ElCoM
ELECTRICAL COMPUTER MECHATRONICS

دوسية إلكم

تم
اعدادها
بواسطة

عمر النجداوي

دوسية شرح لمادة:

انظمة القوى الكهربائية

شرح مفصل للمادة

أنظمة قوى كهربائية

أقدم لكم في هذه الدوسية شرح مادة أنظمة قوى كهربائية، تتضمن الدوسية أمثلة الكتاب وبعض الاسئلة، لكن هناك دروس غير مشروحة منها المحذوف ومنها لعدم المقدرة على التمكن منها لانعدام مصادر الشرح الخاصة بها، لذلك أعتذر عن هذا التقصير، ويجب أيضًا الاطلاع على الكتاب وحل جميع الأسئلة لمعرفة جميع الأفكار، مع خالص الأمنيات لكم بالتوفيق والنجاح.

Ch 2 Fundamental

2.1 Phasors

A sinusoidal voltage or current at constant frequency is characterized by two parameters: a maximum value and a phase angle

$$V_{(t)} = V_{max}\cos(\omega t + \theta_V) \rightarrow \text{instantaneous value}$$

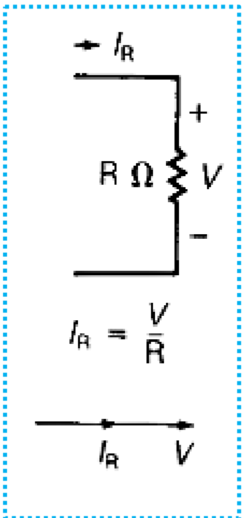
$$V = V_{rms}\angle\theta_V \rightarrow \text{polar form}$$

$$V = V_{rms}e^{j\theta_V} \rightarrow \text{exponential form}$$

$$V = V_{rms}\cos(\theta_V) + j\,V_{rms}\sin(\theta_V) \rightarrow \text{rectangular form}$$

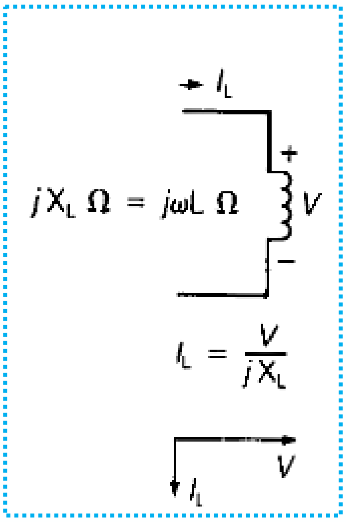
$$\boxed{V_{(rms)} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}}$$

- The relationships between the voltage and current phasors for the three passive elements: resistor, inductor, and capacitor.



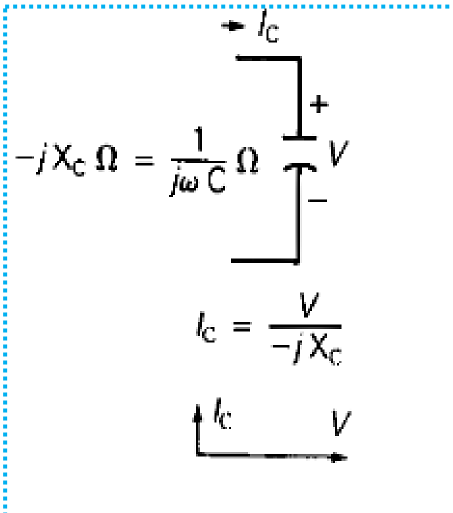
InPhase

(Resistor)



I Lag V by 90°

(Inductor)



I lead V by 90°

(Capacitor)

2.2 Instantaneous Power in Single-Phase AC Circuits

- The instantaneous power absorbed by the load is then:

$$P_{(t)=} V_{rms}I_{rms}\cos(2\omega t+\theta_V+\theta_I)+V_{rms}I_{rms}\cos(\theta_V-\theta_I)$$

- The instantaneous power absorbed by the resistor is:

$$P(t) = V_{rms}I_{rms}[1+\cos 2(\omega t+\theta_V)]$$

في للمعادلات اشتقاق بالكتاب لكن غير مطالبين بالاشتقاق فقط مطالبين بالقانون لكن للعلم بالشيء يجب الاطلاع عليه.

