Subject :

Year . Month . Date . (1)

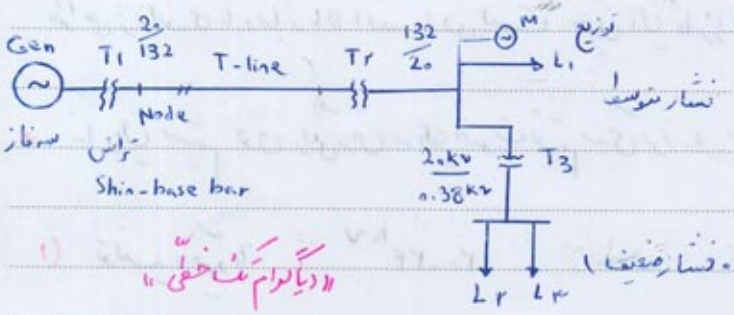
« بررسی سیستمهای قدرت » « به نام خداوند بخشنده مهربان »

سیستم های قدرت را در حالت دائم در نظر می گیریم . در اینجا ولتاژ و جریان AC است و سیستم قدرت سه فاز است . انتقال سه فاز است . البته به مصرف کننده که می رسد می تواند سه فاز یا تک فاز باشد .

۱) تعریف سیستم قدرت الکتریکی : مجموعه ابزاری که برق را تولید می کند ، انتقال می دهد و به مصرف کننده می رساند .

تمام اشکال زیر ۳ فاز است و تنها یک خط نمایش داده می شود .

مثال) یک سیستم قدرت ساده عبارتست از :



ولتاژی که ژنراتور تولید می کند بین ۲۰-۲۴ kv بین دو فاز (نه فاز و نول) تولید می کند .

T1 ولتاژ را افزایش می دهد بعد انتقال ، T2 و T3 ولتاژ را کاهش می دهند .

در ترانس T3 ؛ اولیه آن فرقی نمی کند که Δ یا Y باشد ولی ثانویه آن حتماً ستاره است .

ترانس ۳ فاز : ← (R , S , T) فاز : (N و R یا T1)

اگر از قسمت ۲۰ kv به مصرف کننده برسانیم ، فشار متوسط و از ۲۸۰ ولت برسانیم ، فشار ضعیف گفته می شود .

سؤال: چرا ابتدا ولتاژ را بالا می برند و در نقطه ولتاژ را پایین می آورند؟

۱) در توان ثابت اگر ولتاژ را بالا ببریم جریان کم می شود بنابراین تلفات کم می شود = برای کاهش تلفات

۲) افت ولتاژ کمتر می شود (به دلیل خاصیت سلفی در مسیر انتقال)

۳) وقتی ولتاژ را افزایش می دهیم توان انتقالی از خط افزایش می یابد و مجذوری هم افزایش می یابد.

به این سه دلیل خطوط انتقال ولتاژ بالا طراحی می کنند.

طراحی ژنراتوری با ولتاژ بالا اقتصادی نیست چون این کار را با ترانس به راحتی می توان انجام داد.

* بنابراین سیستم فوق را می توان به این صورت تقسیم بندی کرد:

۱) تولید - نیروگاه: ۲۰-۲۴ kV

۲) انتقال: HV - EHV - UHV (خطوط هوایی)
132 - 320 - 400

۳) زیر انتقال - فوق توزیع: ۶۳ kV

۴) توزیع: ۱- فشار متوسط: ۲۰ kV - کابل
۲- فشار ضعیف: ۰.۳۸۰ kV / ۰.۲۲۰ kV

۵) مصرف کننده

① منظور از تحلیل سیستم های قدرت بدست آوردن یک سری کمیات است مثل ولتاژ، جریان، تلفات، توان ...

مثلاً برای محاسبهٔ جریان: $P = \sqrt{3}\, VI\cos\varphi \longrightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3}\, V\cos\varphi}$

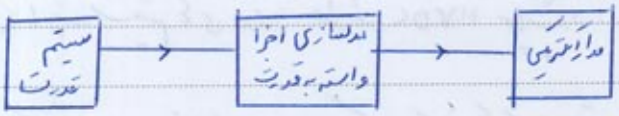
مخصوص باید ولتاژ را در node ها (شین ها) و جریان خطوط انتقال را باید بیابیم.

برای انتخاب کابل مورد نظر می بایست ابتدا جریان را از رابطهٔ $I = \frac{P}{\sqrt{3}\, V\cos\varphi}$ که مشخصه های توان و ضریب قدرت را از روی دستگاه بخوانیم و بر اساس آن سیم ۳، ۴، ۸ ... را انتخاب کرده و با در نظر گرفتن افت فشار میزان ولتاژ مصرف کننده را در نظر می گیریم.

② هدف از بررسی سیستم های قدرت: بدست آوردن اطلاع از وضعیت شبکه یعنی بدست آوردن وضع ولتاژ، جریان، ... تا ببینیم سیستم در شرایط نرمال کاری خود هست یا نه یعنی خطی اضافه بار نشده و ...

③ برای رسیدن به این هدف باید کمیتهای الکتریکی را محاسبه کنیم که مهمترین آنها ولتاژ در باسها است. جریان در خطوط

④ نحوهٔ محاسبهٔ کمیتها: برای محاسبهٔ کمیتها با توجه به دیاگرام تک خطی و اطلاعاتی که در اختیار ما قرار داده اند سیستم های قدرت الکتریکی را به مدار الکتریکی تبدیل می کنیم. به دور دل مش و node که در این درس بیشتر از روش node استفاده می شود.



* اجزاء اصلی سیستم قدرت: ۱) ژنراتور سنکرون سه فاز ۲) ترانسفورماتور قدرت

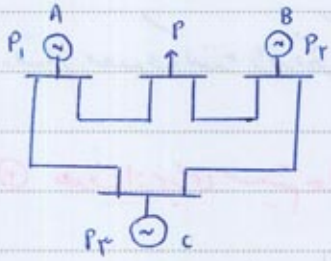
۳) خطوط انتقال - توزیع ۴) بارهای مصرفی

Subject:
Year. Month. Date. (۴)

* رشد سیستم های قدرت: ۱) رشد شبکه ها یعنی زیاد شدن تعداد نیروگاه ها و مصرف کننده ها

۲) بازگیرتر شدن شبکه، سطوح ولتاژ هم بالارفته است.

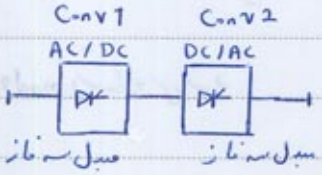
قبلاً نیروگاه ها هم ارتباطی نداشتند اما امروزه تمام نیروگاه های یک کشور به شبکه سراسری برق وهم متصل هستند. پس امروزه شبکه های بهم پیوسته (inter connected system) بوجود آمده است.



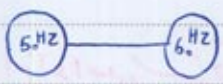
مزایا: ۱) افزایش قابلیت اطمینان سیستم: یعنی مصرف کننده می تواند از چند سیم تغذیه شود. پس اگر یک نیروگاه قطع شود از نیروگاه دیگر تغذیه می شود.

۲) هر نیروگاه غیر از تولید برق باید مقداری ذخیره برای لحظات بیک بار داشته باشد. اگر نیروگاه ها بهم وصل باشند می توانند از هم کمک بگیرند و سطح ذخیره پایین می آید ← (امکان تبادل انرژی و کاهش سطح ذخیره)

۳) تبادل انرژی بین مناطق مختلف کشور.



۴) همزمان باشند سیستم های قدرت خطوط HVDC نداشته.



برای فواصل کم یا برای ارتباط برق بین دو کشور که دارای فرکانس متفاوت است.

۵) نیروگاه ها همشان (متصل) اند. یا بعبارتی یک شبکه HV داریم که تمام نیروگاه ها به آن وصل می شوند.

PAPCO DG (Distributed Generation) ← تولید پراکنده

امروزه نیروگاه های کوچک پراکنده بوجود آمده

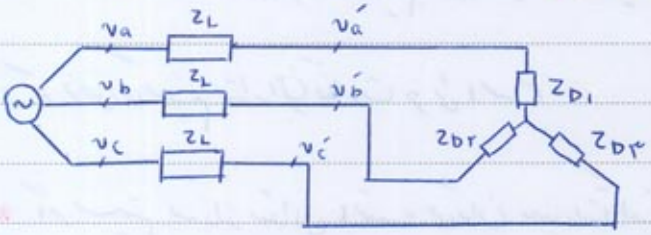
Subject:
Year. Month. Date.

نیروگاههایی که کوچک اند در محل توزیع نصب می شوند پس دیگر تلفات انتقال را ندارند.

کارخانجات توان راکتیو را از بارهای خازنی تأمین می کنند و توان اکتیو خود را از نیروگاهها تأمین می کنند.

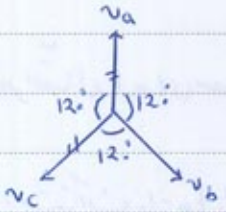
فصل دوم: یادآوری مفاهیم و کمیتهای الکتریکی:

در سیستم قدرت جریان متناوب $f = 50^{HZ}$ است.



سیستم قدرت سه فاز: ۱) متعادل
۲- نامتعادل

در سیستم متعادل:



$$\begin{cases} v_a = \sqrt{2}\,|V| \sin \omega t \\ v_b = \sqrt{2}\,|V| \sin(\omega t - 120^\circ) \\ v_c = \sqrt{2}\,|V| \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$

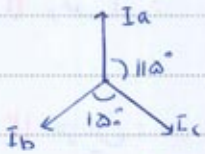
۱۲۰ درجه عقب گرد

اگر اندازه امپدانس سری Z_L با هم برابر و Z_D ها هم با هم برابر باشند یعنی امپدانس خطوط با هم برابر باشند

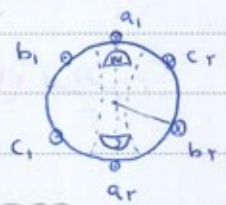
جریان دیتا از متعادلی اعمال شده جریان عبوری از خطوط هم (از لحاظ اندازه) با هم برابرند: $I_{a_1} = I_{b_1} = I_{c_1}$

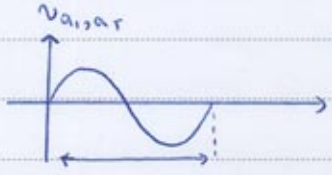
در سیستم نامتعادل: ۱) اگر $Z_{D_1} \neq Z_{D_2} \neq Z_{D_3}$ باشد جریان ها برابر نیستند. زاویه بین آنها هم با هم برابر نیست.

۲) حالت دیگری که موجب نامتعادلی می شود در شرایط غیرعادی است که مثلاً بین



دو خط اتصال ایجاد شود یا یک خط قطع شود.





در روشهای حفاظت از خازنها، ۹ و ۶۷ که وارد می شوند

برای همین از دو تا داریم.

P4PCO

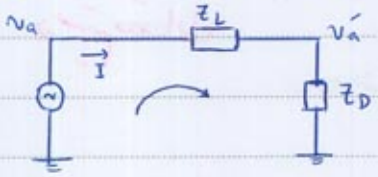
* بنابراین شرایط عادی برای مصرف کننده یکسان بودن مقادیر مصرف کننده است.

شرایط غیرعادی برای انتقال کوتاه، قطعی خط و ... است.

توجه: در بررسی ها فرض می کنیم همیشه شرایط عادی است و سیستم را متعادل فرض می کنیم یعنی سیماهای قدرت را در حالت نرمال بررسی می کنیم ضمن اینکه در شرایط عادی یک نامتعادلی ناشی از مصرف کننده داریم.

که فرض می کنیم مقدار این نامتعادلی جزئی است.

* اگر سیستم سه فاز متعادل باشد، می توان بصورت تک فاز یک سیستم سه فاز را نمایش داد.



پس اگر انتقال بارهای مصرفی بصورت ستاره باشد:

نقطه اشتراک فاز ها را در انتقال ستاره صفر می کنیم بنابراین نمایش تک فاز:

برای فاز های دیگر "۱۲۰ شیفت می دهیم:

$I = \frac{V_a}{Z_L + Z_D}$ ، $V'_a = Z_D \cdot I$

** کمیتهایی که در این سیستم با آن سروکار داریم:

۱) ولتاژ: $V = |V| \angle \theta$ V, kV (نمایش فازوری)

۲) جریان: $I = |I| \angle \alpha$ A, kA

۳) امپدانس: $Z = \frac{V}{I} = |Z| \angle \varphi$ ohm (Ω)

$Z = |Z| \cos\varphi + j|Z| \sin\varphi$

R مقاومت اهمی — X راکتانس

PAPCO

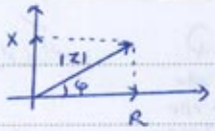
Subject:

Year. Month. Date. (۷)

امپدانس

$Z = R + jX \quad \Omega$

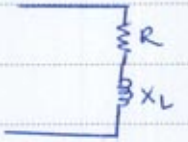
رزیستانس ↓ راکتانس ↓



$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \qquad \tan\varphi = \frac{X}{R}$

۴) راکتانس: (X)

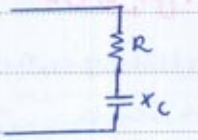
۱) راکتانس سلفی:



$X_L = L\omega$

$Z = R + j\omega L$

۲) راکتانس خازنی:



$X_C = \frac{1}{C\omega}$

$Z = R + \frac{1}{jC\omega}$

۵) ادمیتانس:

$Y = \frac{1}{Z} = \frac{I}{V} = |Y| \angle \varphi \quad (\Omega^{-1}) \text{ or } (S)$

در حالت سلفی جریان از ولتاژ عقب تر است. (پس نا راست)

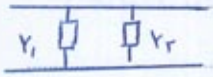
$Y = |Y|\cos\varphi + j|Y|\sin\varphi$

$\rightarrow G \quad \leftarrow \rightarrow B \quad \leftarrow$

$Y = G + jB$

B (سوسپتانس)، G (کندوکتانس)

$G = Re[Y] \quad , \quad B = Im[Y]$



اگر در المان موازی باشند بهتر است ادمیتانس حساب کنیم چون ادمیتانس‌ها با هم جمع می‌شوند.

