جلسه ۵ V,15

سیستم ۳ فاز نامتعادل

بار نامتعادل ← عدم تعادل در بار سیستم

گاهی در سیستم متعادل خطا ایجاد می‌شود که تعادل سیستم را بهم می‌زند

در این حالت در هر فاز سایر باید جداگانه حل شود

روش دیگر حل ← تبدیل سیستم ۳ فاز نامتعادل به سیستم‌های متعادل است

← تبدیل مولفه‌های نامتعادل به مولفه‌های متعادل

$$\underline{V}_a = V_a \angle \theta_a$$
$$\underline{V}_b = V_b \angle \theta_b$$
$$\underline{V}_c = V_c \angle \theta_c$$

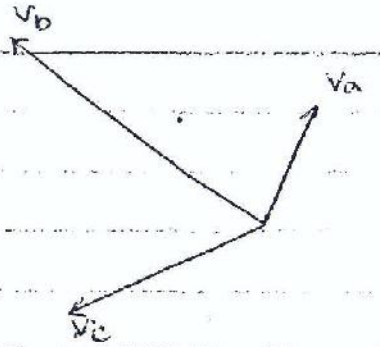
$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$
$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2}$$
$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2}$$

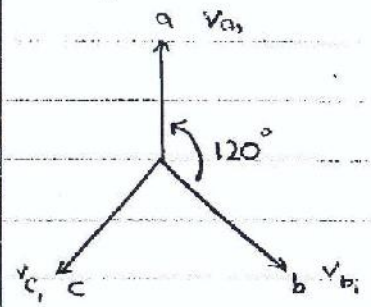
www.ttnar.ir

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

Fortesque

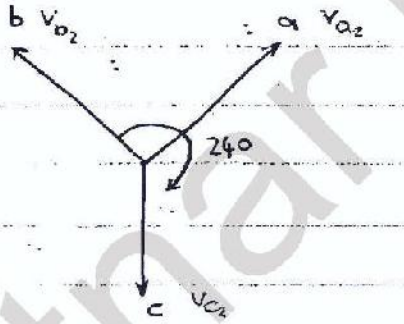
— تبدیل مولفه‌های نامتقارن به متقارن





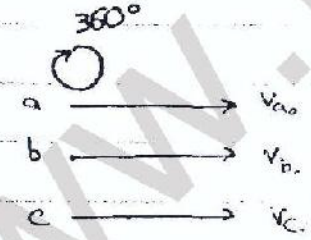
توالی مثبت

مستقیم



توالی منفی

معکوس



هم‌پولار (صفر)

$j \triangleq 1\angle 90 = e^{j90}$ اپراتور دوران $90°$

$a \triangleq 1\angle 120 = e^{j120}$ اپراتور دوران $120°$

$$V_a = V_{a_0} + V_{a_1} + V_{a_2}$$
$$V_b = V_{a_0} + a^2 V_{a_1} + a V_{a_2}$$
$$V_c = V_{a_0} + a V_{a_1} + a^2 V_{a_2}$$

$\longrightarrow$

$$V_a = V_0 + V_1 + V_2$$
$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2$$
$$V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

$V_0 \triangleq V_{a_0}$ $\quad V_1 \triangleq V_{a_1}$ $\quad V_2 \triangleq V_{a_2}$

www.tnar.ir

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

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

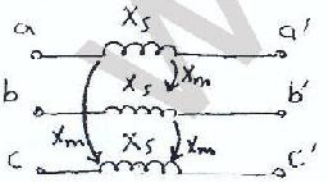
$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \Rightarrow \boxed{V_{012} = T^{-1} V_{abc}} \quad \boxed{I_{012} = T^{-1} I_{abc}}$$

$$V_{abc} = Z_{abc} I_{abc}$$

$$T V_{012} = Z_{abc} T I_{012}$$

$$V_{012} = T^{-1} Z_{abc} T I_{012} \rightsquigarrow \boxed{Z_{012} = T^{-1} Z_{abc} T}$$ امپدانس متقارن

$$V_{012} = Z_{012} I_{012}$$



سیستم انتقال را Resistance در نظر گرفتیم. (Ex. رفتن کیلومتر سیستم انتقال بین تهران کرج است

$$V_a - V_{a'} = jX_s I_a + jX_m I_b + jX_m I_c$$
$$V_b - V_{b'} = jX_m I_a + jX_s I_b + jX_m I_c$$
$$V_c - V_{c'} = jX_m I_a + jX_m I_b + jX_s I_c$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_{a'} \\ V_{b'} \\ V_{c'} \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} X_s & X_m & X_m \\ X_m & X_s & X_m \\ X_m & X_m & X_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

10

www.ttnar.ir

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

$$V_{abc} - V'_{abc} = Z_{abc} I_{abc}$$

$$TV_{012} - TV'_{012} = Z_{abc} T I_{012} \Rightarrow V_{012} - V'_{012} = \underbrace{(T^{-1} Z_{abc} T)}_{Z_{012}} I_{012}$$

ماتریس امپدانس های متقارن در خطوط انتقال سه فاز

اگر سیستم متقارن باشد فقط مولفه مستقیم را داریم.

سیستم n فاز متقارن ← n سیستم n فازه متقارن

سیستم n فاز غیر متقارن قابل تبدیل به n سیستم n فازه متقارن Fortesque در حالت

با اختلاف فاز $\frac{360}{n}$

$$Z_{012} = T^{-1} Z_{abc} T$$

$$Z_{012} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} j \begin{bmatrix} X_s & X_m & X_m \\ X_m & X_s & X_m \\ X_m & X_m & X_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$= j \begin{bmatrix} X_s + 2X_m & 0 & 0 \\ 0 & X_s - X_m & 0 \\ 0 & 0 & X_s - X_m \end{bmatrix}$$

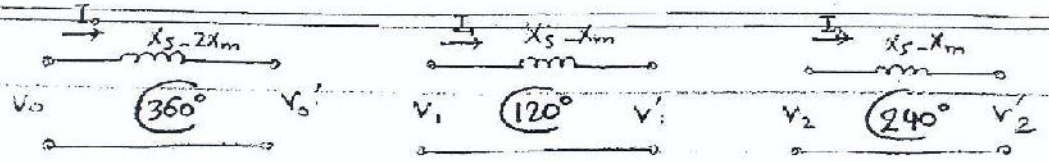
اگر چند انتقال متقارن توسط سیستم نامتقارن تغذیه شود امپدانس های ۳ سیستم ۰ و مستقیم و معکوس از هم جدا هستند ... می توان به صورت ۳ سیستم مستقل از هم بررسی شوند.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V'_0 \\ V'_1 \\ V'_2 \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} X_s + 2X_m & 0 & 0 \\ 0 & X_s - X_m & 0 \\ 0 & 0 & X_s - X_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

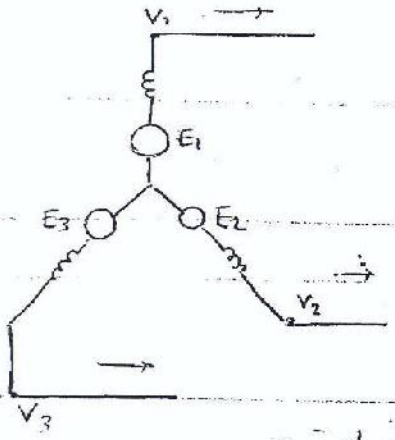
$$\begin{cases} V_0 - V'_0 = j(X_s + 2X_m) I_0 & \text{سیستم ۳ فاز} \\ V_1 - V'_1 = j(X_s - X_m) I_1 & \text{سیستم ۳ فاز} \end{cases}$$

www.tnar.ir

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



برعکس ولتاژ القایی روتور. در ماشین القایی فقط نامتقارن است.



چون بار نامتقارن است ← جریان ها نامتقارن

V ترمینال ها نامتقارن است.

متقارن ← E_3 ، E_2 ، E_1

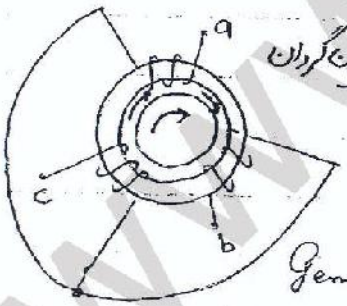
اسپاس خط در سیستم مثبت و منفی برابر است.

چون منبع عنصر گرونده ندارد ← ساکن است. اسپاس ها برابر است.

چون ثابت است ترتیب فاز abc ، acb در فلد تغیری ایجاد نمی کند.

با در صورد سیستم صفر فرق می کند.

دران در مدارهای ۳ فازه نامتقارن =>



انرژی الکتریکی قبل از مکانیکی

گردش اولیه ← القای ولتاژ ← میدان گردان

میدان گردان سبب چرخش می شود.

در اثر گردش ولتاژ القا می شود ← Generator

Motor → ۳ فاز به ولتاژ وصل می کنیم

سبب گردش روتور می شود

← میدان گردان ← میدان گردان در سیم بندی گردش اولیه

حال اگر آن را نامتقارن معکوس بگردانیم abc ← acb => جهت میدان گردان عوض می شود

گردش با ورودی نامتقارن ← اسپاس برابر در مقابل گردش مستقیم و معکوس متفاوت است. داخل چون عنصر گرونده ندارد اسپاس در مقابل گردش مستقیم معکوس یکی است

www.ttnar.ir

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

محاسبه توان

$$S_{3\phi} = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*$$

$$= \begin{bmatrix} V_a & V_b & V_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^*$$

$$= V_{abc}^t \, I_{abc}^*$$

$$= \left[T V_{012} \right]^t \left[T I_{012} \right]^*$$

$$= V_{012}^t \, T^t \, T^* \, I_{012}^*$$

$$= V_{012}^t \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} I_{012}^*$$

$a^2 = e^{j240}$

$a^{2*} = e^{-j240} = e^{j120} = a$

$$S_{3\phi} = V_{012}^t \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} I_{012}^*$$

$$= \begin{bmatrix} V_0 & V_1 & V_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0^* \\ I_1^* \\ I_2^* \end{bmatrix}$$

$$= 3 V_0 I_0^* + 3 V_1 I_1^* + 3 V_2 I_2^*$$

توان سیستم ۳ فاز صفر ← توان سیستم مستقیم ← توان سیستم معکوس

از این نتیجه در ساخت کنترل‌ها جهت کاهش استفاده می‌شود.

www.tmar.ir

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

$V_{abc} = \begin{bmatrix} 100 \\ -100 \\ 0 \end{bmatrix}$ $I_{abc} = \begin{bmatrix} j10 \\ -10 \\ -10 \end{bmatrix}$ توان مصرفی بار به ۲ روش ؟ (Ex.

$S_{3\phi} = V_{abc}^{t} I_{abc}^{*} = \begin{bmatrix} 100 & -100 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j10 \\ -10 \\ -10 \end{bmatrix} = 1000 - j1000$

active توان 1000W مصرفی کل — reactive توان 1000 VAR تولید می کند

∴ بار خازنی است.

مولفه‌های متقارن ⟶

$V_{012} = T^{-1} V_{abc} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 \\ -100 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 \\ 100\angle -30^\circ \\ 100\angle 30 \end{bmatrix}$

$I_{012} = T^{-1} I_{abc} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} j10 \\ -10 \\ -10 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -20+j10 \\ 10+j10 \\ 10+j10 \end{bmatrix}$

$S_{3\phi} = 3\left[V_0 I_0^{*} + V_1 I_1^{*} + V_2 I_2^{*}\right]$

$= 3 \begin{bmatrix} V_0 & V_1 & V_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0^{*} \\ I_1^{*} \\ I_2^{*} \end{bmatrix}$

$= \frac{3}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 100\angle -30 & 100\angle 30 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -20-j10 \\ 10-j10 \\ 10-j10 \end{bmatrix} = 1000 - j1000$

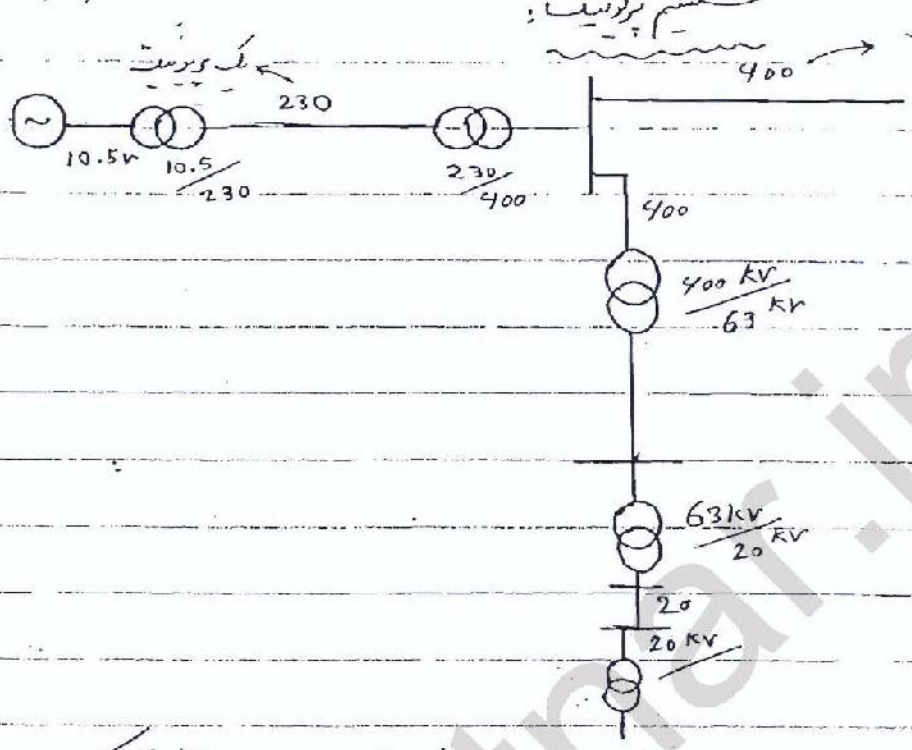
www.tnar.ir

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

فصل ۳ : ترانسفورماتورهای قدرت

۱۴۰۷/۰۷/۱۶ (ج)

سیستم پرونیت :



ولتاژهای پایه با هم مساوی (مقداری) ولتاژ (یعنی از نظر درصد با هم برابری کنند).