در مورد خازن همیشه از سوسپتانس استفاده می‌کنیم. ← $B_C = jC\omega$ سوسپتانس خازنی

$G = Re[Y]$

$B = Im[Y]$

در مورد سلف از راکتانس بهتر است استفاده کنیم. $X_L = jL\omega$ راکتانس سلفی

مثال)

$V = 100 \angle 30^\circ$

$I = 10 \angle 100^\circ$

$\Rightarrow Y = \frac{10}{100} \angle 40^\circ = 0.1 \angle 40^\circ$ S

در اینجا جریان از ولتاژ ۶۰ درجه عقب تر است یعنی در مدار سلف داریم.

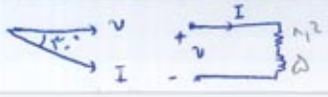
$\Rightarrow Z = \frac{100}{10} \angle 30^\circ = 10 \angle 30^\circ$

$Z = 100 - j50\sqrt{3}\ \Omega$

مثال)

$= 10\cos 30^\circ + j10\sin 30^\circ = 8.7 + j5$ (X_L)

$V = 100 \angle 0^\circ$, $I = 10 \angle -30^\circ$



اگر در خازنی: $V = 100 \angle 0^\circ$, $I = 10 \angle 30^\circ$

Subject:

Year. Month. Date. (۸)

۶) توان: توان راکتیو Q (VAr, kVAr, MVAr) ، توان متوسط P_{av} (W) ، توان لحظه‌ای $p(t)$

توان ظاهری $|S|$ (VA, KVA, MVA) ، توان مختلط S ، توان اکتیو P (W, kW, MW)

توان لحظه‌ای:

$$p(t) = V_m \sin\omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = V_m I_m \sin\omega t \sin(\omega t - \varphi)$$

$$= \frac{1}{2} |V|_{rms} |I|_{rms} \sin\omega t \sin(\omega t - \varphi) = |V||I| \cos\varphi (1 - \cos 2\omega t) - |V||I| \sin\varphi \sin 2\omega t$$

(مقدار متوسط، مثبت اکتیو، مقدار متوسط = ۰، مثبت راکتیو)

توان متوسط:

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)\,dt = |V||I| \cos\varphi$$

توان حقیقی (اکتیو): (همواره ≥ ۰، فازوری نیست)

$$P = |V||I| \cos\varphi \geq 0 \quad \text{or} \quad P = V_{rms} I_{rms} \cos\varphi$$

$$P = Z I \cdot I \cos\varphi = \underbrace{Z \cos\varphi}_{R} |I|^2 = R |I|^2$$

مثال)

$$V = 100 \angle 0^\circ$$

$$I = 10 \angle -30^\circ \rightarrow P = 100 \times 10 \cos(0 - (-30)) = 866\,W$$

در حالتی که مداراهمی باشد: $P = VI \Leftarrow \varphi = 0 \,,\, \cos\varphi = 1$

* توانی که مقاومت مصرف می‌کند توان اکتیو و توانی که سلف مصرف می‌کند توان راکتیو است چون اگر مقاومت صفر باشد اختلاف فاز ولتاژ و جریان سلف 90° است و توان راکتیو ما نیز هم و توان اکتیو صفر خواهد شد.

توان راکتیو:

$$Q = V I \sin\varphi \; * \Rightarrow Q = X |I|^2$$

توان مختلط: (به فرم قطبی) $S = |V||I| \angle \varphi$ ، $S = V I^*$ (مزدوج جریان)

PdPCO

Subject:
Year. Month. Date. (۹)

فرم مختصات دکارتی:

$$S = \underbrace{|V||I|\cos\varphi}_{P} + j\underbrace{|V||I|\sin\varphi}_{Q} = P + jQ \quad **$$

P: توان اکتیو — Q: توان راکتیو

اگر قسمت موهومی منفی باشد، نشان دهنده وجود خازن در مدار است و اگر مثبت بود نشان دهنده وجود سلف در مدار است و اگر توان راکتیو صفر بود حتماً فقط مدار مقاومتی است.

خازن ⟵ مثبت ⟹ $\angle I^{*}$ = منفی ⟹ $\angle I$

$Q = 0$

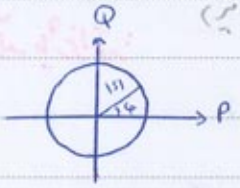
$P = Re[S]$ ، $Q = Im[S]$ که $S = VI^{*}$

*** در بدست آوردن φ به روش * علامت را باید خودمان بگذاریم. یعنی باید ببینیم مدار سلفی است یا خازنی.

اگر خازنی بود منفی میگذاریم و اگر مدار سلفی بود علامت مثبت میگذاریم ولی در روش ** دیگر لازم نیست به علامت دقت کنیم.

توان ظاهری: $|S| = |V||I|$ (توان ظاهری (دید آمپر))

$S = |S| \angle\varphi$ VA



پس توان را در یک صفحه می‌توان نشان داد.

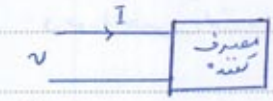
توان ظاهری — توان مختلط

$\tilde{S} = |S| \angle\varphi$

$Q = |S| \sin\varphi$

$P = |S| \cos\varphi$

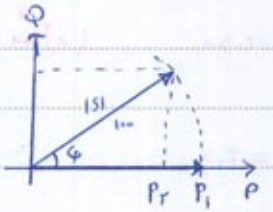
* خاصیت مصرف کننده (از نظر سلفی، خازنی، مقاومتی):



اهمی: جریان و ولتاژ هم فازند — $S = VI^{*} = P + j0.0$ — $P > 0.0$ — $Q = 0.0$ — مصرف اکتیو

سلفی: جریان از ولتاژ عقب‌تر ✓ (جلوتر) — $S = VI^{*} = P + jQ$ — $P > 0.0$ — $Q > 0.0$ — مصرف اکتیو — مصرف راکتیو

خازنی: جریان از ولتاژ عقب‌تر (جلوتر ✓) — $S = VI^{*} = P - jQ$ — $P > 0.0$ — $Q < 0.0$ — مصرف اکتیو — تولید راکتیو

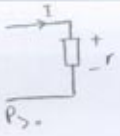


* توان اکتیو مقدار متوسط دارد. توان راکتیو یک توان سینوسی رفت و برگشتی است که مقدار متوسط آن صفر است.

$S = V I^*$

$P > 0$ تولید ← مولد = ژنراتور

$Q > 0$ تولید



$P > 0$ مصرف

$Q > 0$ مصرف

به Q کاری نداریم فقط با P سروکار داریم

توان ارزان‌تر به گرمتر ← Q از دماغه‌ها دادن بهتر به گرمتر

زمانیکه بار داریم توان راکتیو مصرف می‌کند ژنراتور دارد توان راکتیو تولید می‌کند.

زمانیکه مصرف‌کننده فقط مقاومتی باشد تمام $|S|$ را می‌توان به P تبدیل کرد: یعنی $(P = 0$ خیلی$)$

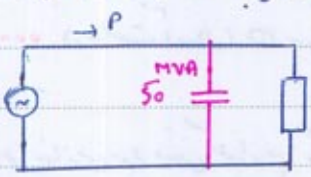
$|S| = 100\ MVA \rightarrow 100\ MW$

آما اگر مقاومتی خالص نباشد باید از توان اکتیوی $(P_2 < P_1)$ که تولید می‌کند کم کند چون می‌خواهد توان Q

تولیدکند که هرچه Q بیشتری بخواهد تولید کند باید P کمتری تولید کند.

* بجای اینکه توان راکتیو در نیروگاه تولید شود می‌توان در هر کارخانه تولید کرد به این ترتیب که ابتدای ورود برق

به یک کارخانه یک خازن بگذاریم:



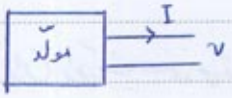
$S = P + jQ$

$S = 100 + j50$

MW MVAR

چون در محل مصرف‌کننده خازن توان راکتیو تولید می‌کند.

* خاصیت تولیدکننده مولد یا ژنراتور:



SG; (Generator)

در مورد مولد: $P > 0$ ← تولید اکتیو $Q > 0$ تولید راکتیو

در مورد مصرف‌کننده: $P > 0$ ← مصرف اکتیو $Q > 0$ مصرف راکتیو

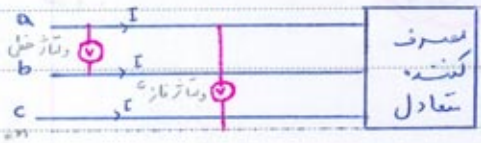
مثال) $P = 2000$ ← تولید اکتیو $Q = 500$ ← تولید راکتیو $S_G = \underset{P}{20} + j\underset{Q}{5}\ VA$

$P = 2000$ ← تولید اکتیو $Q = -500$ ← مصرف راکتیو $S_G = 20 - j5$

یعنی از نظر توان راکتیو مثل سلف شده - سلف توان راکتیو مصرف می‌کند، خازن توان راکتیو تولید می‌کند.

Subject:
Year. Month. Date. (1)

سیستم سه فاز:



چون مصرف کننده متعادل است، از هر سه خط جریان I عبور می‌کند. بین خطوط باید ولتاژی تعریف کنیم. ولتاژ بین دو فاز: ولتاژ خطی و ولتاژ بین فاز و نول: ولتاژ فازی نامیده می‌شود. در حالت کلی فقط ولتاژ فازی داریم:

$v_L = \sqrt{3}\, v_p$ ولتاژ خطی v_L یا $v_{ab} = v_{bc} = v_{ca}$

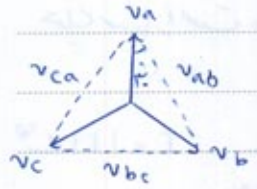
ولتاژ فازی v_p: v_{an} یا v_{bn} یا v_{cn} $\quad 380^V = \sqrt{3} \times 220$

$$v_{ab} = v_a - v_b = 2 v_a \cos 30^\circ = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} v_a = \sqrt{3}\, v_a$$

$$v_a = 220 \angle 0^\circ$$

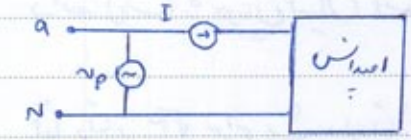
$$v_{ab} = 220\sqrt{3} \angle 30^\circ = 380 \angle 30^\circ$$

ولتاژ خطی $\sqrt{3}$ برابر ولتاژ فازی است. از نظر زاویه 30° با هم اختلاف فاز دارند. v_{ab} از v_a 30° جلوتر است.



می‌بینیم که $v_a < v_{ab}$ و 30° اختلاف فاز دارند.

در حالت کلی: توان: $P_{1\varphi} = v_p \cdot I \cdot \cos\varphi$ (ولتاژ فازی)



در حالت سه فاز: توان:

$$P = \underbrace{3 v_p I \cos\varphi}_{\text{چون سه فاز داریم}} = \sqrt{3} \cdot \underbrace{\sqrt{3} v_p}_{v_L} I \cos\varphi = \sqrt{3}\, v_L\, I \cos\varphi$$

Subject :

Year . Month . Date . (۱۲)

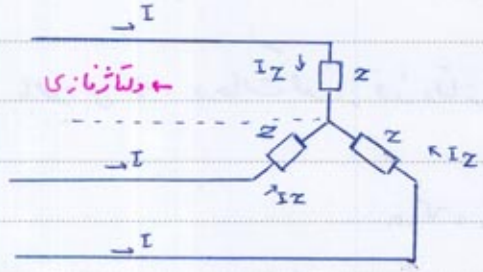
$$P_{3\varphi} = \sqrt{3}\,|V_L|\,|I|\,\cos\varphi \quad (\text{حفی})$$

پس :

$$P_{3\varphi} = 3\,V_p\,I\,\cos\varphi$$

* نول جریان ندارد مگر نامتعادل باشد. برای سیستم متعادل یک دات قرار فیست اگر نامتعادل باشد ۳ واقعی.

* اتصال ستاره :

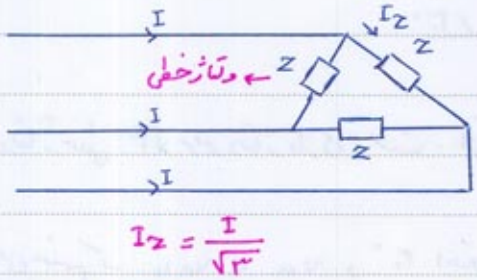


جریانی که از امپدانس بار عبور می‌کند چقدر است ؟

جریانی که از امپدانس بار عبور می‌کند همان جریان خط است . $I_Z = I$

* اتصال مثلث :

می‌خواهیم ببینیم جریانی که از هرکدام از امپدانس ها می‌گذرد چقدر است ؟



$$I_Z = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

علامت منفی

سه فاز $P = 100\,kW$ $V = 400^{V}$ $\cos\varphi = 0.8$

چون سه فاز است ولتاژ $400^{V} = V$ خطی است .