مثلاً ۴۰۰kV و ۴۰۰kV معادل ۳۸۰V با این است.

الف. ولتاژ توسط مقدار نامی ولتاژ تعیین می شود. بنابراین ما ولتاژ را همان ولتاژ نامی حساب می کنیم.

وجود ترانسفورماتورهای بین درجه ها یکسان است.

$$\text{Base}\begin{cases} V \\ P \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I \\ Z \end{cases}$$

مقادیر این جریان و امپدانس در جاهای مختلف متفاوت می شوند.

یک پرونیت برای آن تعریف شده که توانیم کمیات جریان، ولتاژ و امپدانس را در جاهای مختلف با هم قابل مقایسه کنیم.

مقادیر پرونیت (یا پرونیت) = مقدار واقعی / مقدار پایه = مقدار نسبت به واحد per unit

$$V_{pu} = \frac{V}{V_b}$$

$$I_{pu} = \frac{I}{I_b}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b}$$

$$P_{pu} = \frac{P}{P_b}$$

۱۲ ۲۵

www.tfar.ir

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

$V_b = 230\ kV$

$V = 218.5 \angle 30^\circ \rightarrow V_{pu} = \frac{218.5}{230} \angle 30^\circ = 0.95 \angle 30^\circ$

سیستم تکفاز:

$V_b = kV \quad I_b = kA$ کنار

$\rightarrow S_b$ (انتخابی) $P_b \; Q_b = V_b I_b$: MVA

Base: انتخابی

$S_{pu} = \frac{S}{S_b} = \frac{P + jQ}{S_b} = \frac{P}{S_b} + j\frac{Q}{S_b} \qquad S_{pu} = P_{pu} + jQ_{pu}$

$Z_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{V_b}{\frac{S_b}{V_b}} = \frac{V_b^2}{S_b}$

$V_{pu} = \frac{V}{V_b} = \frac{ZI}{Z_b I_b} = \frac{Z}{Z_b} \cdot \frac{I}{I_b} = Z_{pu} I_{pu}$

$S_{pu} = \frac{S}{S_b} = \frac{VI^*}{V_b I_b} = \frac{V}{V_b} \cdot \frac{I^*}{I_b} = V_{pu} I_{pu}^*$

سیستم سه فازه:

در سیستم سه فاز: ولتاژ خط (همان ولتاژ دو سر خط)

$Z_b = \frac{V_{\varphi_b}^2}{S_{\varphi_b}} = \frac{(\frac{1}{\sqrt{3}} V_b)^2}{\frac{1}{3} S_b} = \frac{V_b^2}{S_b}$ مساله تکفاز

$S_b = \sqrt{3}\, V_b I_b \qquad S_{pu} = \frac{S}{S_b} = \frac{\sqrt{3}\, V I^*}{\sqrt{3}\, V_b I_b} = \frac{V}{V_b} \cdot \frac{I^*}{I_b} = V_{pu} \cdot I_{pu}^*$

مساله تکفاز

$P_{pu} = V_{pu} I_{pu} \cos\varphi$

$Q_{pu} = V_{pu} I_{pu} \sin\varphi$ در حالت پریونیت، $\sqrt{3}$ ها حذف می‌شوند

Ex) یک ژنراتور سنکرون سه‌فاز در یک سیستم

SM	$S_b = 10\ MVA$
8MW	$V_b = 138\ kV$
132 kV	$P = 8MW = \frac{8}{10}\ pu = 0.8\ pu$
0.8 lead	$V = 132\ kV = \frac{132}{138} = 0.956\ pu \angle 0^\circ$

$\cos^{-1} 0.8 = 36.9^\circ$

www.tnar.ir

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

$$P_{pu} = U_{pu} I_{pu} \cos\varphi \qquad I_{pu} = \frac{P_{pu}}{U_{pu}\cos\varphi}$$

$$I_{pu} = \frac{0.8}{0.956 \times 0.8} = 1.046 \angle 36.9^\circ \text{ pu}$$

تغییر مبنا:

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} = \frac{Z}{\frac{V_b^2}{S_b}} = (Z)\frac{S_b}{V_b^2} \quad \text{(Z واقعی)}$$

$$Z_{pu_{new}} = Z_{pu_{old}} \cdot \frac{S_{b_{new}}}{S_{b_{old}}} \cdot \frac{V_{b_{old}}^2}{V_{b_{new}}^2}$$

مثال) روی پلاک ژنراتور مقادیر زیر نوشته شده است:

امپدانس ژنراتور در مبنای خودش چند است؟

250 MVA
21 kV
0.2 pu ← امپدانس در مبنای خودش

$V_b = 20\text{kV} \qquad P_b = 100 \text{ MVA} \qquad X = 0.2 \times \frac{100}{250}\left(\frac{21}{20}\right)^2$

$X = 0.0882 \text{ pu}$

هشدار! هشدار!

اجرای شبکه قدرت:

مسایل مختلف در شبکه‌های الکتریکی عبارتند از (تامین) های شبکه‌ای که در هر دوره‌ها کار می‌کنند) انجام

برای مطالعه اقتصادی

برای اتصال:

اتصال ستاره

اتصال مثلث

اتصال ستاره بدون نول

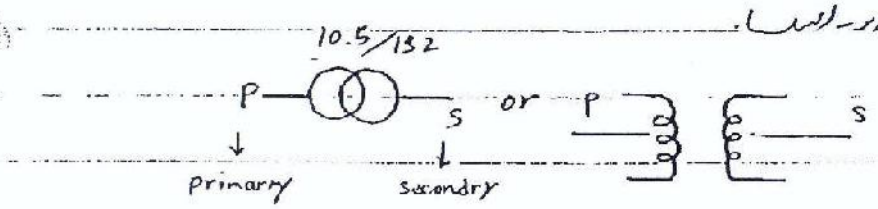
۲۷

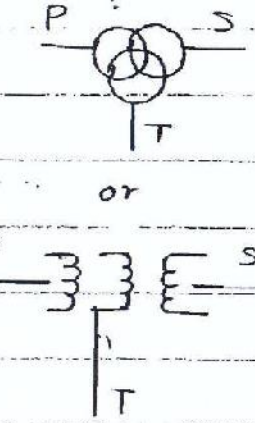
۱۳

۱۴

www.tnar.ir

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

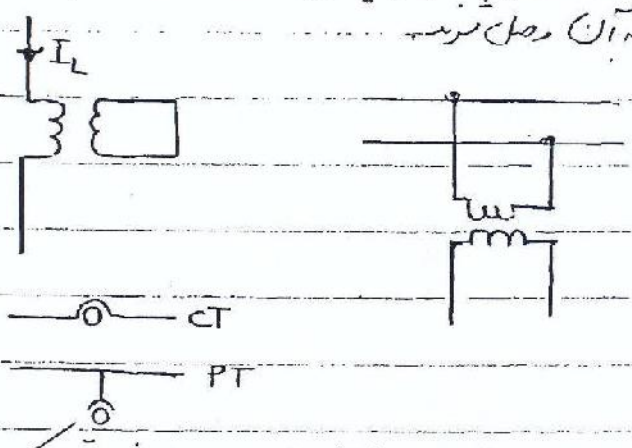




www.ttnar.ir

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

PT حتما باید بعد از سکسیونر باشد. بنابراین باید از جنس اسپلیس باشد (مثل ولتمتر و رله های اسپلیس دار) به آن وصل شوند.



اجزای اصلی پست

• وظیفه کلید قدرت در شرایط عادی و غیرعادی (اتصال کوتاه) قطع و وصل جریان است.

(circuit Breaker) → CB

وظیفه: X

انواع کلیدهای قدرت:

کلید هوا، هوای فشرده، روغنی، SF6 (گازی)

داخلش دیده نمی‌شود.

برای اطمینان از قطع جریان کلید قدرت، ابتدا سکسیونر و سپس کلید قدرت را باز می‌کنیم.

سکسیونر

کلید قدرت جریان خطا را قطع کند ولی سکسیونر نتواند جریان خطا را قطع کند بلکه ممکن است حتی در حالت باز بودن ممکن است جریان خطا را عبور دهد.

بعضی سکسیونرها وجود دارند که می‌توانند جریان بار را قطع کنند ← سکسیونر قابل قطع زیربار

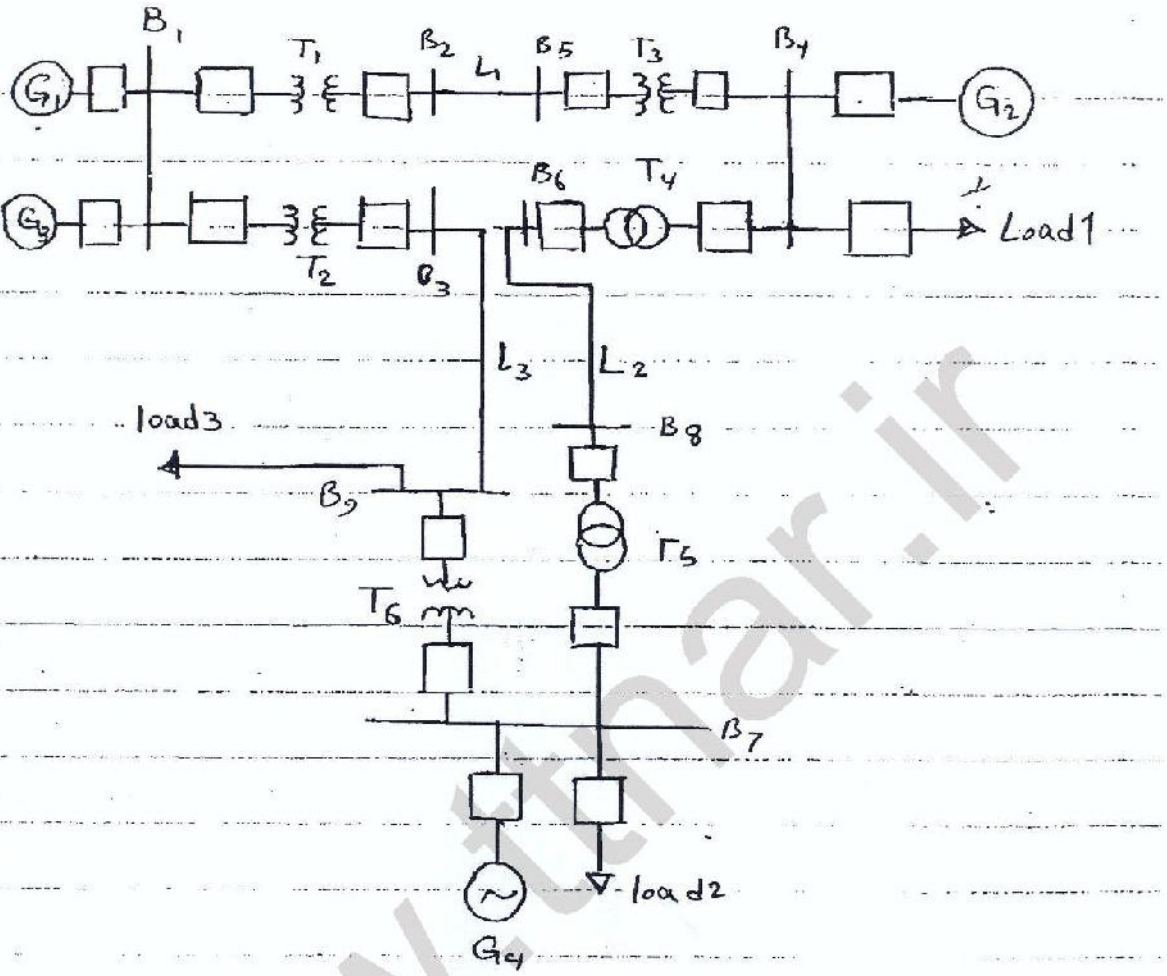
سکسیونر برای ایجاد ایزولاسیون جهت در مواقع تعمیرات استفاده می‌شود.

فیوز ← هم نقش رله و هم نقش کلید (در ولتاژهای پایین استفاده می‌شود.)

اگر این جریان ← می‌سوزد ← جریان را قطع می‌کند.

استانداردها: DIN, VDE, IEC, BS, IEEE, IEE

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

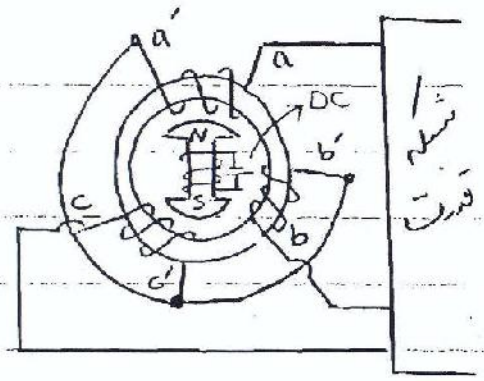


www.tinar.ir

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

جلسه ۷

(۷) ۸۶/۶/۲۲



اختلاف فاز min و max در هر سیم پیچی ۱۸۰° و اختلاف فاز دو max در دو سیم پیچ برابر ۱۲۰° است.

با چرخش روتور، یک میدان گردان در فاصله هوایی ایجاد می‌شود.

اگر بخواهیم با این سه سیم پیچ بدون روتور، وصل کنیم، باز هم در فاصله هوایی یک میدان گردان ایجاد می‌شود که دور این میدان برابر $n = \frac{60f}{P}$ خواهد بود.

f ← فرکانس ولتاژ اعمالی به سیم پیچ‌های استاتور

P ← تعداد قطب

(Ex. ۳ سیم پیچ ↔ یک تعداد قطب)

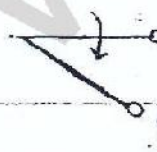
$f = 50\,Hz \longrightarrow n = 3000 \frac{rpm}{min}$

روتور به دنبال آهن‌ربای گردان می‌چرخد ← انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود.

(میدان روتور محرک به دنبال میدان استاتور) ← موتور

← قدرت از استاتور به روتور منتقل می‌شود ← نحوه‌ی اتصال قدرت، تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی است.

! هر دو میدان در یک سرعت حرکت می‌کنند.



میدان استاتور به دنبال میدان روتور

(میدان روتور حاوی از میدان استاتور)

↓

روتور

(اتصال مدیریت از روتور به استاتور ← تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی)

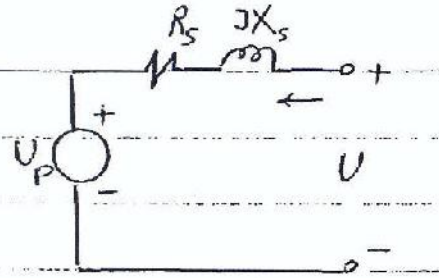
۳۱

۱۸

۱۲

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

مدل مداری این ماشین معمولاً شبیه به شکل زیر است:



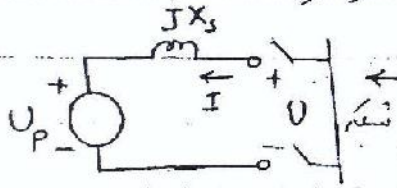
ولتاژ القایی یک فاز استاتور ← U_p

مقاومت سیم‌پیچ استاتور ← R_s

ولتاژ ترمینال ماشین ← U

$R_s \ll X_s$ ← $R_s \simeq 0.1 X_s$ ← (در ماشین‌های سنکرون) در ماشین‌های بالا

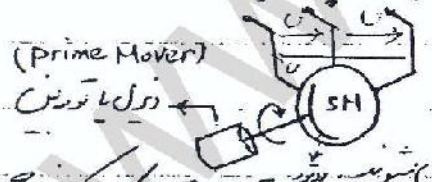
در ماشین‌های بالا R_s در مقابل X_s صرف نظر می‌کنیم (اما در موتورهای دائمه‌ی فرکانس (سرعت) باید چون ضعیف است غالباً اهمی است، نمی‌توان از R_s صرف نظر کرد.



فرکانس‌های بالا (سرعت‌های بالا) ← شبکه

رسم دیاگرام فازوری حالات مختلف کار ماشین:

شبکه



ماشین

شرط وصل کلیدها:

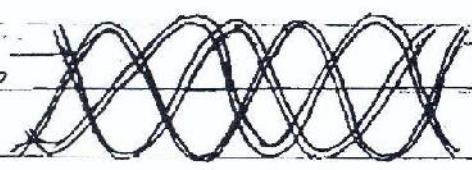
۱- مقادیر لحظه‌ای ولتاژ دو سر کلید باهم، هم فرکانس شوند.

۲- عدم وجود اختلاف فاز بین ولتاژهای ماشین و شبکه.

۳- قدر مطلق ولتاژها با هم برابر باشند.

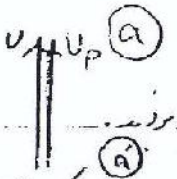
۴- ترتیب فازهای یکسان.

دامنه ولتاژ ماشین را با جریان تحریک به وسیله‌ی تنظیم می‌کنند که برابر با ولتاژ شبکه شود.



www.tiran.ir

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

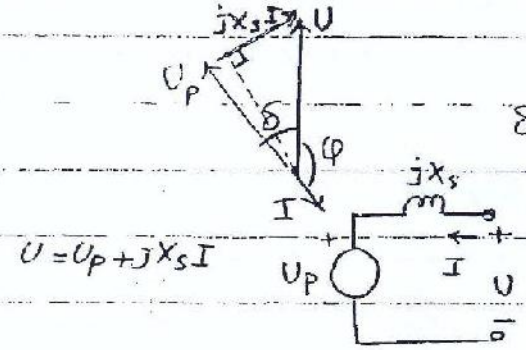


... این شرایط تنها در لحظه اتصال ماشین به شبکه برقرار است. ← نه مبادل اکتیو و نه مبادل راکتیو داریم.

لحظه سنکرون کردن (یا موازی کردن) ماشین با شبکه

بعد از لحظه اتصال:

مثلاً اگر بخواهیم ماشین به صورت ژنراتور کار کند، قدرت شبکه را توسط PM به روتور می‌دهیم و در واقع ماشین را به حرکت درمی‌آوریم.



$\delta \rightarrow$ زاویه بار

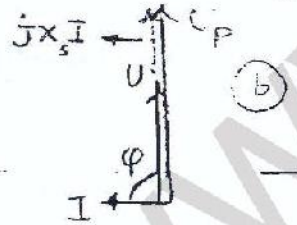
Gen & Self

مدار حالت کار ژنراتوری و موتوری

سلفی دارد (I نسبت به U عقب است)

← ماشین در حال تولید توان اکتیو و مصرف توان راکتیو است.

اگر جریان تحریک را کم کنیم (شار N-S کم شود) ← U_p کمتر از U



← دامنه دیاگرام الکتریکی بدون تغییر فاز کوچک می‌شود.

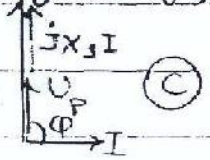
مبادل توان اکتیو ماشین صفر است (چون هنوز وصل نشده)

اما ماشین دارای جریان است و جریان نسبت به ولتاژ پس فاز دارد.

← در تحریک اضافی، ماشین به صورت خازن عمل می‌کند (تولید کننده توان راکتیو)

(خازن کاربردی)

اگر حال اگر E_{dc} را کم کنیم (دامنه E کاهش و U_p کمتر از U)



مبادل توان اکتیو با شبکه نداریم ← نه ژنراتور و نه موتور

اما مبادل توان راکتیو داریم.

lag

← در تحریک اضافی، ماشین به صورت سلف عمل می‌کند.

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

● بدون هیچ حالت کار a و b و c که ماشین تبادل توان راکتیو ندارد و نمی‌تواند این حالات کار را داشته باشد.

در اثر تغییر جریان تحریک به وجود می‌آید ← حالت کار کانپساتوری (Conpensator) گویند.

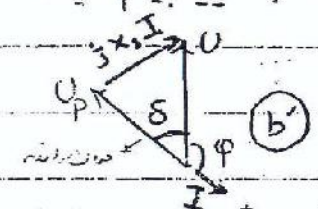
(بدون تغییر قدرت)

ماشینی که وظیفه‌اش تنها تولید یا مصرف توان راکتیو است، کانپساتور نامیده می‌شود.

(جبران‌کننده)

در مورد رودخانه تنها کانپساتور نیاز داریم.

● حال اگر قدرت مکانیکی را از طرف prime Mover زیاد کنیم (تغییر جریان تحریک)

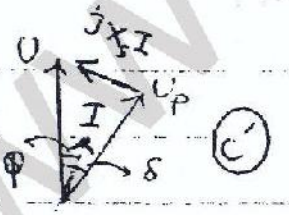


← U_P جلو می‌افتد (E_f جلو) ← حالت ژنراتوری

جریان نسبت به ولتاژ پسفاز ← حالت سلفی

● اگر قدرت خیلی زیاد شود (بیش از ۹۰° درجه توری) آن‌گاه قدرت پایدار شده و U_P جلو افتاده و جریان هم جلو می‌افتد (قدرت سنکرون‌یزم از دست می‌رود و ماشین خارج می‌شود.)

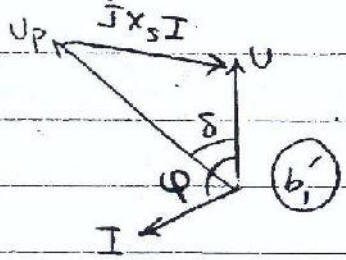
چون در این حالت به اتصال کوتاه بدون جریان در این اتصال کوتاه می‌افتد، قدرت نیز نداریم پس ماشین از حالت سنکرون خارج می‌شود.



● حال اگر قدرت را کم کنیم ←

حالت کار موتوری و سلفی

(مصرف‌کننده توان راکتیو و راکتو)



● اگر در حالت b (ژنراتوری) تحریک را اضافه کنیم:

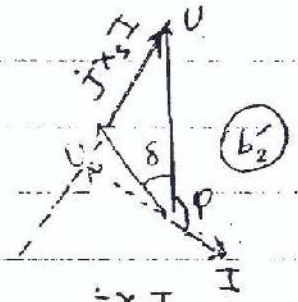
← اندازه U_P زیاد می‌شود ← جریان نسبت به ولتاژ پیش‌فاز می‌شود.

← حالت کار خازنی

← تولیدکننده توان راکتیو

www.tinar.ir

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



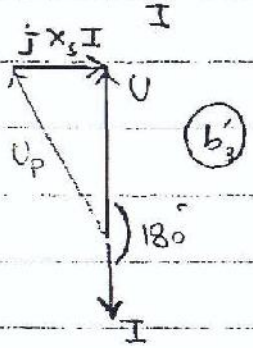
اگر در حالت (b) (ژنراتوری) تحریک را کم کنیم:

شبیه سلفی.

Gen. & Ind.

(b_2 گاز است ~ b، سلفی تر است.)

$U_{P_{b_2}} > U_{P_{b_1}}$ ، $\sin\varphi_{b_2} > \sin\varphi_{b_1}$



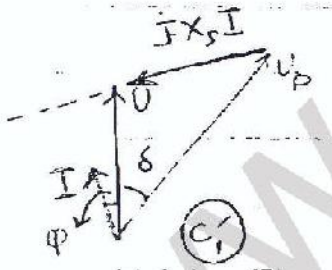
Gen. & اهمی Ohmic.

ژنراتوری خالص ← $\cos\varphi = -1$

(توان راکتیو تولید یا مصرف نمی شود.)

با اندازه U_P از U بیشتر است ← توان راکتیو تولید می شود.

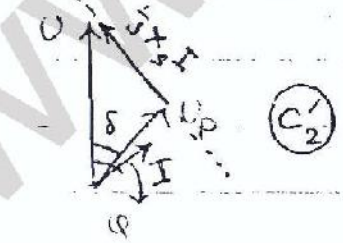
ولی این توان در داخل ماشین مصرف شده و چیزی از آن به شبکه نمی رسد. ← نه سلفی و نه خازنی



اگر در حالت (c) (موتوری) تحریک را اضافه کنیم

خازنی ←

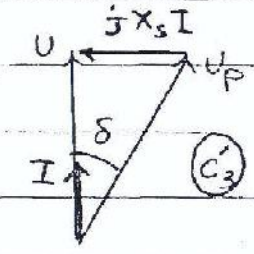
Mot. & Cap.



اگر در حالت (c) (موتوری) تحریک را کم کنیم

سلفی ←

Mot. & Ind.