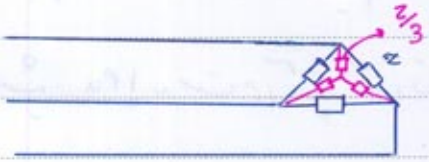
$$P = \sqrt{3}\,VI\cos\varphi \Rightarrow 100000 = \sqrt{3}\times 400\times|I|\times 0.8 \Rightarrow |I| = \frac{100000}{\sqrt{3}\times 400\times 0.8} \qquad I = |I|\angle\varphi$$

در اتصال ستاره جریان یکسان است ، ولتاژ فازی است اما در اتصال مثلث جریان تقسیم بر $\sqrt{3}$ شده .

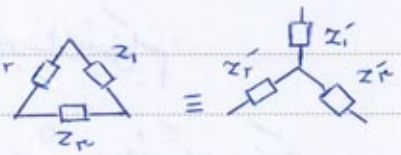
اما ولتاژ $\sqrt{3}$ برابر شده . (ولتاژ خطی) ← توان در هر دو حالت یکسان است .

PqPCO

* اگر بخواهیم تغذیه عمل کنیم مثلث را به ستاره تبدیل می‌کنیم:



تبدیل مثلث به ستاره:



$Z'_1 = \frac{Z_1}{3}$

در سیستم سه فاز:

توان ظاهری: $|S| = \sqrt{3}|V||I|$

توان مختلط (دیتا رخطی): $S = \sqrt{3}\, V I^*$

توان راکتیو: $Q = \sqrt{3}\, V I \sin\varphi$

توان اکتیو: $P = \sqrt{3}\, V I \cos\varphi$

* سیستم پریونیت (Per unit): در سیستمهای قدرت ترجیح می‌دهیم بجای اینکه با کمیتهای واقعی کار کنیم (هر واحد)

کمیتها را به پریونیت تبدیل کنیم. یعنی کمیتها را بدون (یا بی‌یونیت) کنیم. برای این کار باید یک کمیت انتخاب کنیم بعنوان مبنا.

کمیت مبنا (base): (تعیین آن اختیاری است)

معمولاً مقدار نامی را مبنا انتخاب می‌کنند.

$$\text{کمیت پریونیت شده} = \frac{\text{کمیت واقعی}}{\text{کمیت مبنا}}$$

مثال ۱)

$V = 200\angle 30^\circ\ V$

$V_{base} = 400\ V$ اختیاری $\Rightarrow v = \frac{200\angle 30^\circ}{400} = 0.5\angle 30^\circ\ pu$

مثال ۲)

$v_b = 20\ kV \qquad v = 24\ kV\angle 10^\circ$

$\Rightarrow v = \frac{24}{20}\angle 10^\circ = 1.2\angle 10^\circ\ pu$

با یک نقطه می‌فهمیم که ۲۰٪ اضافه ولتاژ داریم.

Subject:
Year. Month. Date. (۱۴)

در سیستم های قدرت همیشه می خواهیم که ولتاژ pu یا شود. یعنی اگر ولتاژ نامی باشه ۷ مورد نظر همیشه pu ۱ بدست می آید. اگر ولتاژ pu را داشتیم و ولتاژ واقعی را خواستیم باید در ولتاژ مبنا ضرب کنیم.

* همیشه قبل از حل مسأله باید مقادیر مبنا را تعیین کنیم:

مقادیر مبنا	
V_b	فازی
I_b	فرقی ندارد
S_b	تکفاز
Z_b	تکفاز
Y_b	تکفاز

این مقادیر مبنا مقادیر تکفاز هستند همیشه در مسائل تکفاز حل می کنیم.

در حالت پریونیت می توانیم مقدار V_b را خطی هم در نظر بگیریم.

چون طبق رو به رو مقدار دو سر با هم برابر می شود:

$V = \frac{۴۰۰}{\sqrt{۳}}$ یا $V = ۴۰۰$

$V_b = ۲۳۰$ $V_b = ۴۸۰$

* محاسبه base سایر کمیتها:

فرض کنیم مقادیر S_b و V_b معلوم هستند می خواهیم مقادیر I_b و Z_b و Y_b را محاسبه کنیم:

(مقدار دهی - راه اندازی)

$\begin{cases} S_b \\ V_b \end{cases}$ انتخاب می کنیم $\Rightarrow \begin{cases} I_b \\ Z_b \\ Y_b \end{cases}$ محاسبه می کنیم

$Z_b = \frac{V_{bLN}^{۲}}{S_{b1\phi}}$ (فازی / تکفاز) ، $I_b = \frac{S_{b1\phi}}{V_{bLN}}$ ، $Y_b = \frac{۱}{Z_b}$

∴ حال اگر بخواهیم برحسب خطی V_{bL} یا سه فاز $S_{b3\phi}$ در نظر بگیریم: تفاوتی نخواهد کرد چون:

Subject:

Year. Month. Date.

$$Z_b = \frac{3V_{bL-N}^2}{3S_{b1\phi}} = \frac{(\sqrt{3}V_{bL-N})^2}{S_{b3\phi}} = \frac{V_{bL-L}^2}{S_{b3\phi}}$$

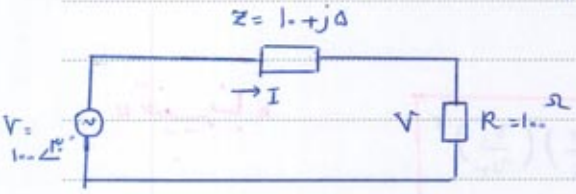
$$I_b = \frac{3S_{b1\phi}}{3V_{bL-N}} = \frac{S_{b3\phi}}{\sqrt{3}V_{bL-L}} \Rightarrow I_b = \frac{S_{b3\phi}}{\sqrt{3}V_{bL-L}}$$

آما در مورد جریان بیس فرق می کند؟

امپدانس مربوط به یک فاز است، چون هر فاز یک امپدانس دارد پس امپدانس ۳ فاز معنا ندارد.

در صورت مسئله وقتی صحبت از ولتاژ می شود، ولتاژ خطی و توان، توان ۳ فاز می باشد.

تغییر مبنا: می خواهیم این مسأله را در حالت پریونیت حل کنیم:



$$\begin{cases} V_b = 100^V \\ S_b = 500^{VA} \end{cases} \longrightarrow Z_b \rightarrow P_u \quad I_b$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{100^2}{500} = \frac{100 \times 100}{500} = 20\,\Omega$$

∴ پریونیت روی زاویه اثر ندارد.

$$Y_b = \frac{1}{20} = 0.05\,\mho \quad , \quad I_b = \frac{S_b}{V_b} = \frac{500}{100} = 5^A$$

$$V = \frac{100\angle 30^\circ}{100} = 1.0\angle 30^\circ \; P_u$$

$$Z = \frac{10+j5}{20} = 0.5 + j\,0.25 \; P_u \quad , \quad R = \frac{100}{20} = 5^{P_u}$$

$$I = \frac{V}{Z+R} = \frac{1.0\angle 30^\circ}{0.5+j0.25+5} = \frac{100\angle 30^\circ}{5.5+j0.25} = \frac{1.0\angle 30^\circ}{\sqrt{5.5^2+0.25^2}\,/\,\tan^{-1}\frac{0.25}{5.5}} = |I|\angle\phi$$

$$\Rightarrow V = RI = 5 \times |I| \angle\phi \; P_u$$

* بنابراین باید تمام مسأله را بر اساس V_b و S_b در نظر گیریم.

PqPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

∴ اما اگر حال دو مبنا مانند رویرو داشته باشیم می بایست:

if $R_1 = 5^{Pu} \Rightarrow \begin{cases} V_{b1} = 100^{V} \\ S_{b1} = 500^{VA} \end{cases}$ (مبنای اول) & (مبنای دوم که می خواهیم برویم) $\begin{cases} V_{b2} = 200^{V} \\ S_{b2} = 400^{VA} \end{cases}$

$$\Rightarrow Z_{b1} = \frac{V_{b1}^2}{S_{b1}} = \frac{100^2}{500}\ \Omega \Rightarrow R_1 = \frac{100^2}{500} \times 5\ \Omega$$

$$\text{but} \quad Z_{b2} = \frac{V_{b2}^2}{S_{b2}} = \frac{200^2}{400} \Rightarrow R_2 = \frac{100^2 \times 5}{500} \Big/ \frac{200^2}{400}\ Pu$$

$$\Rightarrow R_2 = 5\left(\frac{100}{200}\right)^2\left(\frac{400}{500}\right)$$

«تغییر مبنا»

				توان تقسیم
P_u	Z_1	S_1	V_1	P_{u1}
P_u	Z_2	S_2	V_2	P_{u2}

$$\Rightarrow \boxed{Z_2 = Z_1\left(\frac{S_2}{S_1}\right)\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}$$

* مثال) یک ترانس 20^{kV} و 50^{MVA} دارای راکتانس $X = 0.1\ Pu$ است.

حالا به عنوان مبنا می خواهیم 100^{MVA} و 5^{kV} را در نظر بگیریم. حال راکتانس را در مبنای جدید بیابید.

$$X_2 = 0.1\left(\frac{100}{50}\right)\left(\frac{20}{5}\right)^2 = 16 \times 2 \times 0.1 = 3.2\ Pu$$

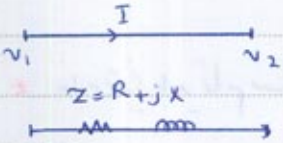
or $\quad Z_{b1} = \frac{20^2}{50} \Rightarrow Z_{b2} = X_2 = \frac{0.1 \times \frac{20^2}{50}}{\frac{5^2}{100}} = 0.1\left(\frac{20}{5}\right)^2\left(\frac{100}{50}\right) = 3.2\ Pu$

فصل سوم: مدلسازی خطوط انتقال:

$Z = R + jL\omega = R + jX$ ← امپدانس سری

$Y = G + jC\omega = G + jB_c$ ← ادمیتانس موازی

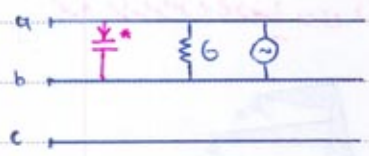
در اثر عبور جریان از سیم ولتاژ V_2 از V_1 کمتر است به دلیل مقاومتی که سیم دارد.



خطوط انتقال سه نوع هستند.

PdPCO

* جریانی خازنی یا خط capacity $B=c\omega$



اگر دمای خط از حدی بالاتر برود خطوط سه فاز عایق می‌شوند و لذا یک جریان نشتی خواهیم داشت. که این خط یک ادمیتانس دارد. از G برای محاسبات صرفنظر می‌شود.

برای مدل کردن آن از G استفاده می‌کنیم، اگر خط به طور صحیح طراحی شود در خط G نخواهیم داشت لذا

$Y = G + jc\omega$

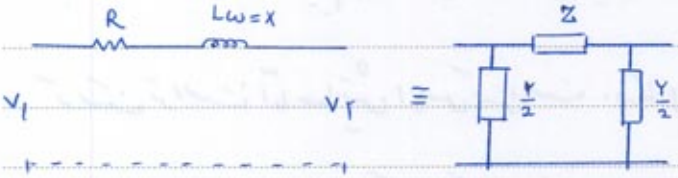
$Y = jc\omega$

دی خاصیت خازنی وجود دارد.

لذا پارامترهای خطوط: C، G و L و R

اگر طول خط انتقال کم باشد c خیلی کوچک است لذا از c هم صرفنظر می‌کنیم پس فقط R و L باقی می‌ماند.

لذا مدل یک خط بصورت روبرو می‌باشد:



" مدل Π "

بنابراین برای مدلسازی خط باید مقادیر R، L و C را داشته باشیم. (ابتدا به محاسبهٔ R و L (امپدانس سری خط) می‌پردازیم. در فصل چهارم به محاسبه G و C می‌پردازیم.

* خطوط انتقال ⟨ خطوط هوایی / کابل زیرزمینی

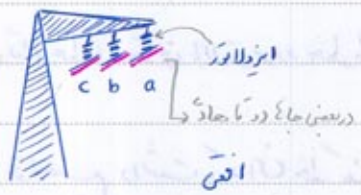
قبل از آغاز محاسبه یک اطلاعات کلی از خطوط انتقال را باید بدانیم:

عمدتاً خطوط هوایی هستند چون هزینه کمتر است ولی در کابل زیرزمینی امنیت خطوط بیشتر است.

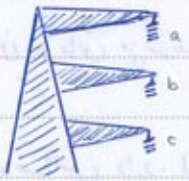
در خطوط هوایی عایق آنها هوا است.

Subject:
Year. Month. Date. ۱۸ ( )

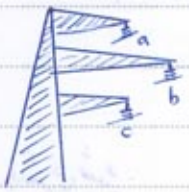
نحوهٔ قرارگیری بُرج‌ها در دکل‌ها: ۱) افقی ۲) قائم ۳) مثلث



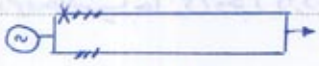
افقی



قائم



مثلث


دو مداره

دکل دو مداره

حفاظت بیشتر (در صورت قطع یک خط)

انواع بُرج‌ها: هادی‌های استفاده شده به صورت رشته‌ای است که بافته شده است و سطح مقطع آن به این شکل است:

جنس رشته‌ها می‌تواند آلومینیم باشد. چون مس جنس سنگینی دارد پس از آلومینیم استفاده می‌شود.

که سبک‌تر است اما هدایتش از مس کمتر است. در کابل‌های زیرزمینی وزن مهم نیست، قیمت ملاک است.