حالت کار موتور ← $\cos\varphi = 1$ ← $\varphi = 0$

واحدی $\sin\varphi = 0$

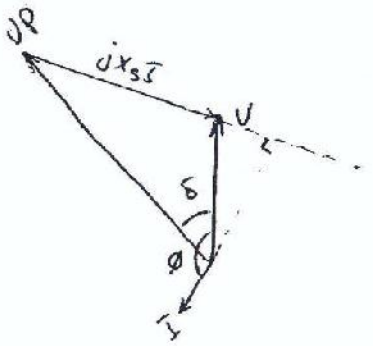
توان راکتیو هم بسیار خالص مبادله می شود.

www.ttnar.ir

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

بارداتوری و خازنی :

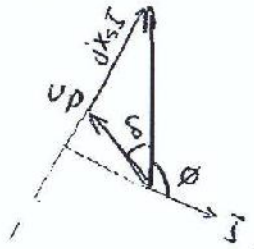
(cap.)



b'_1

بارداتوری و سلفی :

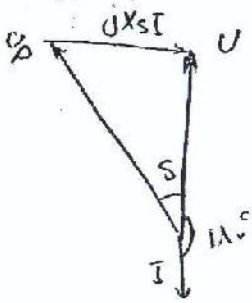
(ind.)



b'_2

b'_2 از b' سلفی تر داند کشیده تر است :

بارداتوری خالص و اهمی :

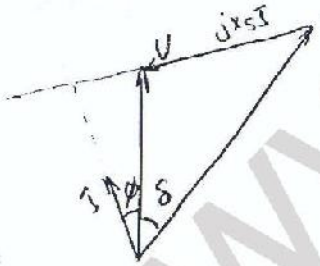


b'_3

توان راکتیو تولید یا جذب نمی شود

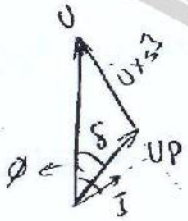
U_p هم اندازه از U است توان راکتیو تولیدی نمی شود

که جذبی می شود به خود راکتور حاصل : jX_s



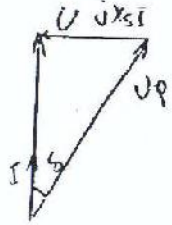
c'_1

خودتوری و خازنی (cap)



c'_2

خودتوری و اندراکتیو



c'_3

خودتوری و اهمی

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

۸۶/۷/۲۴

Lecture 8 2006

جلسه ۸ بررسی

مدل ژنراتور:

ماشین را باید از ۲ جهت در نظر بگیریم ← توان اکتیو ← ژنراتور و موتور

توان راکتیو ← سلفی و خازنی

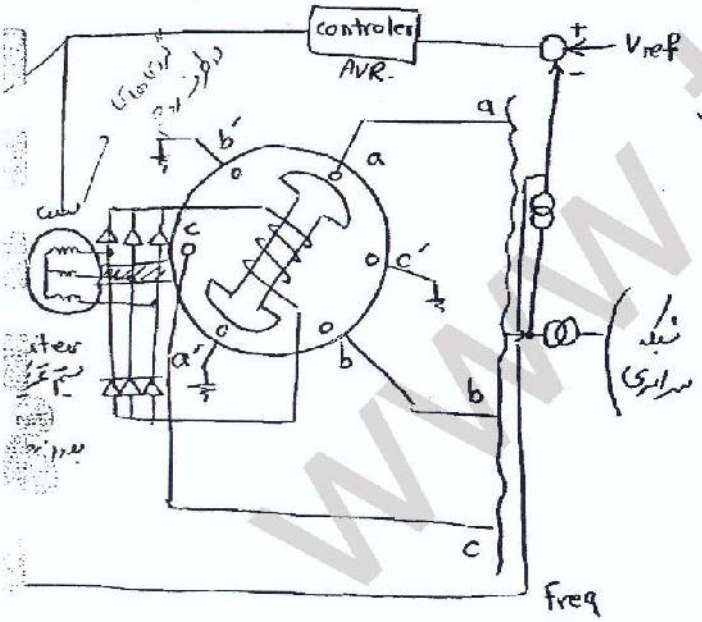
پس باید دو حلقه کنترلی داشته باشیم که یکی توان اکتیو و یکی توان راکتیو را کنترل کند

رله reverse power بخار وارد سوپر هیت قطع می کند وقتی بخار وارد می شود ژنراتور vent می کند

وقتی بخار وارد می شود بخار را می فرستد به هوا توربین در این حالت باید به صورت موتوری بگردد

توربین بخار ذاتی می شود

از نظر ماشین ژنراتور می تواند به صورت موتور کار کند ولی یک شیر گاه نمی تواند



روب کنترل توان اکتیو ← روی بخار

" " راکتیو ← روی جریان تحریک

Exciter ← بازژنراتور هم محدودیت

میدژنراتور، ماشین dc بدون جاروبک

حوتوان ولتاژ dc تحریک را کنترل کرد

Up را تغییر داد توان راکتیو با تغییر Up تغییر می کند.

ترانسفورماتور کاهنده که به کنترلر می برد PT یا CVT یک ولتاژ ref تأمین می کند

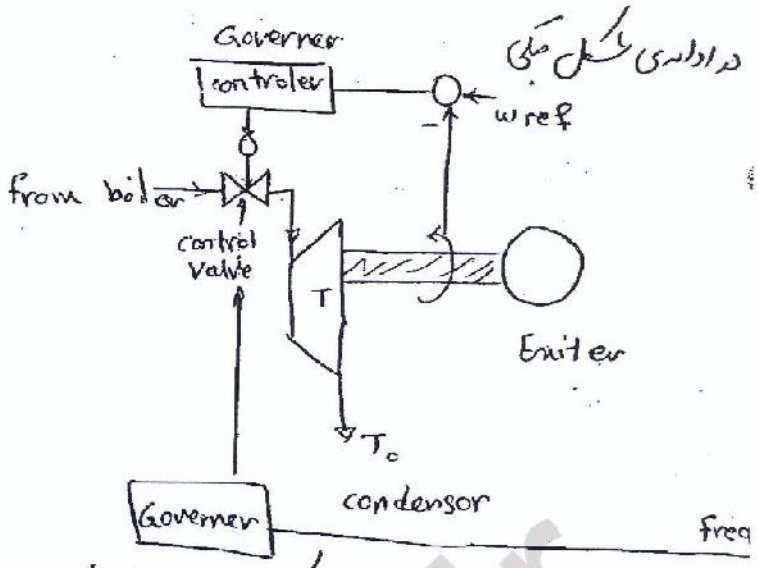
اگر بیشتر از Vref ← به کنترلر ← Up کم ← ولتاژ خروجی کم می شود

به این شکل می گوییم: Automatic voltage regulator (حلقه کنترل ولتاژ-توان)

www.tnar.ir

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

Automatic load-frequency control (ALFC)



در اداری شکل ملکی

shaft حسته

توربین، Exciter، کنار آورد همه روی یک

دی خار، ورودی باید کنترل شود

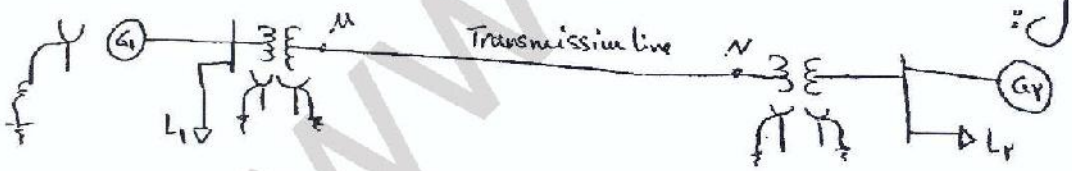
چرا فرکانس در شبکه زیاد است؟ بیشتر بار حوتوری است توانی که موتور مصرف می‌کند Tm است اگر در آ

باعث فرکانس کم شود توان مصرفی کم می‌شود.

تکلیف: جلوی کار واحد بخاری، آبی، بادی، سیکل ترکیبی، هسته‌ای، بادی در طی یک مقاله

تشریح نمایید؟ (فارسی) تا شنبه 15 آبان

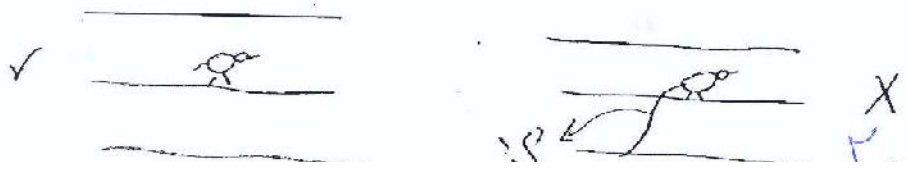
پارامترهای خط انتقال:



ژنراتورها یا زمین می‌شوند یا نمی‌شوند با بوبین رکتی می‌شوند یا solid زمین می‌شوند.

خط انتقال ← وسیله‌ای برای انتقال قدرت الکتریکی از تولید به مصرف برای کاهش تلفات تحت

دنا از فلزی با هادی تر سطح های بدون روپوش (Bare conductor) (روی دکل ها)



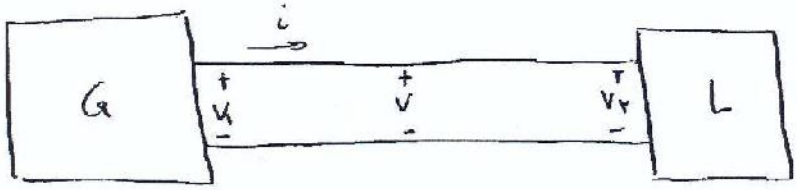
19

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

افزایش ولتاژ ← کاهش جریان ← کاهش افت ولتاژ

تحت تداوم ثابت ← کاهش تلفات

افزایش ظرفیت انتقال



اگر $|V_1| = |V_2| = |V|$

$$P_{loss} = R_s \frac{P_r^2 + Q_r^2}{|V|^2}$$

$$Z_s = R_s + jX_s$$

P, Q = قدرت انتقالی از خط انتقال

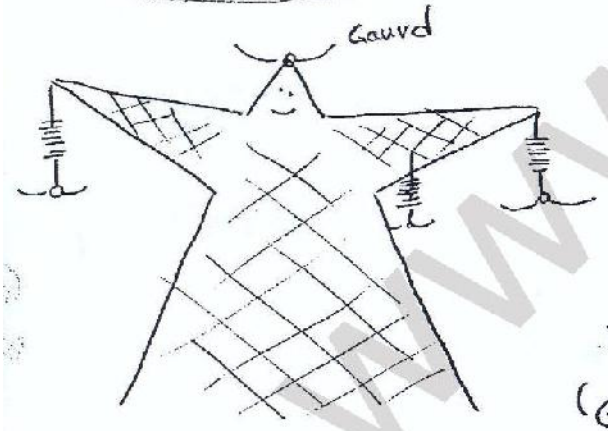
با مجذور ولتاژ تلفات و Q متعدی خط کاهش می یابد

$$Q_{loss} = X_s \frac{P_r^2 + Q_r^2}{|V|^2}$$

دو رابطه مهم است

افزایش ولتاژ ← بزرگ شدن شکل

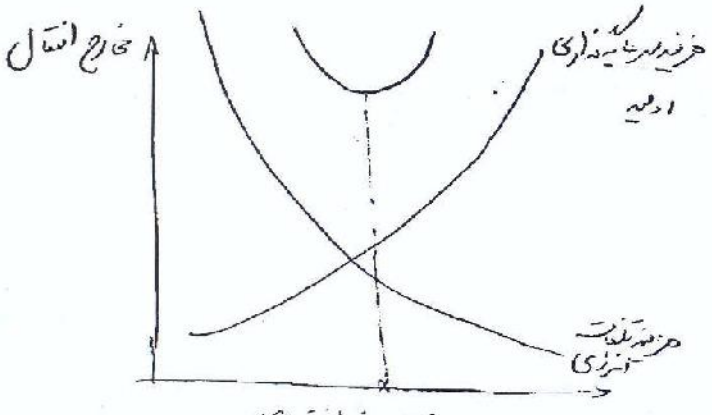
← هزینه زیادی دارد



(شکل یا برج)

هزینه ادوات: حفره خاک، شکل ها

هادی ها ← سیم زمین و ...



با افزایش طول هادی ولتاژ بهینه ی اقتصادی

افزایش می یابد

برای کشورها ۴۰۰ kV

www.ttnat.ir

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

پارامترهای خط انتقال:

S/km	conductance
F/km	capacitance
H/km	Reactance
Ω/km	Resistance

هدایت: ناشی از جریان مشی بین هادی ها و کل هاست که بستگی به شرایط جوی دارد و معمولاً قابل صرفنظر است.

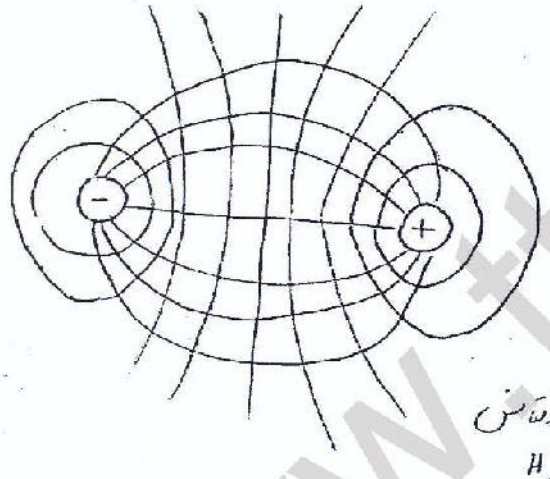
conductance

ثبت: بین هادی ها و هادی ها، هادی ها و زمین. کل معمولاً زمین است.