اشکال آلومینیم این است که استحکام مکانیکی آن کم است که برای جبران آن کارخانه یک ماده دیگر به آلومینیم اضافه کرده‌اند (آلیاژ آلومینیم)

* ACSR → مس — آلومینیم با هستهٔ فولاد
A AC → همه رشته‌ها هادی آلومینیم
AAAC → آلیاژ آلومینیم
AcAR → رشته‌ها آلیاژ بقیه آلومینیم — آلومینیم با هستهٔ آلیاژ آلومینیم

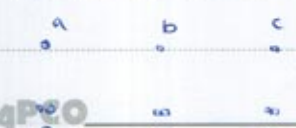
در شرکت برق ما عدم هادی‌هایی که استفاده می‌کنند ACSR است که مغزآن فولاد است.

27AL / 4St

بعضی از دکل‌ها طوری است که از صرفاً دو هادی می‌گذرد.

در اینجا دو تا هادی تشکیل یک فاز روی یک ایزولاتور داده‌اند.

ایزولاتور: برای عایق کردن دکل‌ها از خطوط و جدا کردن از اتصالات آن



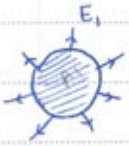
Subject.

Year. Month. Date. (۱۹)

از ۲ تا هم می‌تواند بیشتر باشد مثلاً سه یا چهار تا که به آن باندل گروهی می‌گویند. باندل گروهی ← دوتایی، سه‌تایی، چهارتایی

علت این که باندل می‌کنند: دستی دلتا برای خطوط بالا، بالایی رود میدان کمتری اطراف از یک مقداری که بگذرد محیط اطراف یونیزه می‌شود تشعشع می‌کند به آن پدیده کرونا (Corona) می‌گویند. با رشد میدان از ۳۰۰۰ کیلو ولت بیشتر شود.

عوارض نامطلوب ← اتلاف انرژی، تداخل نابرابری

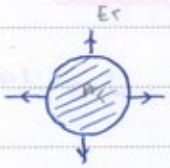


برای رفع مشکل سطح مقطع هادی را زیاد می‌کنیم در همان دلتا زی که بوده، شدت میدان مغناطیسی ضعیف‌تر می‌شود.

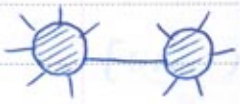
افزایش A

$A_2 > A_1$

$E_2 < E_1$



در وزن مساوی سطح مقطع آلومینیم از مس بهتر است ولذا کابرد آلومینیم بهتر است.



روش دوم این است که از دو هادی استفاده کنیم که جمع دو سطح با A_1 برابر باشد.

افزایش با

$E_4 \rightarrow E_3 < E_1$

هرچه ناصاف دو هادی در تر باشد میدان ضعیف‌تر می‌شود. به همین ترتیب می‌توان از ۳ یا ۴ تا استفاده کرد.

که شدت میدان مغناطیسی کمتر می‌شود. پس یکی از دلایل باندل کردن جلوگیری از وقوع پدیده کرونا است.

هرچه سطح دلتا زیاد تر باشد احتمال رخ دادن پدیده کرونا بهتر است. به همین دلیل است که عمل باندل کردن در سطوح دلتا زیاد است. ولی راکتانس کاهش می‌یابد. هرچه کمتر باشد بهتر است چون باعث افت ولت می‌شود توان راکتیو مصرف می‌کند.

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

$V_1 = V_2 + \overbrace{(R+jX)I}^{Z} \rightarrow V_2 = V_1 - RI - jXI$

PAPCO

پس هرچه X کمتر باشد بهتر است از نظر فنی هرچه X کمتر باشد توان انتقالی از خط هم بیشتر می‌شود.

$$P = \frac{|V_1||V_2|}{X} \cos\delta$$

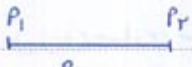
دلایل باندل کردن: ۱) جلوگیری از وقوع پدیده کرونا

۲) رکتانس کاهش پیدا می‌کند. هرچه کمتر باشد بهتر است چون افت ولت ایجاد کرده و توان راکتیو مصرف می‌کند.

با توجه به نوع هادی و آرایش فازها بر روی کابل R و L را محاسبه می‌کنیم.

محاسبهٔ R: ۱- استفاده از جدول

$P_{Loss} = R|I|^2$



۲- استفاده از فرمول: $R_{dc} = \rho\frac{L}{A}$ Ω $\quad R_{ac} = \frac{\text{تلفات خط}}{|I|^2}$

تلفات خط $P_{Loss} = P_1 - P_2$

$$R_{20} = \rho_{20}\frac{L}{A} \rightarrow R_{50} = R_{20}[1+\alpha(50-20)] \rightarrow R_{t_2} = R_{t_1}\left[1+\alpha\underbrace{(t_2-t_1)}_{\Delta t}\right]$$

R_{ac} یک چند درصدی از R_{dc} بزرگتر است. $R_{ac} > R_{dc}$

۱- به دلیل اثر پوستی (تأثیر روی A سطح مقطع هادی)

۲- مارپیچی بودن سیم پیچ ها (تأثیر روی L)

اثر پوستی: اگر جریان فرکانس بالا نداشته باشیم از این قسمت در فرمول استفاده نمی‌کنیم. در حالت dc سطح مقطعی که در تقویتی سیم بزرگتر است.

مثال) فرض کنیم: $R_{dc} = 20\,\Omega$ و مارپیچی بودن سیم پیچ ۴٪ ← اثر پوستی ۲٪

$$R_{dc} = 20\,\Omega \Rightarrow R_{ac} = 20 \times 1.02 = 20.4\,\Omega$$

Subject :

Year . Month . Date . ۲۱

محاسبه امپدانس خط سری : $Z = R + jL\omega$

محاسبه R : $\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$ ، $T = ۲۲۸$ آلومینیم ، T = ثابت حرارتی

در صورت ثابت بودن دما

$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$ یا با استفاده از این فرمول : $\frac{V}{I} = R$

با بازای R_2 نسبتی به میزان α دارد . همچنین باید اثر پوستی و مارپیچی بودن سیم پیچ را هم در نظر بگیریم .

در محاسبه R هادی های دیفرنس نداریم یعنی لازم نیست آرایش هادی های دیگر را بدانیم .

a ۴m b ۸m c

a

b c

اما بعداً می بینیم که آرایش هادی ها در محاسبه اندوکتانس نسبی دارد .

محاسبه اندوکتانس : در محاسبه اندوکتانس بین شار و جریان یک رابطه خطی است به شرطی که هادی در ناحیه اشباع نشود . یعنی اگر Φ را زیاد کنیم I هم زیاد می شود اما این نسبت آنها ثابت است :

$\frac{\Phi}{I} = L$

* برای محاسبه اندوکتانس این خط : دو نقطه را در نظر می گیریم . وقتی جریان عبور می کند

۱m

۲

در اطراف هادی شاری ایجاد می شود . ابتدا شاری را ایجاد می شود در نقطه ۱ و ۲ حساب می کنیم بعد اگر این نقطه را روی سطح بیاوریم شار کل بدست می آید .

۱ ۲ dx

$l = ۱m$

$d\Phi = dx \cdot l \cdot B \rightarrow d\Phi = B \cdot dx$

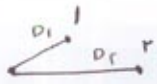
$B = \mu \cdot H$

H H ds

قانون آمپر : $I = \oint H\, ds \Rightarrow I = H \cdot ۲\pi x \rightarrow H = \frac{I}{۲\pi x}$

$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{۲\pi x} \Rightarrow d\varphi = \frac{\mu_0 I}{۲\pi x} dx$

PqPCO



شار بین دو نقطه ۱ و ۲ $\Phi_{12} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1}$

Subject:

Year. Month. Date. (۲۲)

$$\Phi_{12} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} dx \Rightarrow \Phi_{12} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{D_1}^{D_2} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

$$\Phi_{12} = \left[\frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \right] I \rightarrow L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \ H/m$$

بنابراین فرمول اندوکتانس استوانه:

$$L_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \ H/m$$

$$L_2 = 2\times10^{-7} \ln \frac{D}{r} \quad \text{چون: } \mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$$

نکته این است که چون استوانه توپر است در داخل حادی هم شار داریم پس در کنار شار داریم که باید با هم جمع کنیم:

پس برای محاسبه L داخلی کل این را در سطح متقطع در نظر می‌گیریم: Φ داخلی $= \int_0^r d\Phi$

$$= \int_0^r \left(\frac{r^2}{a^2}\right) \frac{\mu_0 I r}{2\pi a^2} dr = \frac{\mu_0 I}{8\pi}$$

پس اندوکتانس داخلی هم به همین ترتیب حساب می‌شود و لذا اندوکتانس کل حادی خواهد بود:

$$L = L_1 + L_2 \rightarrow \boxed{L = \frac{\mu_0}{8\pi} + \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D}{r}}$$

در کتابها این رابطه را به فرمهای مختلف نوشته‌اند. مثلاً:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r} \right)$$

$$L = 2\times10^{-7} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r} \right) \rightarrow L = 2\times10^{-7} \left(\ln \frac{D}{e^{-\frac{1}{4}} r} \right) \Rightarrow L = 2\times10^{-7} \ln \frac{D}{0.7788 r}$$

$e^{-\frac{1}{4}} = 0.7788$

بنابراین در کتاب فرمول شده: $\boxed{L = 2\times10^{-7} \ln \frac{D}{r'}}$ اندوکتانس داخلی را هم در نظر گرفته

$r' = 0.7788\, r$ ، r = شعاع سلول

اندوکتانس حفظ $\boxed{L = 2\times10^{-7} \ln \frac{D}{r}}$ از اندوکتانس داخلی صرفنظر

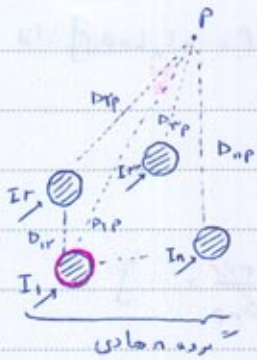
r = شعاع کادی

PAPCO

Subject :

Year . Month . Date . (۲۳)

* امّا در عمل همیشه چند ε دی داریم پس حالای خواهیم اندوکتانس چند ε دی را محاسبه کنیم :



توجه : شار پیوند با یک هادی واقع در گروه n هادی :

حالا در این گروه هادی یک هادی مثلاً هادی ۱ را در نظر می گیریم .

$L_1 = ?$

از هادی ۱ یک شار I_1 عبور می کند و یک شار ناشی از I_2 ، I_3 ، ... ، I_n .

پس کل شار پیوست با هادی ۱ را محاسبه می کنیم :

$\Psi_1 P_1$ شار ناشی از جریان I_1

$\Psi_1 P_2$ + شار ناشی از جریان I_2

$\Psi_1 P_n$ + ⋮

جمع شار کل $\Psi_1 P = \Psi_1 P_1 + \Psi_2 P_2 \dots + \Psi_1 P_n$

$\Psi_1 P_1 \propto I_1$ ، $\Psi_1 P_1 = k \cdot I_1$

$\Phi = Li$

شار ناشی از ε دی P_1 که صورتش نقطه ۱ و P_1 و با هادی ۱ لینکج دارد $\Psi_1 P_1 = 2\times10^{-7} I_1 \ln \frac{D_{1P}}{r_1}$

شار ناشی از هادی P_2 که صورتش نقطه ۱ و P_1 و با هادی ۱ لینکج دارد $\Psi_1 P_2 = 2\times10^{-7} I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{12}}$

$\Psi_1 P_3 = 2\times10^{-7} I_3 \ln \frac{D_{3P}}{D_{13}}$

⋮

$\Psi_1 P_n = 2\times10^{-7} I_n \ln \frac{D_{nP}}{D_{1n}}$

$$\Psi_1 P = 2\times10^{-7}\left[I_1 \ln \frac{D_{1P}}{r_1} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{12}} + \dots + I_n \ln \frac{D_{nP}}{D_{1n}} \right]$$

امّا یک فرض هم برای ساده سازی داریم : $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$

P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ۲۴

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

لذا: (*)

$$* \quad I_n \ln D_{nP} = (-I_1 - I_2 - I_3 \cdots - I_{n-1}) \ln D_{nP}$$

در حد $D_{12} \simeq D_{nP}$

$$\Psi_{1P} = 2\times10^{-7}\left[\ \text{//}\ \right] + 2\times10^{-7}\left[I_1 \ln\frac{D_{1P}}{D_{nP}} + I_2 \ln\frac{D_{2P}}{D_{nP}} + I_3 \ln\frac{D_{3P}}{D_{nP}} + \cdots\right]$$

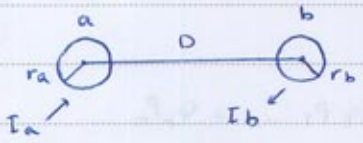
$$\Psi_{1P} = 2\times10^{-7}\left[I_1 \ln\frac{1}{r_1} + I_2 \ln\frac{1}{D_{12}} + \cdots\right]$$

تنها پتانسیل با هادی یک

$$\rightarrow \quad \boxed{\Psi_{1P} = 2\times10^{-7}\left[I_1 \ln\frac{1}{D_{11}} + I_2 \ln\frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln\frac{1}{D_{13}} + \cdots\right]}$$

محاسبه اندوکتانس خط کفاز: (ساده)

یعنی دیگر با زمین کاری نداریم



$L_a = ?$ $\quad L_b = ?$

اندوکتانس خودی — اندوکتانس متقابل — $I_a = -I_b$

$$\Phi_a = 2\times10^{-7}\left[I_a \ln\frac{1}{r'_a} + I_b \ln\frac{1}{D_{ab}}\right] = 2\times10^{-7} I_a\left[\ln\frac{1}{r'_a} - \ln\frac{1}{D}\right]$$

$$\Phi_a = 2\times10^{-7} I_a \ln\frac{D}{r'_a} \rightarrow \Phi_a = \underbrace{\left[2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r'_a}\right]}_{L_a} I_a$$

$$\boxed{L_a = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r'_a}} \qquad \boxed{L_b = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r'_b}} \quad H/m$$

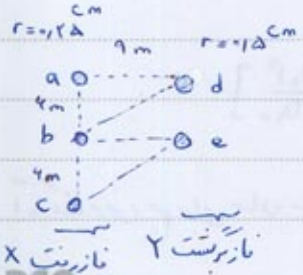
اثر عل در یک خط کفاز:

$r_a = r_b = r \Rightarrow L_a = L_b = L = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r'}$

پس می بینیم که اندوکتانس به فاصله و نحوه آرایش هادی ها بستگی دارد.

* خط کفاز { ساده / مرکب }

خط کفاز مرکب:



PqPCO

Subject:

Year. Month. Date. ۲۹

برای حل این گونه مسائل ۳ فاز دی دیگر نیز رابرمی دارند و بجای آن هاکه هادی با GMR (شعاع متوسط) قرار می دهند. برای بازگشت هم همین طور. سپس فاصله بین دو رابم به طور متوسط در نظر گرفته می شوند (GMD)

GMD فاصله متوسط هندسی

در اینجا برای محاسبه GMD:

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

$$= \sqrt{9 \times \sqrt{117} \times \sqrt{117} \times 9 \times 15 \times \sqrt{117}} = 10/743 \text{ m}$$

بازرفت GMR:

$$GMR = \sqrt[9]{\underbrace{r_a \cdot ab \cdot ac}_{D_{sa}=r'a} \cdot r_b \cdot ab \cdot bc \cdot r_c \cdot bc \cdot ac}$$

فاصله هادی a از خودش و از دو تای دیگر

$$= \sqrt{0/7788 \times 10^{-2} \times 0/7788 \times \dots} = 0/481 \text{ m}$$

بازگشت GMR:

$$GMR = \sqrt[4]{r_d \cdot de \cdot r_e \cdot de} = \sqrt{0/7788 \times 10^{-2} \times 0/7788 \times \dots} = 0/153 \text{ m}$$

همین مثال نشان می دهد که باندل کردن شعاع دی را زیاد می کند پس L کمتر می شود.

$$GMR = \sqrt[4]{r \cdot d \cdot r \cdot d} = \sqrt{rd}$$

در باندل دو تایی

به همین دلیل است که می گویم باندل کردن باعث کاهش اندوکتانس می شود.

اندوکتانس بازرفت $L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{(GMR)_x}$ (مقایسه شود با $L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r}$)

$$\rightarrow L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{10/743}{0/481} = 6/212 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

اندوکتانس بازگشت $L_y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{10/743}{0/153} = 8/503 \times 10^{-7} \text{ H/m}$ $\quad X = 2\pi f L \ \Omega/\text{m}$

P4PCO

$X = L\omega\ \Omega/m \times m = \Omega$

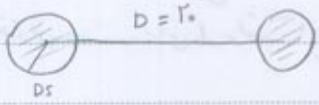
Subject:

Year. Month. Date. ۲۶

مثال) راکتانس القایی ۱ mile کابل در فرکانس $f = 60\ Hz$ و هادی از نوع ACSR و فاصله بین آنها ۲۰ ft را حساب کنید.

Partridge

راه حل اول:



ACSR partridge $f = 60\ Hz$ $X_L\ \Omega/mile$

$L = 2\times10^{-7} \ln \frac{D}{D_s}\ H/m$ ACSR partridge $\xrightarrow{\text{جدول A-1}}$ $D_s = GMR = 0.0217\ ft$

$L = 2\times10^{-7} \ln \frac{20}{0.0217}\ H/m \rightarrow X = 2\pi 60 \times 2\times10^{-7} \ln \frac{20}{0.0217}\ \Omega/m \times 1609 = 0.18285\ \Omega/mi$

L_ω

راه حل دوم با استفاده از جدول:

$X = 2\times10^{-7} \times 2\pi 60 \ln \frac{D}{D_s} = \underbrace{2\times10^{-7} 2\pi 60 \ln \frac{1}{D_s}}_{x_a} + \underbrace{2\times10^{-7} \times 2\pi 60 \ln D}_{x_d}$

* راکتانس دو تا هادی وقتی فاصله برابر با 1ft باشد ($D = 1$) آنرا فاصله دو هادی 1ft بودیم چون دوم وجود نداشت.

x_a = راکتانس القایی یا فاصله دو هادی از خود (A-1) ، x_d = راکتانس برحسب فاصله دو هادی (A-2)

x_a با توجه به نوع هادی و کد آن بدست می آید.

Partridge $\xrightarrow{\text{جدول A-1}}$ $x_a = 0.465\ \Omega/mi$

+

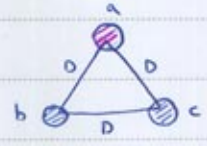
x_d به نوع کدی بستگی ندارد فقط به فاصله دو کد بستگی دارد. $\xrightarrow{\text{جدول A-2}}$ فاصله دو هادی $x_d = 0.4635\ \Omega/mi$

$X = 0.18285\ \Omega/mi$

محاسبه اندوکتانس (راکتانس القایی) خط سه فاز:

- سه فاز ساده
- سه فاز باندل
  - فواصل هادیها برابر
    - برابر
    - دوتایی
    - سه تایی
    - چهارتایی
  - فواصل هادیها نابرابر

۱) محاسبه اندوکتانس خط سه فاز ساده: (با فواصل برابر)



$L_a = L_b = L_c = L\ H/m$

$X = 2\pi F L\ \Omega/m \times 1000\ \Omega/km \times 1609\ \Omega/mi$

Subject.

Year. Month. Date. ۲۷

برای محاسبه L باید از شار شروع کنیم :

$$\Phi_a = 2\times10^{-7}\left[I_a \ln\frac{1}{D_{sa}} + I_b \ln\frac{1}{D_{ba}} + I_c \ln\frac{1}{D_{ca}} \right]$$

$$\Phi_a = 2\times10^{-7}\left[I_a \ln\frac{1}{D_s} + \underbrace{(I_b + I_c)}_{-I_a} \cdot \ln\frac{1}{D} \right]$$

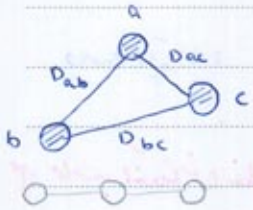
$$\Phi_a = 2\times10^{-7} I_a \ln\frac{D}{D_s} = \left[2\times10^{-7}\ln\frac{D}{D_s}\right] I_a$$

بنابراین شار عبوری از لینکج a را به جریان عبوری از خودش مرتبط کردیم.

$$\frac{\Phi_a}{I_a} = L_a$$

$$\Rightarrow \boxed{L_a = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{D_s}} \quad H/m$$

۲) محاسبه اندوکتانس سه فاز ساده : (با فواصل نابرابر)



ابتدا فواصل هادی‌ها را با شکل مثلث متساوی الاضلاع به طور تقریب جایگزین می‌کنیم.

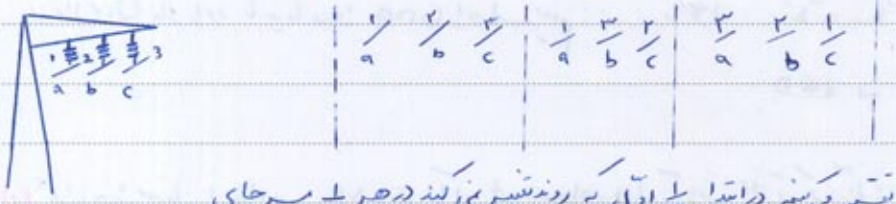
$$D_{ab} \neq D_{bc} \neq D_{ac} \qquad D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}\cdot D_{bc}\cdot D_{ac}} \qquad L = 2\times10^{-7}\ln\frac{D_{eq}}{D_s}$$

پس در رابطه ها را ترتیب زدیم (این را برای هر سه فاز بنویسید.)

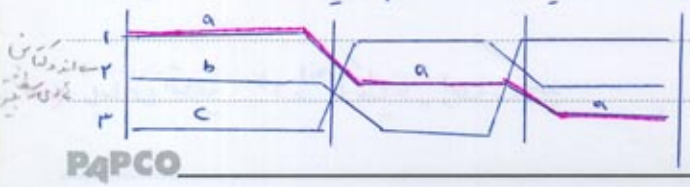
$$L_a = L_b = L_c = L = 2\times10^{-7}\ln\frac{D_{eq}}{D_s}$$

برای کاهش خطا فرض می‌کنیم : ۱) طول خطوط کم باشد ۲- عمل جابجایی (Transposition) عمل ترانسپوز

مفهوم ترانسپوز:



یعنی مسیر را مثلاً به سه قسمت تقسیم می‌کنیم در ابتدا $\frac{1}{3}$ اول که رود تغییر می‌کند در هر $\frac{1}{3}$ مسیرهای



ایزدلاتور ٤ تغییر می‌کند.

PdPCO

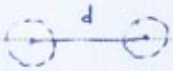
Subject:
Year. Month. Date. ۲۸

عمل جابجایی را برای خطوط طولانی انجام می دهند تا اندوکتانس متقابل هادیها متعادل می شود چون ضرباه هادی علیرغم نامساوی بودن فواصل فازها

وسط قرار گیرد اندوکتانس ماکزیمم را داراست.

۳) محاسبه اندوکتانس خط سه فاز باندل: (فواصل برابر)

$L = 2\times10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR}$ ← باندل



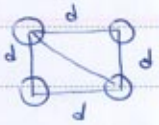
$D_s = GMR$ تک

$(GMR)^b = \sqrt[4]{D_s \cdot d \cdot D_s \cdot d}$ ← باندل

$(GMR)^b = \sqrt{d \cdot D_s} = D_s^b$ ← دوتایی

$D_s^b = \sqrt[3]{d^2 \cdot D_s}$ ← سه تایی

$D_s^b = 1.09\sqrt[4]{d^3 \cdot D_s}$ ← چهارتایی



در مورد چهارتایی:

$D_s^b = (GMR)^b = \sqrt[4]{D_s \cdot d \cdot d \cdot \sqrt{2}\, d} = \sqrt[4]{\sqrt{2}\, d^3 D_s} = 1.09\sqrt{d^3 D_s}$

۴) محاسبه اندوکتانس خط سه فاز باندل: (با فواصل نابرابر)

$d \ll D$

$(GMR)^b = \sqrt{d \cdot D_s}$ ← هادی

$GMD = D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}}$

$d \ll D$

چون فاصله ها زیاد است کریز باندل کافی است برای D ولی اگر فاصله دو هادی (مثلاً a و a') از هم زیاد باشد دیگر

نمی توان آن را کرد باید فاصله GMD را حساب کنیم: $D_{ab} = \sqrt[4]{ab \cdot ab' \cdot a'b \cdot a'b'}$ $d \not\ll D$

$d \ll D$

مثال) یک خط سه فاز هادی ACSR با کد pheasant و دارای آرایش افقی که در آن: (باندل دوتایی)

الف) راکتانس القایی km ۱ از هر فاز را حساب کنید.

Subject:

Year. Month. Date. ۲۹

ب) اگر طول خط $120\ km$، توان مبنا $100\ MVA$ و ولتاژ مبنا $345\ kV$ باشد، راکتانس القایی را برحسب پریونیت حساب کنید.

$$L = 2\times10^{-7}\ \ln\frac{D_{eq}}{D_s^b}\ \ H/m \qquad D_{eq} = \sqrt[3]{8\times8\times16} = 10.08\ m$$

$$D_s^b = \sqrt{d\cdot D_s} = \sqrt{0.25\times0.0229\times0.3048} = 0.08\ m$$

D_s از جدول A-1 GMR

$$\text{Pheasant} \xrightarrow{A-1} D_s = GMR = 0.0229\ ft \times 0.3048\ m$$

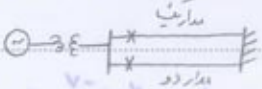
$$X = 2\pi\times60\times2\times10^{-7}\ln\frac{10.08}{0.08}\ \Omega/m \times 1000 = 0.1426\ \Omega/km/ph$$

تا $x_{1409} = 0.0547\ \Omega/mil/ph$

$$X_{ab} = 140\ km \times 0.1426\ \Omega = 58.14\ \Omega$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{345^2}{100} = 1190\ \Omega \qquad X_{pu} = \frac{58.14}{1190} = 0.049\ pu$$

* خط انتقال دو مداره: (دوبل)



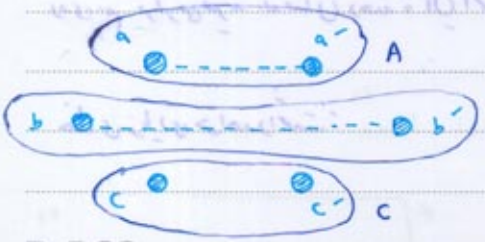
۱) روش تقریبی:

در صورتیکه فاصله دو مدار از هم زیاد باشد تا القای متقابل نداشته باشند، می‌توان این‌گونه

که هر کدام از مدارها را در نظر گرفته و بعد مقدار اندوکتانس بدست آمده را با ۲ تقسیم می‌کنیم.

۲) روش دقیق:

در واقع فقط از لحاظ محاسباتی فرض می‌کنیم که یک خط انتقال است که باندل شده است (در صورتیکه در واقعیت باندل نیست).