برای شارژ شدن دادن تلفات از هدایت برای مدل کردن استفاده می شود.

خازنی: ناشی از تغییر شارژ الکتریکی است که باعث تغییر جریان است در هادی

Reactance : با یکدیگر تفاوت دارند اما ناشی از تغییر شار به خاطر تغییر جریان است در هادی



همچون خطوط نیروی میدان الکتریکی

میدان مغناطیسی

دور هادی ها داریم

$$L = \frac{V}{\frac{di}{dt}} = \frac{\frac{d\phi}{dt}}{\frac{di}{dt}}$$

اندوکتانس H/km

capacitance : بین هر دو هادی پدیده ای بنام ظرفیت یا وجود دارد که برابر است با ظرفیت الکتریکی بین دو هادی به اختلاف ولتاژ بین دو هادی ثبت (F/km) هرچه ولتاژ بیشتر ظرفیت کمتر

Resistance : عبور جریان از خط تلفات ایجاد می کند برای مدل سازی این تلفات یک مقاومت سری برای خط در نظر می گیرند با واحد Ω/km این مقاومت با اندازه گیری مقاومت سیم مشخص است

$R = \frac{P}{I^2}$ یا در این جا $R = \frac{\rho L}{S}$

بیشتر از اندازه گیری است

→ skin effect

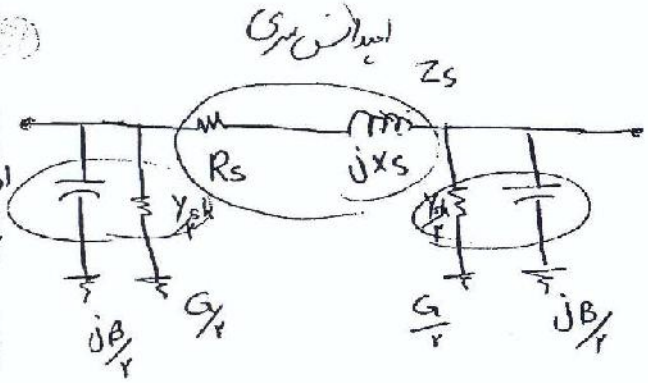
www.ttnar.ir

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

اندوکتانس و اثر خازنی موجب کاهش سطح مقطع موثر عبور جریان می شود

تعریف: اندوکتانس چیست؟ چرا در AC ظاهر می شود

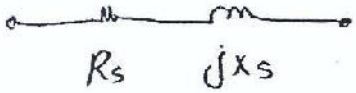
اثر خازنی چیست؟



مدار معادل تک خطه:
یک فاز

پارامترها را محاسبه می کنیم
یکی مصرف کرده است

خط < 80km ⟸ خط کوتاه ⟸ فقط امپدانس سری را در نظر می گیریم.



اگر 80km < l < 200km : از مدل پارامتر استفاده می کنیم گاهی G را در نظر می گیریم ولی در نظر نمی گیریم
یا 250

(خط متوسط)

اگر l > 200 یا 250 ⟸ خط بلند ⟸ در خط بلند پارامترها به صورت گسترده در نظر گرفته می شوند

www.ttnar.ir

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

هادی های خط انتقال :

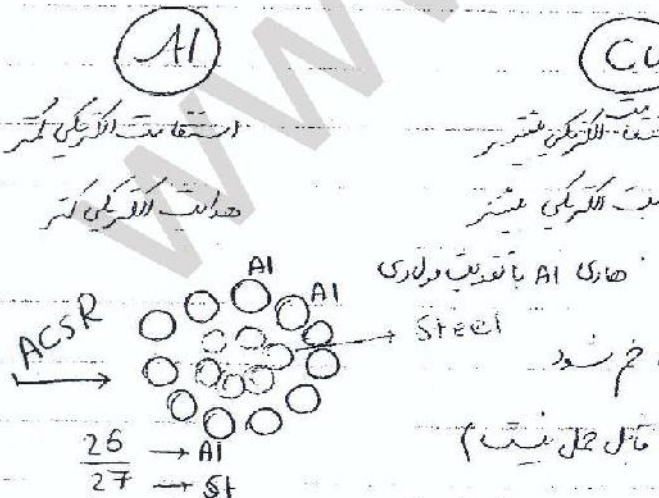
خط انتقال ۴ پارامتر دارد . ۱) مقاومت سری ۲) اندوکتانس سری
۳) رسانائی ۴) Shant Capacitance

انتقال
جهت وزن کم و قیمت کمتر برای قدرت الکتریکی عموماً بجای مس از Al استفاده می شود

اما مقاومت ویژه Al خیلی بیشتر از مس است = قطر هادی های Al از مس بیشتر است

AAC : All Alminium Conductor
AAAC : All Alminium Alloy Conductor
ACSR : Alminium Conductor Steel Rainforced
ACAR : Alminium Conductor Aloy Rainforced

استقامت مکانیکی Al ، هدایت آن بسیار کمتر از مس



چند فولاد را شته ای می سازند تا خم شود
و بتوان در قرقره پیچید . (rod مثل چل بیشتر)

○ : اضافه کردن این رشته های St هدایت الکتریکی آن از Cu هم بیشتر می شود

○ حجم بیشتر هادی Al سبب می شود که تلفات الکتریکی (میدان الکتریکی) در سطح آن کمتر از Cu باشد

www.tnar.ir

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

کم بودن تنش الکتریکی ← تخلیه ظرفی در سطح خارجی هادی کمتر ← تلفات کمتر

Corona ↓

علاوه بر هادی های قدرت یک هادی دیگر هم به کل وصل می شود ← Gaurd
برای جلوگیری از صاعقه، از جنس فولاد به قطر 70 mm تا استقامت مکانیکی اش بالا رود
گالوانیزه ← رنگ نرن

اما هادی های فشار ضعیف از جنس مس اند چون هم فاصله کوتاه است و علیرغم نازک بودن پاره نمی شکند

هادی هایی مختلف که در سطح توزیع استفاده می شود 16 ، 25 ، 35 ، 50 ، 60 ، 75 mm^2
↓
در شهرها

فولاد مقاومتش خیلی زیاد است ولی به دلیل اثر پوستی جریان از قسمت مرکزی هادی عبور نمی کند ← مقاومت آن بی تأثیر است.
← مقاومت فولاد در محاسبات وارد نمی شود

مقاطع هادی های فشار ضعیف ← mm^2

هادی های انتقال ← Circular Mil - Cm ← سطح دایره ای به قطر 1mil
↓
10^{-3} inch

20 kv
- Fox: 72000 cm = 36.48 mm^2 → d = 6.8 m
- Mink: 124000 cm = 62.8 mm^2 → d = 8.94 m
- Dog: 202000 cm = 102 mm^2 → d = 11.4 m

63 kv → Links: 36400 cm = 184.43 mm^2 → d = 15.3 m

در 20kv چون جریان ثابت است ← جریان کمتر ← قطر تست ← 63 kv گرانتر

www.ttnar.ir

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

مقاومت خطوط انتقال:

$$R_{DC} = \frac{\rho l}{A}$$

$$R_{AC} = \frac{\text{تلفات قدرت در هادی}}{I_{rms}^{2}}$$

سطح مقطع مؤثر < سطح مقطع مؤثر

$AC < DC$

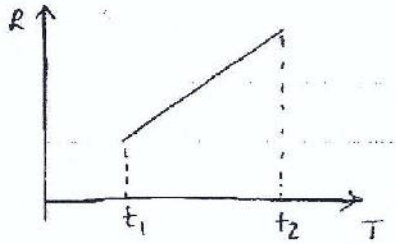
- مثلاً به دلیل Skin effect که جریان را به سمت بیرون هدایت می‌کند
- و به دلیل اثر هم‌آیگی که جریان را به اطراف پراکنده می‌کند

$$R_{AC} > R_{DC} \quad \text{یا} =$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{E + t_2}{T + t_1}$$

t_1: دمای اولیه — t_2: دمای ثانویه

$$\begin{cases} T_{Cu} = 241 \\ T_{Al} = 228 \end{cases}$$



$$R_2 = R_1 \left[1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1) \right]$$

α: ضریب حرارتی هادی

$$\alpha_{Al} = 0.0039$$

در مناطق شرجی به علت رطوبت و احتمال زنگ زدگی از ACSR استفاده نمی‌شود یا از آلیاژ Al و Cu استفاده می‌شود (استفاده کمتر از Cu و Al خالص) برجهای span - را گذباه می‌کنند یا از ترکیب دیگر Al

جریان گذرنده از هادی محدود است $\Rightarrow$ جریان مجاز

یکی از عوامل محدودیت $\Rightarrow$ درجه حرارت

درجه حرارت هم ناشی از مجاز است هم عبور جریان

$$T\uparrow \rightarrow R\uparrow \Rightarrow I\downarrow$$

فیدبک منفی

www.ttnar.ir

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

Thermal Rating = حرارتی که اگر از هادی عبور کند هادی گرم شده بدون تجاوز از قطع حرارتی

بیشترین جریان مجاز حرارتی

برای هادی استفاده از مکانیکی هادی حفظ شده باشد

در ولتاژ های پایین افت ولتاژ مقطع هادی را تعیین می کند [چون Thermal Rating

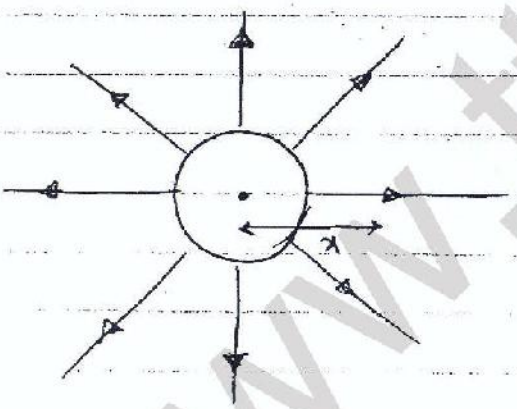
خیلی بالاست مقطع را تعیین می کند] در ولتاژ های بالا Corona تعیین کننده مقطع

هادی است : هرچه مقطع ↓ = مقاومت الکتریکی ↑ = تخلیه خرابی الکتریکی از سطح هادی ↑

Corona

در فشار های قوی علاوه بر گرمایش Zone 3 Distance Relay هم در تعیین سطح

مقطع هادی تعیین کننده است.



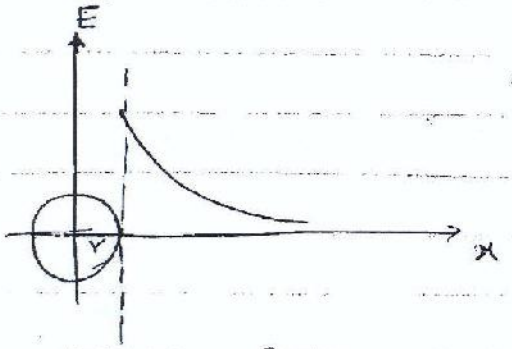
Corona

D : جگالی شار الکتریکی

$$\oint D\,ds = q \quad \Rightarrow \quad D = \frac{q}{2\pi x}$$

$$D \oint ds = q \qquad E = \frac{D}{k} = \frac{q}{2\pi k x} \ \text{V/m}$$

شیب پتانسیل الکتریکی : سطح خارجی هادی



$$E_{max} = \frac{q}{2\pi r r}$$

تخلیه خرابی در سطح خارجی هادی ⇐ $E \uparrow \Rightarrow V \uparrow$

اتلاف توانی، حرارتی، صدایی

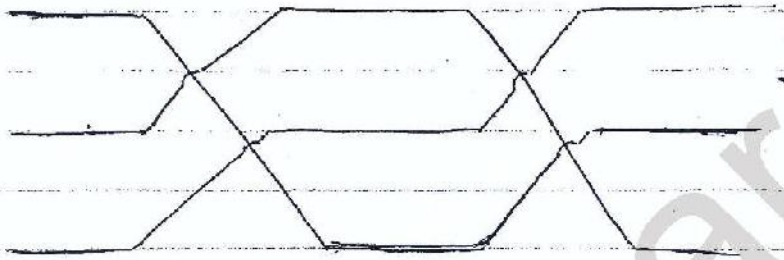
تولید ازن، نور، رادیویی

www.ttnar.ir

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

در این حالت اندوکتانس های متقابل باهم متفاوت است ⇐ سیستم 3 فازاز نظر الکتریکی متقارن نیست ⇐ در انتها RST ها متقارن نیست

حل این مشکل ⇐ جای هادی ها را در طول خط در فواصل معین جابجا میکنیم.



Transposition ⇐ جابجایی منظم هادی ها در فواصل یک

⇐ در آخر خط اندوکتانس 3 فاز باهم برابر می شود ⇐ سیستم از نظر الکتریکی متقارن می شود

اندوکتانس خطوط انتقال ⇐

سبب ولتاژ القا شده ناشی از تغییر شار پیوندی با تغییر جریان ⇐ اندوکتانس هادی

$$e = \frac{d\lambda}{dt} \qquad \lambda = Li$$

$$L = \frac{\frac{d\lambda}{dt}}{\frac{di}{dt}} \qquad \underline{V} = jw\underline{\lambda}$$

$$\underline{V} = jwL\underline{I}$$

علاوه بر میدان بیرونی در داخل هادی هم میدان داریم ⇐ اندوکتانس داخلی در مورد هادی تعریف می شود

Internal Inductance

میزان محصور شده در شعاع x از هادی $I_x = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} I = \frac{x^2}{r^2} I$

www.tnar.ir

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

$$\int H_x \cdot dl = I_x \quad , \quad H_x 2\pi x = I_x$$

H_x: شدت میدان مغناطیسی در مسیر دایره‌ای به شعاع x

$$\Rightarrow H_x = \frac{x}{2\pi r^2} I$$

$$B_x = \mu H_x = \mu \frac{xI}{2\pi r^2}$$

چگالی شار مغناطیسی در فضای بین صفر تا x از مرکز دایره

$$d\Phi = \frac{\mu x I}{2\pi r^2} \cdot dx \times 1 \quad \left(\frac{wb}{m}\right)$$

متغیر ارتفاع

$$d\lambda = N\, d\Phi = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} d\Phi = \frac{\mu x^3 I}{2\pi r^4} dx \quad \left(\frac{wb.t}{m}\right)$$

N: تعداد حریان

$$\Psi_{internal} = \int_{x=0}^{r} d\lambda = \frac{\mu}{8\pi} I$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \qquad \mu_r = 1$$

$$\Rightarrow \Psi_{int} = \frac{\mu_0}{8\pi} I = \frac{4\pi \times 10^{-7}\ H/m}{8\pi} I = 0.5 \times 10^{-7} I$$

$$= LI$$

$$\Rightarrow L_{internal} = 0.5 \times 10^{-7} = 0.05 \frac{nH}{m}$$

اندوکتانس داخلی هادی مقطع دایره‌ای ثابت و برابر $\frac{0.05\ nH}{m}$ است و بستگی به جنس هادی ندارد و بستگی به طول دارد.

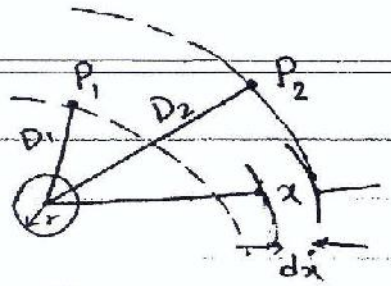
جلسه ۱۰ از ۸

اندوکتانس خارجی هادی:

اندوکتانس داخلی قطعه سیمی به طول 1 متر $L_{in} = 0.05\ nH/m$ بنابراین بستگی به جنس سیم ندارد

www.ttnar.ir

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



$$\oint H \cdot dl = I$$

می‌خواهیم شدت میدان مغناطیسی در فاصله x از مرکزها را پیدا کنیم.

$$H_x \oint dl = I \quad \Rightarrow \quad H_x = \frac{I}{2\pi x}$$

$$B_x = \frac{MI}{2\pi x} \quad wb/m^2$$

$$d\Phi_x = \frac{MI}{2\pi x} \times dx \times 1 \quad \frac{wb}{m} \Rightarrow \Phi_x = \frac{MI}{2\pi x} \quad wb/m$$

↓ راه‌حل اول

$$d\lambda = 1 \times d\Phi = \frac{MI}{2\pi x} \quad \frac{wb}{m}$$

می‌خواهیم شار بین نقاط P_1 و P_2 را تعیین کنیم.

$$\Psi_{P_1-P_2} = \int_{D_1}^{D_2} d\Phi = \int_{D_1}^{D_2} \frac{MI}{2\pi x} dx = \frac{MI}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad \frac{wb.t}{m}$$

$$\Psi_{12} = 2 \times 10^{-7} I \ln \frac{D_2}{D_1} \quad \frac{wb.t}{m}$$

External

$$L_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad \frac{H}{m}$$

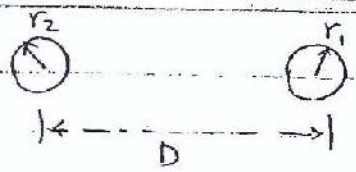
اندوکتانس خط تکفاز دوسیم:

حال از نتایج L_{ext} ، L_{int} اندوکتانس کل خط را محاسبه می‌کنیم.

خط تکفاز دوسیم ← جریانها دقیقاً در خلاف جهت یکدیگر

www.ttnar.ir

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



هادی‌های توپر

شار دور مدار داخل عبوری از هادی 1:

$$L_1 = L_{1ext} + L_{1in} \quad (H/m)$$

$$\Rightarrow L_1 = 2\times10^{-7} \ln\frac{D}{r_1} + \frac{10^{-7}}{2}$$

اندوکتانس هادی 1 در اثر شار محصور بین این هادی تا هادی دیگر ناشی از عبور جریان در هادی 1

اندوکتانس کل مدار ناشی از عبور جریان در هادی 1

$$L_1 = \left(\frac{1}{2} + 2\ln\frac{D}{r_1}\right)10^{-7} = 2\times10^{-7}\left(\frac{1}{4} + \ln\frac{D}{r_1}\right) = 2\times10^{-7}\left(\ln e^{1/4} + \ln\frac{D}{r_1}\right)$$

$$= 2\times10^{-7}\left(\ln\frac{D}{e^{-1/4} r_1}\right) = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{0.7788\, r_1}$$

r_1'

$$\boxed{L_1 = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r_1'}\ \frac{H}{m}}$$

$$e^{-1/4} r_1 = 0.7788\, r_1 = r_1'$$

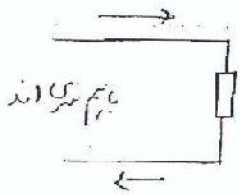
شعاع متوسط هندسی هادی توپر $r' = e^{-1/4} r = 0.7788 r$

Geometric Mean Radious

(G.M.R)

$$L_2 = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r_2'} \quad H/m \qquad r_2' = 0.7788\, r_2$$

اندوکتانس کل مدار ناشی از عبور جریان در هادی 2



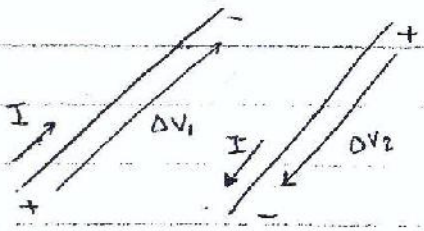
$$L = L_1 + L_2 = 2\times10^{-7}\left[\ln\frac{D}{r_1'} + \ln\frac{D}{r_2'}\right] H/m$$

$$L = 4\cdot10^{-7}\ln\frac{D}{\sqrt{r_1' r_2'}} \quad H/m \quad (4)$$

$r_1 = r_2 = r$

www.itnar.ir

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



$$\Delta V_1 = j\omega L_{11} I - j\omega L_{12} I$$

$$\Delta V_2 = j\omega L_{22} I - j\omega L_{21} I$$

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$= j\omega (L_{11} + L_{22} - 2L_{12}) I$$

$$\Delta V = -j\omega L I$$

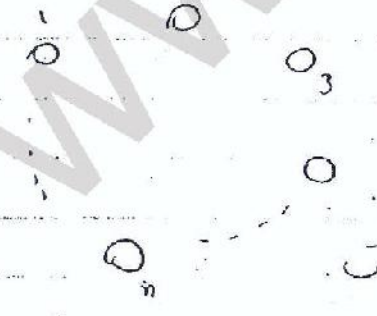
Circuit سری ⟶ $L = L_{11} + L_{22} - 2L_{12}$

$$* \quad L = 2\times10^{-7} \left[\ln\frac{1}{r_1'} + \ln\frac{1}{r_2'} - 2\ln\frac{1}{D} \right] \ H/m$$

$$L_{11} = 2\times10^{-7} \ln\frac{1}{r_1'} \qquad L_{22} = 2\times10^{-7} \ln\frac{1}{r_2'}$$

$$L_{12} = L_{21} = 2\times10^{-7} \ln\frac{1}{D}$$

شار در یک هادی که درون گروهی از هادی ها قرار دارد:



$$\sum I_n = 0$$

سه فاز متعادل
$I_a + I_b + I_c + I_N = 0$

در هر مقطع در هر لحظه مجموع جریان هادی ها صفر است.

Ψ_{IP_1} : شار در فاصله P ناشی از جریان هادی 1 از هادی 1 تا نقطه P

$$\Psi_{IP_1} = \frac{1}{2}\times10^{-7} I_1 + 2\times10^{-7} I_1 \ln\frac{D_{1P}}{r_1'} = 2\times10^{-7} I_1 \ln\frac{D_{1P}}{r_1'}$$

Ψ_{IP_2} : // // جریان هادی 2 // //

www.ttnar.ir

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

شار در سیم های 1 تا n ناشی از همه سیم های

$$= 2\times10^{-7}\left(I_1 \ln \frac{D_{1P}}{r_1'} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{12}} + \cdots + I_n \ln \frac{D_{nP}}{D_{1n}} \right)$$

$$= 2\times10^{-7}\left(I_1 \ln \frac{1}{r_1'} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + \cdots + I_n \ln \frac{1}{D_{1n}} \right.$$

$$\left. + I_1 \ln D_{1P} + I_2 \ln D_{2P} + \cdots + I_n \ln D_{nP} \right)$$

$$\sum_i I_i = 0 \Rightarrow I_n = -I_1 - I_2 - \cdots - I_{n-1}$$

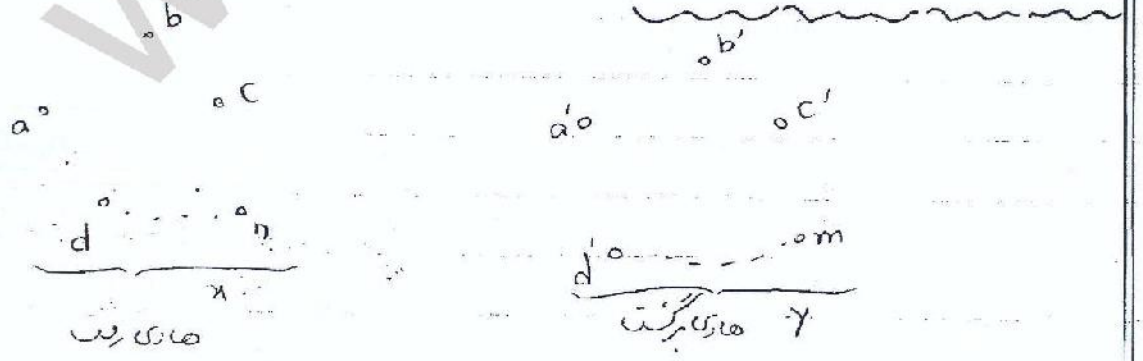
$$\Rightarrow \Psi_{1P} = 2\times10^{-7}\left(I_1 \ln \frac{1}{r_1'} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + \cdots + I_n \ln \frac{1}{D_{1n}} \right.$$

$$\left. + I_1 \ln \frac{D_{1P}}{D_{nP}} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{nP}} + \cdots + I_{n-1} \ln \frac{D_{n-1,P}}{D_{nP}} \right)$$

$$\xrightarrow{P\to\infty} \Psi_1 = 2\times10^{-7}\left(I_1 \ln \frac{1}{r_1'} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + \cdots + I_n \ln \frac{1}{D_{1n}} \right)$$

شار در سیم 1 ناشی از تمام جریان های دیگر

اندرکنش خطوط با هادی های مرکب:



جریان هر هادی راست $= \frac{I}{n}$ جریان هر هادی برگشت $= \frac{-I}{m}$

$$\Psi_a = 2\times10^{-7}\frac{I}{n}\left(\ln \frac{1}{\quad} + \ln \frac{1}{\quad} + \cdots + \ln \frac{1}{\quad} \right)$$

www.ttnar.ir

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

$$\psi_a = 2\times10^{-7} I \ln \frac{\sqrt[m]{D_{aa'} D_{ab'} \cdots D_{am}}}{\sqrt[n]{r'_a D_{ab} D_{ac} \cdots D_{an}}}$$

$r'_a \rightarrow D_{aa}$

$$L_a = \frac{\psi_a}{I_a = I/n}$$

$$= 2n\times10^{-7} \ln \frac{\sqrt{\quad''\quad}}{\sqrt{\quad''\quad}}$$

$$L_b = 2n\times10^{-7} \ln \frac{\sqrt[m]{D_{ba'} D_{bb'} \cdots D_{bm}}}{\sqrt[n]{D_{ab} D_{bb} \cdots D_{bn}}}$$

$$\vdots$$

$$L_n = 2n\times10^{-7} \ln \frac{\sqrt[m]{D_{na'} D_{nb'} \cdots D_{nm}}}{\sqrt[n]{D_{an} D_{bn} \cdots D_{nn}}}$$