در باندل واقعی: d خیلی کوچکتر از فاصله‌ها است. $d \ll D$

(زمانیکه باندل واقعی نیست و $d \ll D$)

بنابراین برای محاسبه D_{eq}: در محاسبه آن مجاز نیستیم مرز aa'، bb'

را نسبت به هم بیابیم.

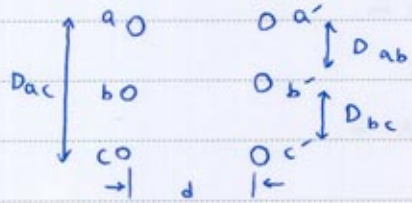
Subject:
Year. Month. Date. (۳۰)

$L = ۲\times۱۰^{-۷} \ln \frac{GMD}{GMR} = ۲\times۱۰^{-۷} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^b}$ ، $D_{eq} = \sqrt[۳]{D_{ab}\cdot D_{bc}\cdot D_{ac}}$: دربندل واقعی داریم

$d \ll D$

$D_s^b = (GMR)^b = \sqrt{d\cdot D_s}$ که $d = aa' = bb' = cc'$

دربندل واقعی: که $d \ll D$



دربندل واقعی d $aa' = bb' = cc' = d$ ولی دربندل غیر واقعی این طور نیست

آیا دربندل غیر واقعی: (مثل خط بندل در تابی فرض کردیم.)

$D_{ab} = \sqrt[۴]{ab'\cdot ab\cdot a'b\cdot a'b'}$ & $D_{bc} = \sqrt{bc\cdot bc'\cdot b'c\cdot b'c'}$ & $D_{ac} = \sqrt{ac\cdot ac'\cdot a'c\cdot ac'}$

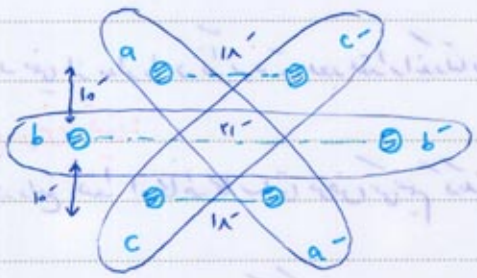
* هرچه GMD کمتر و GMR بیشتر باشد، L کمتر خواهد شد و این نوع آرایش برای ما بهتر خواهد بود.

$D_s^{aa'} = \sqrt{aa'\cdot D_s}$ ، $D_s^{bb'} = \sqrt{bb'\cdot D_s}$ ، $D_s^{cc'} = \sqrt{cc'\cdot D_s}$

$D_s^{Pc} = \sqrt[۹]{D_s^{aa'}\cdot D_s^{bb'}\cdot D_s^{cc'}}$ ، $L = ۲\times۱۰^{-۷} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^{Pc}}$

(متوسط هندسی)

مثال) نوع آرایش باندل را در این مثال تعیین دادیم؟



حال اگر فاصله مرکز تا مرکز هادادیم در نظر بگیریم می بینیم که

وضعی هم قرار می گیرند که نشان دهنده آن است که این ترتیب،

$D_{ab} = \sqrt[۴]{ab'\cdot ab\cdot a'b\cdot a'b'} = \sqrt[۴]{۲۱,۹\times۱۰۰۱\times۲۱,۹\times۱۰۰۱} = ۱۴,۸۸\ ft$ خطای زیادی خواهد داشت:

$D_{bc} = \sqrt[۴]{bc\cdot bc'\cdot b'c\cdot b'c'} = ۱۸,۹۸\ ft$ & $D_{ac} = \sqrt[۴]{ac\cdot ac'\cdot a'c\cdot a'c'} = ۱۴,۸۸\ ft$

P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. (۳۱)

نوع هادی : ACSR ostrich $\xrightarrow{\text{از جدول}}$ $D_s = 0.0229'$

$D_s^{aa'} = \sqrt{aa' \cdot D_s} = \sqrt{26.4 \times 0.0229} = 0.7850'$ & $D_s^{bb'} = \sqrt{bb' \cdot D_s} = \sqrt{21 \times 0.0229} = 0.694'$

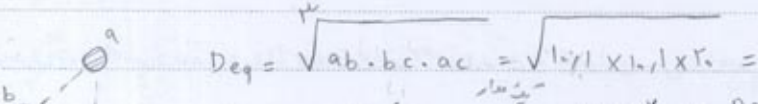
$D_s^{cc'} = \sqrt{cc' \cdot D_s} = \sqrt{26.4 \times 0.0229} = 0.7850'$ $\Rightarrow D_s^{pc} = \sqrt[3]{0.7850 \times 0.793 \times 0.7850} = 0.7852'$

$D_{eq} = \sqrt[3]{14.88 \times 18.98 \times 12.88} = 14.134'$

$\Rightarrow L_y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{14.134'}{0.7852'} = 7.13 \times 10^{-7} \ \frac{H}{m/ph}$ $\rightarrow X = 2\pi f L = 2\pi \times 60 \times 7.13 \times 10^{-7} \ \frac{\Omega}{m} \times 1000 \rightarrow \frac{\Omega}{km}$

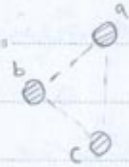
$\times 16.9 \rightarrow 0.1205 \ \frac{\Omega}{mile}$

مثال : محاسبه راکتانس القایی این مدل



$X = 37.2\ \Omega$

روش تقریبی :



$D_{eq} = \sqrt[3]{ab \cdot bc \cdot ac} = \sqrt[3]{10.1 \times 10.1 \times 20} = 12.683$

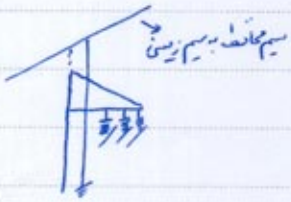
$D_s = 0.0229'$ $\Rightarrow L_1 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s}$ (به ازای هر متر)

* L را از این روش که حساب کردیم نسبت به روش دقیق حدود سه درصد خطا خواهیم داشت.

$\text{مقدار خطا} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 = +3\%$ ✓ (تقریبی − دقیق)

$\epsilon\% = \frac{0.3831 - 0.3723}{0.3723} \times 100 = \%3$ (خطا = (مقدار تقریبی − مقدار دقیق) / مقدار دقیق)

* هوای محافظت سیمی از خطوط فاز مستقیم به زمین وصل می‌شود.



سیم‌هایی که روی تیرک بالای دکل قرار دارند برق‌دار نیستند به سیم‌ها و محافظ زمین خوانده می‌شوند.

در صورت صاعقه منفی زیر را داریم:

امواج ناشی از برخورد برق موج ناشی از برخورد برق را به زمین وصل می‌کنند. موج به سیم گارد برخورد کرده، به زمین می‌رود و دوباره به سیم‌های فاز می‌رسد.

* این فاصله آن‌قدر کم است که می‌توان مانند Δ فرض کرد.

PqPOO

خط محافظ : این خط نام دارد ground wire یا ground line

Subject:
Year. Month. Date. ۳۳ ( )

القاء الکترومغناطیسی :

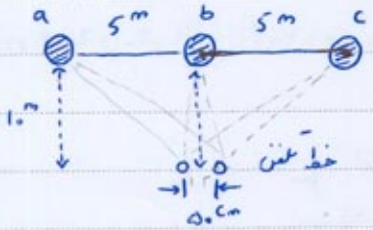
۱) اثرات پدیده‌ی : خطوط انتقال به علت عبور جریان میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند و به علت ولتاژی که دارند میدان الکتریکی ایجاد می‌کنند. روی بدن انسان اثراتی دارد.

۲) اثرات تداخل مخابراتی : خط انتقال اگر نزدیک خطوط مخابراتی باشد در خط مخابرات ولتاژ القا کرده و در نتیجه ایجاد نویز می‌کند.

تمرین) ولتاژ القا شده در هر کیلومتر خط آهن را محاسبه کنید.

از جریان تداخل کننده از خطوط مخابراتی صرفنظر کنید. $0.2\ \frac{k\Omega}{A}$

(خط ۳ فاز)



(خط ترانسپوز شده نیست)

$I_a = 200\angle 0^\circ\ A \qquad I_b = 200\angle -120^\circ\ A \qquad I_c = 200\angle 120^\circ\ A$

چون آن ترانسپوز باشد، ولتاژ القا شده صفر است. یک گروه ۵ هادی می‌خواهیم ولتاژی که در (۱) القا می‌شود $jw\Phi_a = V_a$

می‌بایست شار پیوست با خطوط آهن را بیابیم. و سپس از آن مشتق می‌گیریم.

شار پیوندی از خط ۱ و ۲ در خط آهن $\Phi_{12} = 2\times10^{-7}\left[I_a \ln\frac{D_{a2}}{D_{a1}} + I_b \ln\frac{D_{b2}}{D_{b1}} + I_c \ln\frac{D_{c2}}{D_{c1}}\right]$

نزدیک‌ترین فاصله‌ی ۱ و ۲ در خط آهن

$D_{a2} = D_{c1} = \sqrt{100 + (5.5)^2} = 11.41$

$D_{a1} = D_{c2} = \sqrt{10^2 + 25} = 11.2$

$\Phi_{12} = 2\times10^{-7}\left[200\angle 0 \ln\frac{11.41}{11.2} + 200\angle 120^\circ \ln\frac{11.2}{11.41}\right]$

$\ln\frac{11.41}{11.2} = 0.02 \qquad \ln\frac{11.2}{11.41} = -0.02$

$\Phi_{12} = 2\times10^{-7}\times200\times0.02\left[1\angle 0 - 1\angle 120^\circ\right] = 8\times10^{-7}\left[1.5 - j0.86\right] = 1.3\times10^{-6}\angle -29.82$

$1\angle 0 - 1\angle 120^\circ = 1 - (-0.5 + j0.86) = 1.5 - j0.86 \qquad 1.72\angle -29.82$

PaPOO

Subject:
Year. Month. Date. ۳۳

$V = j\omega \Phi_{12} = j\,2\pi\,30 \times 1,274 \times 10^{-7} \angle -29,87^\circ = 24,052 \times 10^{-3} \angle 60,13^\circ$

$Y = G + j\overline{C\omega}^{B}$ → محاسبه C

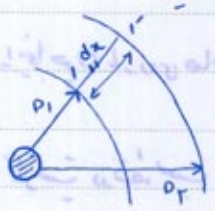
فصل چهارم) محاسبه ادمیتانس موازی خطوط :

برای اینکه ظرفیت را محاسبه کنیم، می بایست میدان الکتریکی اطراف بار را محاسبه کنیم :

برای این منظور شدت میدان الکتریکی در اطراف استوانه هادی را بدست می آوریم :

شدت میدان الکتریکی $E = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 x}$ $\frac{V}{m}$ ضریب نفوذ دی الکتریکی

ضریب نفوذ الکتریکی $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$



* اختلاف پتانسیل در دو نقطه خارج هادی :

کار انجام شده برای انتقال بار از نقطه ۱ به ۲ عبارت است چون میدان در دو نقطه ۱ و ۲ باهم برابر است . اما برای آنکه بار واحد را از نقطه ۱ به ۲ ببریم نیاز به صرف انرژی دارد.

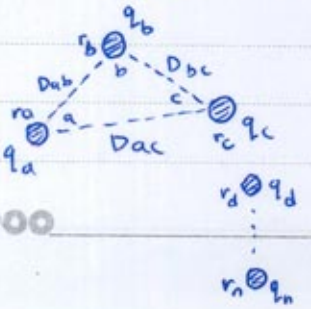
بنابراین : اگر اختلاف پتانسیل را با بیشتر دهیم آن قسمت ثابت ظرفیت می شود .

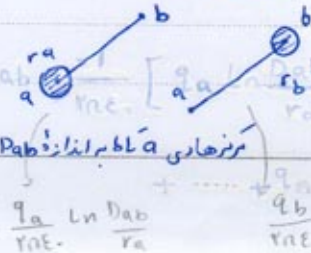
$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 x}\,dx \;\underset{\text{جابجایی}}{=}\; \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\int_{D_1}^{D_2}\frac{dx}{x} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D_2}{D_1}$$

$$V_{12} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D}{r} \qquad \rightarrow q = CV \;\; \text{یا} \;\; V = \frac{1}{C}q$$

اگر نقطه ۱ را روی سطح بیاوریم :

قضیه : اختلاف پتانسیل بین دو هادی واقع در میان n هادی





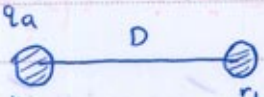
$$V_{ba} = \frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D_{ba}}{r_b}$$

$\frac{q_a}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D_{ab}}{r_a}$ $\frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_b}{D_{ab}}$

PqPOO

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln\frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln\frac{r_b}{D_{ab}} + q_c \ln\frac{D_{cb}}{D_{ca}} + \dots + q_n \ln\frac{D_{nb}}{D_{na}}\right]$$

محاسبه کاپاسیانس خط انتقال:

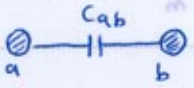


$$q_a + q_b = 0 \quad , \quad r_a = r_b = r$$

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln\frac{D}{r_a} + q_b \ln\frac{r_b}{D}\right] = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} q_a \ln\frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}$$

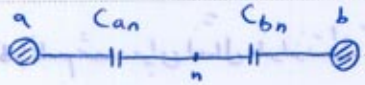
$$\xrightarrow{\text{معمولاً } r_a = r_b = r} V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} 2q_a \ln\frac{D}{r} \Rightarrow V_{ab} = \underbrace{\left[\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D}{r}\right]}_{\frac{1}{C_{ab}}} q_a$$

$$\Rightarrow C_{ab} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}}$$



خط انتقال

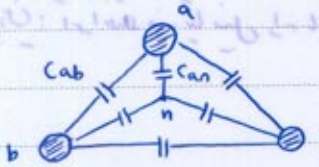
در اینجا چون بار روی هادی است بنابراین همه جا شعاع است نه شعاع متوسط $D/2$.