L_{avg} <= سیم‌ها با هم سازی اند

$$L_{av} = \frac{L_a + L_b + \cdots + L_n}{n}$$

$$L_x = \frac{L_{avg}}{n} = \frac{L_a + L_b + \cdots + L_n}{n^2}$$

$$L_x = 2\times10^{-7} \ln \frac{\sqrt[nm]{(D_{aa'} D_{ab'} \cdots D_{am})(D_{ba'} D_{bb'} \cdots D_{bm}) \cdots (D_{na'} D_{nb'} \cdots D_{nm})}}{\sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} \cdots D_{an})(D_{ba} D_{bb} \cdots D_{bn}) \cdots (D_{na} D_{nb} \cdots D_{nn})}} \quad (H/m)$$

$$L_y = 2\times10^{-7} \ln \frac{\sqrt[mn]{\quad''\quad}}{\sqrt[n^2]{(D_{a'a} D_{a'b'} \cdots D_{a'm})(D_{b'a} D_{b'b'} \cdots D_{b'm}) \cdots (D_{ma'} D_{mb'} \cdots D_{mm})}} \quad (H/m)$$

Geometric Mean Distance (GMD)

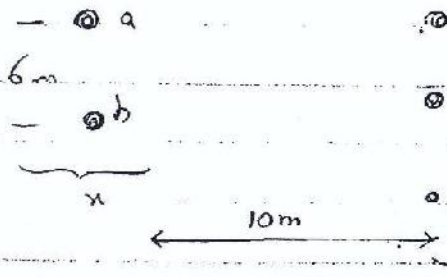
(GMR)

صورت: فاصله متوسط هندسی بین المان های a

$$L_x = 2\times10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR_x} \qquad L_y = 2\times10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR_y}$$

$GMR_x = 0.7788\, r$ شعاع متوسط هندسی هادی توپر

اندوکتانس مجموعه: (Ex.

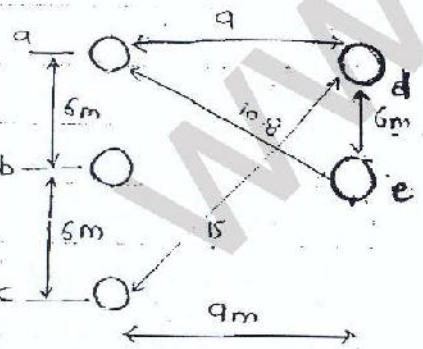


$d = 5\ cm$

حل:

$$L_x = 2\times10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR_x} \longrightarrow x \text{ شعاع متوسط هندسی هادی}$$

$$L_y = 2\times10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR_y}$$



اندوکتانس سیستم تکفاز زیر را بدست آورید. (Ex.

$r_a = r_b = r_c = 0.25\ cm$

$r_d = r_e = 0.5\ cm$

$$GMD = \sqrt[6]{ad\ ae\ bd\ be\ cd\ ce} = 10.95\ m$$

$$GMR_x = \sqrt[9]{(aa\ ab\ ac)(bb\ ba\ bc)(ca\ cb\ cc)} = 0.481\ m$$

$$GMR_y = \sqrt[4]{(dd\ de)(ed\ ee)} = 0.193\ m$$

www.ttnar.ir

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

$$L_x = 2\times10^{-7} \ln \frac{10.745}{0.481} = 6.212\times10^{-7}\ H/m$$

$$L_y = 2\times10^{-7} \ln \frac{0.745}{0.153} = 8.503\times10^{-7}\ H/m$$

$$L = L_x + L_y = 19.715\ (H/m)$$

GMD : Geometric Mean Distance $\xrightarrow{\text{Mutual Distance}}$ D_m

GMR : Geometric Mean Radius

$\xrightarrow{\text{Self Distance}}$ D_s

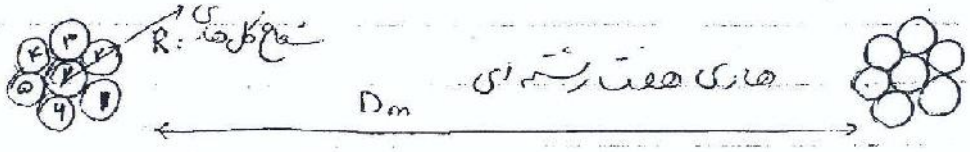
$$L = 2\times10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s} \quad (H/m)$$

$$= 4.6\times10^{-4} \log \frac{D_m}{D_s} \quad (H/km)$$

$$= 0.7411 \log \frac{D_m}{D_s} \quad mH/mile$$

اندوکتانس سیم رشته‌ای :

برای انتقال کابل در زیر دریا ← دکل و پست توزیع نداریم ← هادی را در دریا دفن می‌کنند. درگیری‌های کابل سازی کابل ساخته می‌شود و دورهای ها کابل سازی می‌شوند



$$L = 4.6\times10^{-4} \log \frac{D_m}{D_s} \quad H/km$$

$$D_s = GMR = \sqrt[49]{(D_{11} D_{12} D_{13} D_{14} D_{15} D_{16} D_{17}) \dots (D_{71} D_{72} \dots D_{77})} = kr = 0.7r$$

www.tnar.ir

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

تعداد رشته‌ها	7	19	37	61	91	127	...
k	0.752	0.757	0.768	0.772	0.779	0.775	0.7788

تمرین: در مورد هادی 19 رشته k را بیابید

$L = .7411 \log \frac{D_m}{D_s}$ → باید هردو از یک واحد باشند

$X_L = LW = 2\pi f\, 0.7411 \times 10^{-3} \log \frac{D_m}{D_s} \quad \left(\frac{\Omega}{mile}\right)$

$= 4.657 \times 10^{-3} f \log \frac{D_m}{D_s} \quad \left(\frac{\Omega}{mile}\right)$

$= 4.657 \times 10^{-3} f \log \frac{1}{D_s} + 4.657 \times 10^{-3} f \log D_m \quad \frac{\Omega}{mile}$

D_m , D_s باید هم واحد باشند اگر D_m برابر واحد D_s باشد مثلاً 1 foot

آن وقت ترم دوم صفر می‌شود

$X_L = X_1 + X_2$

$X_L = 0.1447 \log \frac{D_m}{D_s} \quad \frac{\Omega}{km}$

x را می‌توان هم از روابط حساب کرد هم جدول که جدول دقیق‌تر است

$D_m = 2\,ft = 2'$ $f = 50\,Hz$ $X_L = ?$ (Ex.

طول خط = 8 mile ACSR سایز 266800cm ; 26/7

↓ Partriedge

$X_1 = 0.465$ at 60Hz $X_2 = 0.0841$ at 60Hz

$X_1 = 0.465 \times \frac{50}{60} = 0.388 \ \Omega/mile$

$X_2 = 0.0841 \times \frac{50}{60} = 0.0701 \ \Omega/mile$

۲۹

www.tfnar.ir

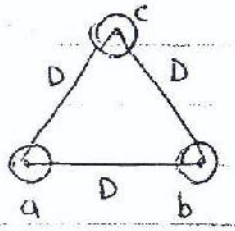
Message is shown because multiple copies of Print2Flash (www.print2flash.com) using the same license are detected

تکفاز
رشته برگشت سیم

$x = 0.458 \times 2 \times 8 = 7.34$ اندوکتانس راکتیو

تمرین: با استفاده از روابط راکتانس اندوکتیو حاصل از جدول را تحقیق کنید.
(اندوکتانس راکتیو)

اندوکتانس سیستم ۳ فازه متقارن:



* اندوکتانس واحد طول سیستم را به دست آورید.

$$\psi_a = 2\times10^{-7}\left(\frac{1}{4}I_a + I_a \ln\frac{1}{r} + I_b \ln\frac{1}{D} + I_c \ln\frac{1}{D}\right)$$

$$= 2\times10^{-7}\left(I_a \ln\frac{1}{0.7788\,r} + (I_b + I_c)\ln\frac{1}{D}\right)$$

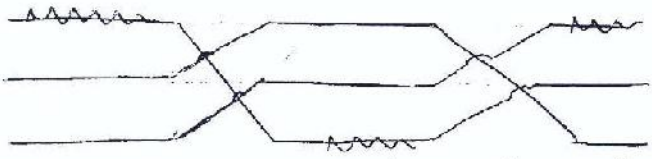
$$= 2\times10^{-7}\left(I_a \ln\frac{1}{r'} + (-I_a)\ln\frac{1}{D}\right)$$

$$\boxed{\psi_a = 2\times10^{-7} I_a \ln\frac{D}{r'}} \qquad D_m = \sqrt[3]{DDD} = D$$

$$L_a = \frac{\psi_a}{I_a} = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r'} = 2\times10^{-7}\ln\frac{D_m}{D_s} \quad H/m \text{ per ph}$$

مشابه حالت قبل

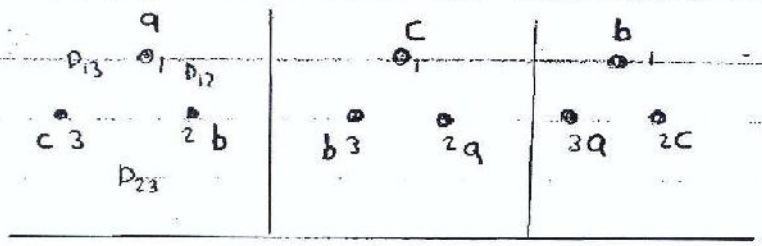
اندوکتانس سیستم ۳ فازه ترانسپوزه:



هر کدام از نظر هندسی وضعیت متفاوتی دارند ← سیستم ۳ فازه متقارن است

www.ttnar.ir

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



$$\psi_a = 2\times10^{-7}\, l \left(\frac{1}{4} I_a + I_a \ln\frac{1}{r} + I_b \ln\frac{1}{D_{12}} + I_c \ln\frac{1}{D_{31}} \right.$$

$$+ \frac{1}{4} I_a + I_a \ln\frac{1}{r} + I_b \ln\frac{1}{D_{23}} + I_c \ln\frac{1}{D_{12}}$$

$$\left. + \frac{1}{4} I_a + I_a \ln\frac{1}{r} + I_b \ln\frac{1}{D_{31}} + I_c \ln\frac{1}{D_{23}} \right)$$

$$\psi_a = 2\times10^{-7} l \left(\frac{3}{4} I_a + 3 I_a \ln\frac{1}{r} + (I_b + I_c) \ln\frac{1}{D_{12} D_{23} D_{31}} \right)$$

$$\psi_a = 2\times10^{-7} l \left(3 I_a \ln\frac{1}{r'} + \underbrace{(I_b + I_c)}_{-I_a} \ln\frac{1}{D_{12} D_{23} D_{31}} \right)$$

$$= 2\times10^{-7} \times 3 l\, I_a \left(\ln\frac{1}{r'} - \ln\frac{1}{\sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}} \right)$$

$$\psi_a = 2\times10^{-7} I_a \ln\frac{\sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}}{r'}$$

از اصول

$$= 2\times10^{-7} I_a \ln\frac{D_m}{r'}$$

$$L_a = \frac{\psi_a}{I_a} = 2\times10^{-7} \ln\frac{D_m}{r'} \quad H/m \quad \text{per Conductor}$$

برای هر یک از فاز حاصل شد

$$L = 2\times10^{-7} \ln\frac{D_m}{r'}$$

↑ L ⟸ افزایش فاصله بین هادی ها ↑

www.tnar.ir

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

47700 CM

ACSR هادی ها: خط دو مدار سیم جوز آلومینیوم فولاد (Ex.

$f = 60Hz$ ، راکتانس چقدر است؟

فاصله هادی ها $= 15'$ $\quad X = ?$

Hawk

$X_1 = 430 \ \Omega/mile \quad f = 60Hz$ مدار A

$D_m = \sqrt[3]{15 \cdot 15 \cdot 30} = 18.9'$

مدار A_2

$18' \longrightarrow 0.3507$

$19' \longrightarrow 0.3573$

$\Rightarrow 18.9' \longrightarrow 0.3568$

$X = 0.430 + 0.3568 = 0.7868 \ \Omega/mile$ Per Conductor

جلسه ۱۲ ۸/۸

اندوکتانس خط ۳ فاز دو مداره:

فاصله هادی ها ↑ $\Rightarrow$ اندوکتانس ↑

تعداد هادی ... $\Rightarrow$ اندوکتانس ↓

خطوط Bundle اندوکتانس کمتری نسبت به تک هادی دارند (قطر موثر بزرگتر)

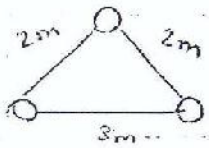
هادی HV فاصله هادی بزرگتر از ولتاژ پایین است $\Rightarrow$ اندوکتانس خطوط HV بیشتر است

(Ex.