اما ظرفیت در نقطه n نسبت به نقطه a:

$$C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln D/r} \qquad \frac{C_{an}}{2} = C_{ab}$$

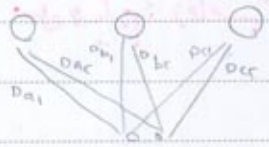
اهمیت این موضوع در خطوط سه فاز مشخص می‌شود.



PqPOO

Subject.

Year. Month. Date. ( )



$$\Phi_{12} = 2\times10^{-7}\left[I_a \ln\frac{D_{ac}}{D_{a1}} + I_b \ln\frac{D_{bc}}{D_{b1}} + I_c \ln\frac{D_{cc}}{D_{c1}}\right]$$

$$D_{ac} = D_{c1} = \sqrt{10^2 + (0.5)^2} = 11.18$$

$$D_{ac} = D_{cc} = \sqrt{100 + 25} = 11.2$$

$$\Phi_{12} = 2\times10^{-7}\left[200\angle 0 \ln\frac{11.18}{0.2} + 200\angle 120 \ln\frac{11.2}{0.2}\right]$$

$$\Phi_{12} = 2\times10^{-7}\times 200\times 4.025\left[1\angle 0 - \angle 120\right] = 8\times10^{-7}\left[1.5 - j0.87\right] = 1.732\times10^{-6}\angle -29.8$$

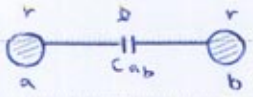
$$1.5 - j0.87 = 1.732\angle -30$$

$$V = j\omega\Phi_{12} = j2\pi\times50\times1.732\times10^{-6}\angle -29.8 = 1.08\times10^{-3}\angle 60.2$$

$$B_c = \frac{1}{X_c}$$

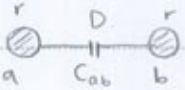
Subject:
Year. Month. Date. ( ) ۳۵

فصل چهارم: (محاسبه کاپاسیتانس)



$$C_{ab} = \frac{\pi \varepsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \quad F/m$$

مثال: سوسپانس یک خط گذار (خازنی) با هادیهای ACSR، هادیهای با ماده Partridge و



$B_c = j\omega C = j2\pi f C$ را حساب کنید. $f = 60\ Hz$ ، $D = 20'$

$$C = \frac{\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{20'}{0.0268}} \quad F/m$$

جدول A-1 $r = \frac{0.642''}{2 \times 12} = 0.0268'$ شعاع ـ تیت

$$B_c = j2\pi 60 \times C \times 1609 = 2.55 \times 10^{-6} \quad \Omega/mi$$

$$B_c = j2\pi 60 \times C \times 1000 = \quad \Omega/km \qquad X_c = \frac{1}{2.55 \times 10^{-7}} = \frac{10^7}{2.55} = 0.3921 \times 10^7 \ \Omega/mile$$

راکتانس خازنی

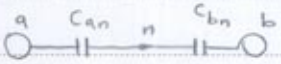
$X_c = X'_a + X'_d$ (X'_a ↓ A-1، X'_d ↓ A-3)

با استفاده از جدول: نوع هادی $X'_a = 0.1074 \times 10^7 \ \Omega\text{-mi}$

فاصله دو کابل $20'$ $X'_d = 0.0889 \times 10^7 \ \Omega\text{-mi}$

$$X_c = 0.1963 \times 10^7 \ \Omega\text{-mi}$$

$$B_c = \frac{1}{0.1963 \times 10^6} = \frac{1}{0.1963} \times 10^{-6} \ \Omega/mi = j\omega C$$



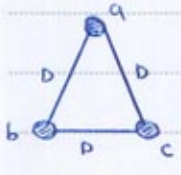
$C_{an} = C_{bn}$

اگر بخواهیم از اثر اثر نیمه سه دورشی بایم صرف نظر کنیم باید رابطه زیر را بنویسیم:

$$C_{an} = \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln D/r}$$

لذا برای خط گذار ما راکتانس خط احتیاج داریم بنابراین از جدول استفاده کنیم برای دسته C_{ab} باید C_{an} را در $\frac{1}{2}$ ضرب کنیم یا X_c بدست آمده را در ۲ ضرب کنیم. در خط ۳ فاز C_{an} را لازم داریم و در خط گذار C_{ab} را لازم داریم.

محاسبه کاپاسیتانس خط سه فاز: (با فواصل مساوی)



$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ab}} + q_c \ln \frac{D_{bc}}{D_{ac}}\right]$$

Subject:

Year. Month. Date. ( )

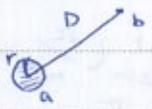
$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln\frac{D}{r} + q_b \ln\frac{r}{D} + q_c \ln\frac{D}{D}\right]$$

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln\frac{D}{r} + q_b \ln\frac{r}{D}\right] \qquad q_a + q_b + q_c = 0$$

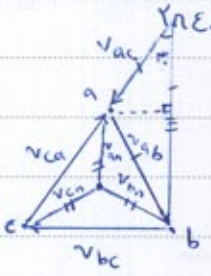
$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln\frac{D}{r} + q_c \ln\frac{r}{D} + q_b \ln\frac{D}{D}\right]$$

$$\rightarrow V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[2q_a \ln\frac{D}{r} + q_b \ln\frac{r}{D} + q_c \ln\frac{r}{D}\right] =$$

$$(q_b + q_c) = -q_a$$



$$= \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[2q_a \ln\frac{D}{r} + q_a \ln\frac{D}{r}\right] = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} 3q_a \ln\frac{D}{r}$$



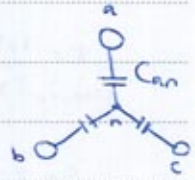
در دیاگرام برداری:

$$\frac{V_{ab} + V_{ac}}{2} = V_{ac}\cos 30 = V_{ac}\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$V_{ab} + V_{ac} = \sqrt{3}\, V_{ac} = \sqrt{3}\, V_{ab}$$

$$V_{ab} + V_{ac} = \sqrt{3}\cdot\sqrt{3}\, V_{an}$$

$$V_{ab} + V_{ac} = 3 V_{an} \rightarrow 3 V_{an} = \frac{3q_a}{2\pi\varepsilon_0} \ln\frac{D}{r}$$



$$V_{an} = \underbrace{\left[\frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln\frac{D}{r}\right]}_{\frac{1}{C_{an}}} q_a$$

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}}$$

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}} \ F/m$$

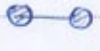
۲) محاسبهٔ کاپاسیتانس خط سه‌فاز با فواصل غیرمساوی:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}\cdot D_{bc}\cdot D_{ac}}$$

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{r}} \ F/m$$

۳) محاسبهٔ کاپاسیتانس خط سه‌فاز با هادی‌های بردهی (باندل):

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{r_b}}$$



$r^b = \sqrt{d\cdot r}$

شعاع متوسط هندسی

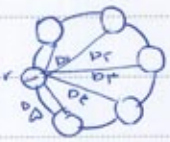
GMR = $r' = D_s$

* اگر خط دو مداره باشد، در حالت ایدئال d ـ فاصله بین مرکز دو هادی نزدیک بهم است. $d \ll D$

آنا در دو مداره ها باید شعاع متوسط هندسی را محاسبه کنیم:

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{GMD}{GMR}}$$

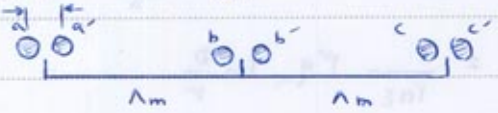
برای محاسبه GMR چند هادی:



$$GMR = r' \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 D_4 D_5$$

مثال) رامتاس هادی خط کلاز باندل دوتایی با آرایش افقی شکل زیر ایدئال است، آورید. اگر جنس سه‌تاز $\frac{\Omega}{mi}$ و $\frac{\Omega}{Km}$ باشد

Pheasant $d = 45\,cm$



فواصل هادیها برابر است و باندل بهم دوتایی است.

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{Deq}{r^b}} \qquad GMD = Deq = \sqrt[3]{8 \times 8 \times 16} = 10.08\ m$$

$$(GMR)^b = r^b = \sqrt{r' \cdot d}$$

$$r = \frac{1.382''}{\text{شعاع به فوت}} \times \frac{0.0254}{2 \times 12 \text{ به شعاع}} = 0.01755\ m \rightarrow (GMR)^b = \sqrt{0.01755 \times 0.45} = 0.0889$$

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{Deq}{r^b}} = \frac{2\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{10.08}{0.0889}} = 11.754 \times 10^{-12}\ \frac{F}{m}$$

آنا در این خط از پرداشتیم و یک مثلث متساوی الاضلاع قرار دادیم که هر ضلع آن $GMD = 10.08\ m$ است و هادی هر رأس آن را برداشتیم و یک $\frac{1}{3}$ دی قرار دادیم که $GMR = 0.0889$ است.

$$B_c = 2\pi 50 \times 11.754 \times 10^{-12}\ \frac{\Omega}{m} \times 1609\ \frac{m}{mi} \qquad , \quad X_c = \frac{1}{B_c}$$

مثال) (خط سه‌تاز دو مداره):

$$(GMR)^{P_c} = D_s^{P_c} = r^{P_c} \quad , \quad GMD = Deq = 17.1'$$

در این مثال تنها شعاع متوسط هندسی را حساب کردیم در اینجا باید شعاع هندسی را حساب کنیم.

PaPCO

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r^{pc}}}$ $\quad D_{eq} = 14,1'$ $\quad r^{pc} = \sqrt[3]{r^{aa'} \cdot r^{bb'} \cdot r^{cc'}} = 0,1837'$

$r^{aa'} = \sqrt{aa' \cdot r} = \sqrt{24,9 \times 0,02783}$ $\quad$ ostrich $r = \frac{0,28''}{2 \times 12} = 0,02383$

$r^{bb'} = \sqrt{bb' \cdot r} = \sqrt{21 \times 0,02783}$

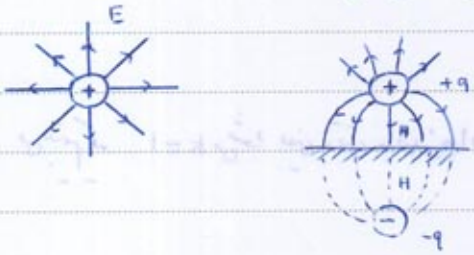
$r^{cc'} = \sqrt{cc' \cdot r} = \sqrt{24,9 \times 0,02783}$

$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{14,1}{0,1837}}$ $\quad \frac{F}{m} = 18,807 \times 10^{-12}\ \frac{F}{m} \times 1000\ \frac{F}{km} \rightarrow X_C = \frac{1}{C\omega}\ \Omega\text{-km}$

برای محاسبه راکتانس خازنی همواره ابتدا سوئیچ را حاب میکنیم بعد راکتانس را حاب کنیم.

ترجمه: اگر ناصدها از زمین زیاد نباشد بین هادیها و زمین هم یک اثر خازنی بوجود می آید بنابراین کاپاسیتانس

تغییر می کند. در صورتیکه می توان از اثر زمین صرفنظر کرد که ناصدها از زمین زیاد باشد.

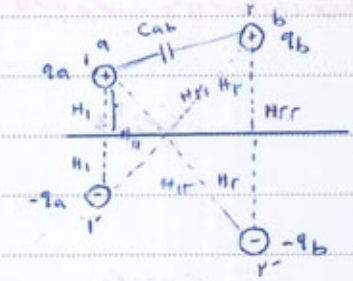


در تصویر فوق اثر زمین در محاسبه کاپاسیتانس:

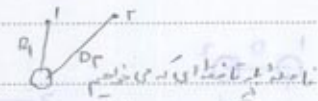
هرچه هادی از سطح زمین دورتر شود به شکل شعاعی نزدیکتر می شود.

هادی دقیق تر یک زمین است شکل آن است که دو تا هادی داریم با بار مخالف هم، پس می توان بجای زمین یک هادی

دیگر با بار مخالف در نظر گرفت.



$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ab}} + q'_{-q_a} \ln \frac{H_{r1}}{H_{11}} + q'_{-q_b} \ln \frac{H_{rr}}{H_{1r}} \right]$$



ناصدها را تا حد امکان دور می گیریم

$V_{12} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1}$

تا بتوانیم آن را حاب کنیم.

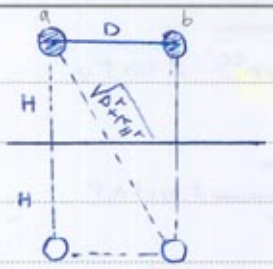
PAPCO $\Rightarrow V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[\ln \frac{D_{ab}}{r_a} + \ln \frac{r_b}{D_{ab}} - \ln \frac{H_{r1}}{H_{11}} + \ln \frac{H_{rr}}{H_{1r}} \right]$

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[q_a \ln\frac{D}{r} + q_b \ln\frac{r}{D} + -q_a \ln\frac{\sqrt{D^2+4H^2}}{2H} - q_b \ln\frac{2H}{\sqrt{D^2+4H^2}}\right]$$

Subject: (۳۹)

Year. Month. Date.

$$= \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left[+q_a \ln\frac{2HD}{2\sqrt{4H^2+D^2}} - q_b \ln\frac{2HD}{2\sqrt{4H^2+D^2}}\right] \qquad q_a = -q_b = -q$$



$$V_{ab} = \frac{q}{\pi\varepsilon_0} \ln\frac{2HD}{2\sqrt{4H^2+D^2}}$$

$$V_{ab} = \underbrace{\left[\frac{1}{\pi\varepsilon_0} \ln\frac{2HD}{2\sqrt{4H^2+D^2}}\right]}_{C_{ab}} q \rightarrow C_{ab}$$

$$\rightarrow C_{ab} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{2HD}{2\sqrt{4H^2+D^2}}} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{2\sqrt{1+\left(\frac{D}{2H}\right)^2}}} \qquad k = \sqrt{1+\frac{D^2}{4H^2}}$$

$\div \frac{2H}{2H}$

$$\Rightarrow C_{ab_1} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{kr}} \ F/m$$

محاسبه C_{ab} با در نظر گرفتن اثر زمین:

$$C_{ab_2} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}}$$

C_{ab} بدون در نظر گرفتن اثر زمین:

$H = 4D$

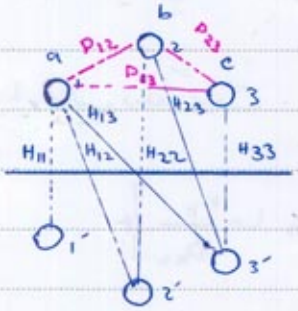
$$k = \sqrt{1+\frac{D^2}{4\times16D^2}} = \sqrt{1+\frac{1}{64}}$$

اگر فاصله هادی‌ها از زمین را ۴ برابر فاصله هادی‌ها در نظر بگیریم:

می‌بینیم که $k \simeq 1$ می‌شود یعنی وقتی فاصله هادی‌ها از زمین زیاد است می‌توان از اثر زمین صرف‌نظر کرد.

$$\varepsilon\% = \frac{C_{ab_1} - C_{ab_2}}{C_{ab_1}} \times 100 \quad \text{درصد خطا}$$

محاسبه ظرفیت برای سه‌هادی نزدیک زمین:



با اثر زمین

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{r} - \ln\frac{H_m}{H_s}} \ F/m$$

بدون اثر زمین

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{r}}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}\cdot D_{13}\cdot D_{23}} \qquad H_m = \sqrt[3]{H_{12}\cdot H_{13}\cdot H_{23}} \qquad H_s = \sqrt[3]{H_{11}\cdot H_{22}\cdot H_{33}}$$

RAPCO

فاصله‌ی هر زیرهادی تا خودش

Subject:

Year. Month. Date. (۴۵)

دستاورد خط

تمرین) یک خط سه فاز ۱۳۲ کیلوولت دارای آرایش افقی مطابق شکل است. ناصد هادیهای مجاور ۵ متر، فاصله هادی تا زمین ۱۰ متر، هادی از نوع ACSR بابد ostrich می‌باشد. الف) محاسبه کاپاسیتانس ($\frac{F}{km}$) و سوسپتانس خازنی ($\frac{\pi}{km}$) در کیلومتر خط سه فاز با در نظر گرفتن اثر زمین و بدون آن.

ب) محاسبه درصد خطا وقتی اثر زمین در نظر گرفته نمی‌شود. ج) محاسبه جریان شارژ خط برحسب $\frac{A}{km}$.

الف) بدون در نظر گرفتن اثر زمین:

$$D_{eq} = \sqrt{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}}$$

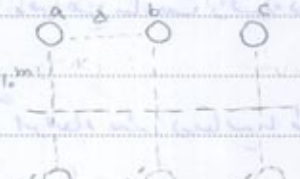
$$D_{eq} = \sqrt{۵ \times ۵ \times ۱۰} = ۱۵/۸۱ \ m$$

مدل A-۱ ostrich: $r = \frac{۰/۷۲۸۰}{۲ \times ۱۲} \times ۰/۳۲۴۸ = ۸/۶۳۶ \times ۱۰^{-۳}$

$$\Rightarrow C_n = \frac{۲\pi\varepsilon_۰}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} = \frac{۲\pi \times ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}}{\ln \frac{۱۵/۸۱}{۰/۰۰۸۶۳۶}} = \frac{۵۵/۵۷۸ \times ۱۰^{-۱۲}}{۷/۵۱۲۶} = ۷/۳۹۸ \times ۱۰^{-۱۲} \frac{F}{m} \times ۱۰۰۰ \frac{F}{km}$$

$$B_c = j۲\pi f C = j۲\pi \times ۶۰ \times ۷/۳۹۸ \times ۱۰^{-۹} = ۴/۷۸۷ \times ۱۰^{-۶} \frac{\mho}{km} \qquad X_c = \frac{۱}{B_c}$$

با در نظر گرفتن اثر زمین:



$$C_{an} = \frac{۲\pi\varepsilon_۰}{\ln \frac{D_{eq}}{r} - \ln \frac{H_m}{H_s}}$$

$$H_m = \sqrt[۳]{H_{۱۲} \cdot H_{۲۳} \cdot H_{۳۱}} = \sqrt[۳]{\sqrt{۵^۲ + ۲۰^۲} \cdot \sqrt{۲۰^۲ + ۱۰^۲} \cdot \sqrt{۵^۲ + ۲۰^۲}} =$$

$$H_m = \sqrt[۳]{۲۰/۶۱ \cdot ۲۲/۳۶ \cdot ۲۰/۶۱} = ۲۱/۱۷ \ m$$

$$H_s = \sqrt[۳]{H_{۱۱} \cdot H_{۲۲} \cdot H_{۳۳}} = \sqrt[۳]{۲۰ \times ۲۰ \times ۲۰} = ۲۰ \ m$$

$$\Rightarrow C_{an} = \frac{۲\pi \times ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}}{\ln \frac{۱۵/۸۱}{۰/۰۰۸۶۳۶} - \ln \frac{۲۱/۱۷}{۲۰}} = \frac{۵۵/۵۷۸ \times ۱۰^{-۱۲}}{۷/۵۱۲۶ - ۰/۰۵۲} = ۷/۴۵۲۷ \times ۱۰^{-۱۲} \frac{F}{m} \times ۱۰۰۰ \frac{F}{km}$$

ب)

$$\epsilon\% = \frac{۷/۴۵۲۷ \times ۱۰^{-۹} - ۷/۳۹۸ \times ۱۰^{-۹}}{۷/۴۵۲۷ \times ۱۰^{-۹}} \times ۱۰۰ = ۰/۷۹۴ \%$$

ج)

$$I_{ch} = B_c V = j\omega C V_{ph} = j۲\pi \times ۶۰ \times ۷/۳۹۸ \times \left(\frac{۱۳۲}{\sqrt{۳}}\right) \frac{A}{km}$$

(V_{ph})

P4PCO

فصل پنجم : روابط و تأثیر جریان و مدلسازی خطوط انتقال : (R , L , C)

برای مدل کردن خط ، خط را اقلیم بندی می کنیم به : ۱) خط کوتاه (S.T.L) : $l < 50^{mi}$ یا $l < 80^{km}$

۲) خط انتقال متوسط (M.T.L) : $50^{mi} < l < 150^{mi}$ یا $80^{km} < l < 240^{km}$

۳) خط طویل (L.T.L) : $l > 150^{mi}$ یا $l > 240^{km}$

۱) در خط کوتاه از اثر کاپاسیتانس خط (C) می توان صرفنظر کرد چون مقدار آن ناچیز است . اما خطوط انتقال متوسط و بلند کاپاسیتانس خط منظور می شود .

۲) در خطوط کوتاه و متوسط پارامترها فشرده در نظر گرفته می شوند . اما در خط بلند پارامتر بخش شده یا گسترده در نظر گرفته می شود .

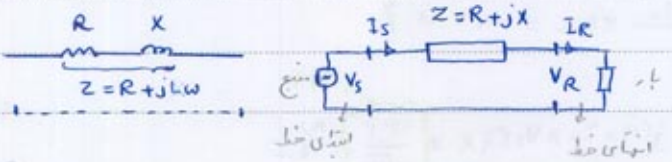
وقتی یک مقاومت را فشرده در نظر بگیریم جریانی که وارد مقاومت می شود با جریانی که از آن خارج می شود یکسان است .

ابعاد مدار در مقایسه با طول موج (یا وابستگی فرکانس خط) کوچک باشد آن را فشرده در نظر می گیریم .

بنابراین با افزایش فرکانس ، λ کوچکتر می شود پس دیگر نمی توان مدار را فشرده در نظر گرفت . در این درس چون با فرکانس $f = 50^{Hz}$ سروکار داریم : $\lambda = 5000^{km}$ در مورد خط کوتاه که $l = 80^{km}$ ، l در مقایسه با λ خیلی کوچکتر است پس می توان مدار را فشرده در نظر گرفت . اما در مورد خط بلند نمی توان مدار را فشرده در نظر گرفت .

$\lambda = \frac{c}{f}$

۱) مدلسازی خط کوتاه :



حالا می خواهیم بین دو تا از ابتدا و انتهای خط رابطه برقرار کنیم:

$V_S = V_R + Z I_R$

$I_S = I_R$ (چون مدار خازنی است)

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

(فازی ← V_S، I_S — فازی ← V_R، I_R)

رابطه کلی: $\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$ (فازور)

ثابت های خط: A, B, C, D

که در اینجا $A = D = 1$ ، $B = Z$ و $C = 0$ بنابراین همیشه برای بدست آوردن رابطه ولتاژ

ابتدا و انتهای خط باید بیاییم و اگر مارپیچ را حل کنیم. ثابت های خط را به منبع یا بار کاری ندارند فقط به خط کاری دارند.

در مسائل:

$P_R = \sqrt{3}\, V_R\, I_R \cos\varphi_R$ (سه فاز، خطی، معلوم، معلوم)

$\rightarrow |I_R| = \dfrac{P_R}{\sqrt{3}\, V_R \cos\varphi_R}$ (سه فاز، خطی)

$Z_{pu} = \dfrac{R + jx}{Z_b}$ $\quad Z_b = \dfrac{V_b^2}{S_b}$ (خطی ← سه فاز)

رگولاسیون (تنظیم):

$$Reg\,\% = \frac{|V_{R_{NL}}| - |V_{R_{FL}}|}{|V_{R_{FL}}|} \times 100 = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

($I_R = 0$)

رگولاسیون نشان می دهد که وقتی از آن بار گیری کنیم ولتاژ چند درصد افت می کند.

محاسبه تلفات:

توان ورودی: $S_S = V_S I_S^* = P_S + jQ_S$

توان خروجی: $S_R = V_R I_R^* = P_R + jQ_R$

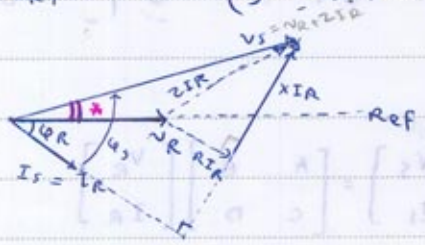
$\Rightarrow P_{Loss} = P_S - P_R$ $\quad I_S = I_R \rightarrow P_{loss} = R|I|^2$ (سه فاز) $\rightarrow P_{Loss} = 3R|I|^2$

$I_S = I_R$ به این رابطه را فقط در خط کوتاه کاری برای ما کم می آید

محاسبه راندمان:

$$\eta\,\% \text{ (راندمان خط)} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{P_R}{P_S} \times 100$$

در رسم دیاگرام برداری ، ولتاژ انتهای خط معمولاً مرجع در نظر گرفته می شود (با زاویه صفر) $V_R = |V_R| \angle 0^\circ$



دیاگرام برداری:

* ← زاویه V_S .

$I_R = |I_R| \angle \varphi$ ، φ به نوع بار بستگی دارد

ضریب قدرت انتهای خط $\cos(\hat{V_R, I_R}) = \cos\varphi_R$ ،

ضریب قدرت ابتدای خط $\cos(\hat{V_S, I_S}) = \cos\varphi_S$ ،

محاسبه φ_S بدون داشتن دیاگرام برداری:

$S_S = V_S I_S^* = P_S + jQ_S$

$\Rightarrow \tan\varphi_S = \frac{Q_S}{P_S}$ ، $\varphi_S = \tan^{-1}\frac{Q_S}{P_S}$.

مثال) یک خط سه فاز توان 3^{MW} در ولتاژ 11^{kV} (خطی) تحویل بار می دهد. تلفات خط $\%10$ توان تحویلی است. اگر طول خط 15^{km} ضریب قدرت بار 0.8 پس فاز باشد ولتاژ ابتدای خط را محاسبه کنید. خط سه فاز دارای آرایش مثلث راندمان خط و ضریب قدرت ابتدای خط

و شعاع هادی 5^{mm} است. فاصله هادیها 1.7^{m} می باشد. چون خط $15^{km} = 15000^{m}$ خط کوتاه است

معادلات خط کوتاه عبارتند از:

$$\begin{cases} V_S = V_R + ZI_R \\ I_S = I_R \end{cases}$$

$Z = R + jL\omega$ ،

محاسبه R و L :

$P_{Loss} = \frac{10}{100} \times 3^{MW} = 3\times10^{6}\ W$ ، $P_{Loss} = 3RI^2$

چون سه فاز داریم ضرب می کنیم

$P_R = \sqrt{3}\, V_R I_R \cos\varphi_R$

$I_R = \frac{3\times10^6}{\sqrt{3}\times11000\times0.8} = 197\ A$ $\Rightarrow R = \frac{3\times10^5}{3\times197^2} = 2.58\ \Omega$