هادی های خط انتقال ۱۹ رشته ای آلومینیوم

قطر هادی $= 10mm$

هادی ها طوری منظم جا داده شده $\Rightarrow$ آرایش متقارن



www.ttnar.ir

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

$D_m = D_{eq} = \sqrt[3]{2.2.3} = 2.29\ m = GMD$

$D_S = \underbrace{0.757}_{\text{از جدول } k} \times \frac{10}{2} = 3.785\ mm = GMR$ ← 19 : تعداد رشته ها

$L = 2\times10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} = 2.10^{-7} . \ln \frac{2\times29}{3.785\times10^{-3}} = 1.281\times10^{-6}\ \frac{H}{m}$

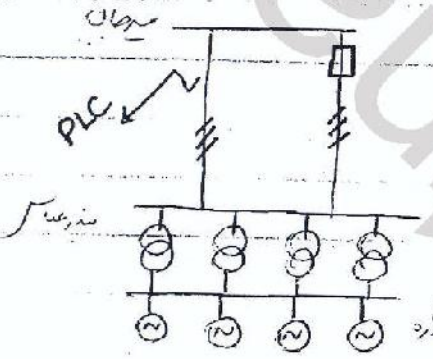
$X_L = Lw = 1.281\times10^{-6} \times 2\pi \times 50 \times 10^{3} = 0.403\ \frac{\Omega}{km}$ per Conductor

per Conductor

سیستم ۳ فازه متقارن

۲ سیم فاز که برسنده و گیرنده مشابه است.

اگر خطا - اتصال کوتاه - شود باید کلیدها همه را قطع می کنند



• برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم، از سیستم دوباره در شبکه قدرت استفاده می کنیم

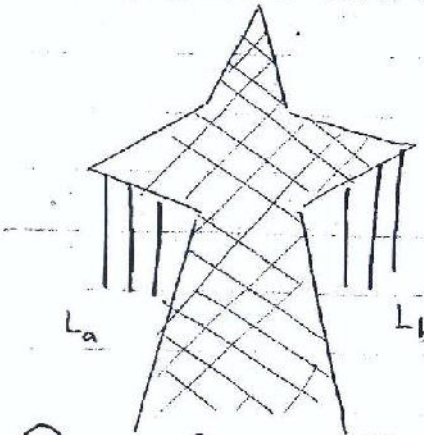
•• برای افزایش ظرفیت انتقال از خطوط دوباره استفاده می کنیم

گاهی خطوط دوباره روی دکل های مختلف هستند

گاهی هر دو را روی یک دکل با استحکام بیشتر می بندند.

این خطوط روی هم اثر می گذارند ← برای اندوکتانس خط

دوباره که روی یک دکل هر دو خط نصب شده مراجعه دیگری به است می کنیم



حل می کنیم هر دو خط در طول مسیر جوری ترانسپوزه می شوند

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

روش ۵

۱) می‌توانیم اندوکتانس هر سیستم ۳ فاز را بدست آوریم و بگوییم موازی هم هستند

$$L = \frac{L_a * L_b}{L_a + L_b}$$

2) مانند دو سیستم راه‌دی هم می‌ل کنیم

$$D_{sa} = \sqrt[4]{r'_a D_{11'} \cdot r'_a D_{11'}}$$

$$D_{sb} = \sqrt[4]{r'_b D_{22'} \cdot r'_b D_{2'2}} \Rightarrow \boxed{D_s = \sqrt[3]{D_{sa} D_{sb} D_{sc}}}$$

$$D_{sc} = \sqrt[4]{r'_c D_{33'} \cdot r'_b D_{3'3}}$$

$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{12} D_{12'} D_{1'2} D_{1'2'}} \qquad D_{AC} = \sqrt[4]{D_{13} D_{13'} D_{1'3} D_{1'3'}}$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{23} D_{23'} D_{2'3} D_{2'3'}} \Rightarrow \boxed{D_m = \sqrt[3]{D_{AB} D_{AC} D_{BC}}}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s}$$

— معمولاً برای دوماره روی یک دکل از این روش استفاده می‌کنند.

اثر القای مغناطیسی خطوط انتقال نیرو روی خطوط ارتباط تلفنی

معمولاً خطوط تلفن دیوردی در یک حاده ها ند — خطوط نیرو = HV — تلفن = سیگنال

ولتاژی در خطوط تلفن القا می‌شود — Noise = در ارتباطات تلفنی

اگر خطوط انتقال نیرو و تلفن را ترانسپوزه کنیم این ولتاژ تا حدود زیادی حذف شده و نویز

www.ttnar.ir

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

$\phi_a = 2\times10^{-7} I_a \ln \frac{D_{aB}}{D_{aA}}$: a ناشی از B و A شار وارد بر

$\phi_b = 2\times10^{-7} I_b \ln \frac{D_{bB}}{D_{bA}}$ $\left(\frac{wb}{m}\right)$ به ازای واحد طول

$\phi_c = 2\times10^{-7} I_c \ln \frac{D_{cB}}{D_{cA}}$

$M_a = \frac{\phi_a}{I_a} = 2\times10^{-7} \ln \frac{D_{aB}}{D_{aA}}$

$m_b = \frac{\phi_b}{I_b} = 2\times10^{-7} \ln \frac{D_{bB}}{D_{bA}}$

$M_c = \frac{\phi_c}{I_c} = 2\times10^{-7} \ln \frac{D_{cB}}{D_{cA}}$

$E = ?$ ولتاژ القایی در خط ارتباطی در واحد طول

$E = jw M_a I_a + jw M_b I_b + jw M_c I_c$

$= jw (M_a I_a + M_b I_b + M_c I_c)$

$E = jwl (M_a I_a + M_b I_b + M_c I_c)$ ولتاژ القایی در خط واقع ارتباطی به طول l

اگر خطوط ترانسپوزه نشوند ؟

از نظر هندسی متقارن می شوند ↑

$M_{\text{خطوط ترانسپوز نشده}} = M_a = M_b = M_c$

یعنی اگر خطوط از نظر هندسی و الکتریکی متقارن شوند

$E = jw\, ml (I_a + I_b + I_c) = 0$ ولتاژ القایی صفر می شود

www.tnar.ir

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

PLC ↗ Programmable Logic Controller

↘ Power Line Carrier

مثال: یک هادی AAC رشته 37 ، قطر هر رشته "0.1672 (Ex.

$1\ CM = (mil)^2$	سطح مقطع برحسب CM ؟
$1\ mil = 0.001\ inch$	اگر مقاومت در $20^{\circ}C$ را دانسته باشیم مقاومت
$1\ inch = 2.54\ cm = 25.4\ mm$	در $50^{\circ}C$ را بیابید.
$1\ mm = 0.394\ inch = 39.4\ mil$	
$1\ inch^2 = 645.2\ mm^2$	
$1\ mm^2 = 1976.53\ CM$	
$\simeq 1980\ CM$	

$d = 0.1672\ inch = 167.2\ mil$

$A = \left(\frac{167.2}{2}\right)^2 \times 37 \times 3.14 = 1034366\ CM$

$R_{20^{\circ}C} = 0.0.1678\ \frac{\Omega}{1000\ ft}$ ← مقاومت هادی در $20^{\circ}C$ (بعدی)

$\rho_{\text{خ Al}} = 17\ \frac{\Omega \cdot CM}{ft}$

$R = \rho \frac{l}{A} = 17 \cdot \frac{1000}{1033500} = 0.01645\ \Omega/1000\ ft$ ← (مقاومت)

$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1} \Rightarrow$

$T \begin{cases} 234.5 & \text{مس نرم} \\ 241 & \text{مس سخت} \\ 248 & \text{خ Al} \end{cases}$

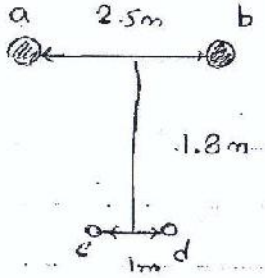
$R_2 = \frac{228 + 50}{228 + 20} \cdot 0.01645\ \Omega/1000\ ft$

$R = \ldots\ \Omega/$

www.tinar.ir

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

(Ex. یک خط تکفاز دارم که یک مدار تکفاز وصل شده



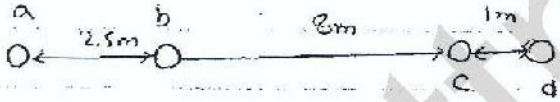
$$M_a = 2\times10^{-7} \ln \frac{D_{ad}}{D_{ac}}$$

$$M_b = 2\times10^{-7} \ln \frac{D_{bc}}{D_{bd}}$$

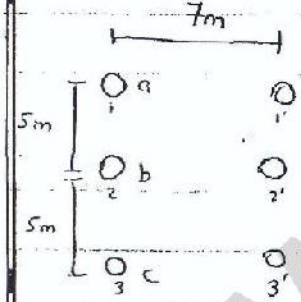
$$M = M_a - M_b = 5.05\times10^{-8}\ \frac{H}{m}$$

$$E = jw\cdot(M_a I_a + M_b I_b) = jwLM(I_a + I_b) = 0$$

(Ex. تمرین



(Ex. خط انتقال ۳ فاز در سه راس دارم



هادی ها از نوع Drake، خطوط ترانسپوزه می‌شوند

اندوکتانس هر فاز؟

$$d = 1.108 \text{ inch}$$

=

$$D_s = 0.0373 \text{ ft} = 0.01137 \text{ m}$$

$$GMR_a = \sqrt[4]{D_s D_{11'} \cdot D_s D_{11'}} = 0.3725 \text{ m}$$

$$GMR_b = \sqrt[4]{D_s D_{22'} \cdot D_s D_{22'}} = 0.2821 \text{ m}$$

$$GMR_c = GMR_a = 0.3725$$

$$GMR = \sqrt[3]{GMR_a\, GMR_b\, GMR_c} = 0.3395 \text{ m}$$

www.ttnar.ir

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

$$D_{AB} = \sqrt[4]{5\sqrt{74}\cdot 5\sqrt{74}} = 6.56\,m$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{5\sqrt{74}\cdot 5\sqrt{74}} = 6.56\,m$$

در این روش از اندوکتانس متقابل بین ۳ فاز صرف نظر شده

$$D_{CA} = \sqrt[4]{10\times 7\times 10\times 7} = 8.367\,m$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB}\,D_{BC}\,D_{CA}} = 8.115\,m$$

$$L = 2\times 10^{-7}\ln\frac{D_m}{D_s} = 6.085\cdot 10^{-7}\ H/m$$

راه دوم : صرف نظر از اندوکتانس متقابل بین ۳ فاز

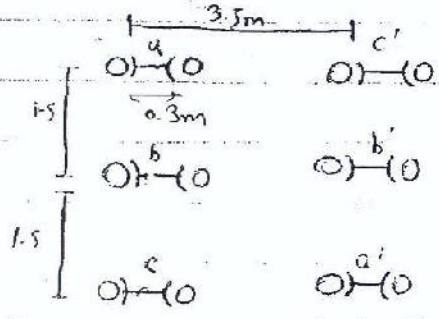
$$D_{eq} = \sqrt[3]{5\cdot 5\cdot 10} = 6.3\,m$$

$$L_2 = 2\times 10^{-7}\times \ln\frac{6.3}{0.0137} = 11.634\ 10^{-7}\ H/m$$

$$L_{eq} = L_s \,||\, L_s = \frac{L_s}{2} = \frac{1}{2}\times 11.634 = 6.317\times 10^{-7}\ H/m$$

$$\text{خطای نسبی} = \frac{6.085 - 6.317}{6.085} = -0.038 = -3.8\%$$

Ex) خط انتقال سه‌فاز با استفاده از هادی باندل دوتایی از نوع Hawk



اندوکتانس واحد طول خط؟

این خط به طول 400 Km در فرکانس 50 Hz تعویض شده

راکتانس اندوکتانس کل خط

Hawk : Transposition

www.tmar.ir

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

حذل $D_s = 0.0289' = 0.0088\ m$

$$D_s^b = \sqrt[4]{D_s \cdot d \cdot D_s \cdot d} = \sqrt{D_s d} = \sqrt{0.0088 \times 0.3} = 0.051$$

$$GMR_a = \sqrt{D_{sb}\sqrt{21.25}} = 0.987M = GMR_c$$

$$GMR_b = \sqrt{D_s^b \cdot 3.5} = 0.424\ m$$

$$GMR = \sqrt[3]{GMR_a\ GMR_b\ GMR_c} = 0.465m$$

GMR حدداً 50 برابر شد ⇐ با باندل کردن دو هادی در کنار اندوکتانس سری را کاهش می دهیم.

$$D_{AB} = \sqrt{1.5\sqrt{14.5}} = 2.39m$$

$$D_{BC} = \sqrt{\quad} = 2.39m$$

اندوکتانس های متقابل را در نظر گرفتیم

$$D_{AC} = \sqrt{3 \cdot 3.5} = 3.24\ m$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB}\ D_{BC}\ D_{AC}} = 2.645$$

$$L = 2\times10^{-7}\ ln.\ \frac{D_m}{D_s} = 3.47\times10^{-7}\ \left(\frac{H}{m}\right)$$

www.ttnar.ir

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