- The instantaneous power absorbed by the inductor is:

$$P(t) = V_{rms}I_{rms}\sin\,[2(wt+\theta_V)]$$

بالكتاب فارض أن

$$\delta = \theta_V$$

$$\beta = \theta_I$$

لهيك ما في فرق بين الثنتين

- The instantaneous power absorbed by the capacitor is:

$$P(t) = -V_{rms}I_{rms}\sin\,[2(\omega t+\theta_V)]$$

- Power Average (W):

$$P = VI_R = V\,I\cos\,(\theta_V-\theta_I)$$

Power average بتكون فقط للمقاومة أما الملف والمواسع ف بتكون = صفر

- Reactive power (VAR):

$$Q = VI_X = VI\sin(\theta_V - \theta_I)$$

ال Reactive power بتكون للملف والمواسع فقط.

- Power Factor:

$$P_F = \cos(\theta_V - \theta_I)$$

- For inductive, current lag voltage which means:

θ_I less than $\theta_V \longrightarrow$ lagging power factor (الزاوية موجبة)

- For capacitive, current lead voltage which means:

θ_I greater than $\theta_V \longrightarrow$ leading power factor (الزاوية سالبة)

- For resistance, current in phase voltage which means:

$\theta_I = \theta_V \longrightarrow$ unity power factor (الزاوية صفر)

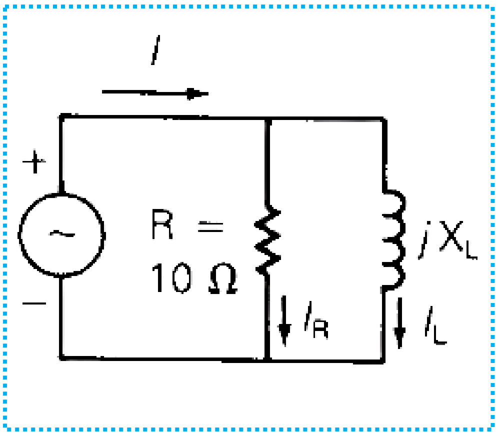
- Reactive power is the amplitude of double frequency power of reactive load.

- P: is total energy absorbed by a load during time.

- Q: is max value of instantaneous power absorbed by reactive component.

Example 2.1

The voltage $V_{(t)} = 141.4\cos(\omega t)$ is applied to a load consisting of a 10Ω resistor in parallel with an inductive reactance $X_L = \omega L = 3.77\Omega$. calculate the real and reactive power absorbed by the load, and the power factor.



Sol:

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{141.4}{\sqrt{2}} = 100\angle 0°\ \text{V} \longrightarrow$$ حولناها لأنه بالمادة بنتعامل مع rms

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{100\angle 0°}{10} = 10\angle 0°\ \text{A}$$

$$I_L = \frac{V}{Z_L} = \frac{V}{j\omega l} = \frac{100\angle 0°}{3.77\angle 90°} = 26.53\angle -90°\ \text{A}$$

$$I = I_R + I_L = 10\angle 0° + 26.53\angle -90° = 28.35\angle -69.34°\ \text{A}$$

a) The instantaneous power absorbed by the resistor is:

$$P_R(t) = V_{rms} I_{rms}[1 + \cos(2(\omega t + \theta_V))] \longrightarrow \boxed{\theta_V = \text{zero}}$$

$$P_R(t) = (100)(10)[1 + \cos(2\omega t)]$$

$$P_R(t) = 1000[1 + \cos(2\omega t)]\ \text{W}$$

b) The instantaneous power absorbed by the inductor is:

$$P_L(t) = V_{rms}I_{rms}[\sin(2(\omega t + \theta_V))] \longrightarrow \boxed{\theta_V = \text{zero}}$$

$$P_L(t) = (100)(26.53)[\sin(2\omega t)]$$

$$P_L(t) = 2653[\sin(2\omega t)]\ \text{W}$$

c) The real power absorbed by the load:

$$P = V\,I\cos(\theta_V - \theta_I)$$

$$P = (100)(28.35)\cos(0° + 69.34°) = 1000\ \text{W}$$

d) The reactive power absorbed by the load:

$$Q = V\,I\sin(\theta_V - \theta_I)$$

$$Q = (100)(28.35)\sin(0° + 69.34°) = 2653\ \text{VAR}$$

e) The power factor is:

$$P_F = \cos(\theta_V - \theta_I)$$

$$P_F = \cos(0° + 69.34°) = 0.3528\ \text{lagging} \longrightarrow$$

بما إنه الزاوية موجبة فهي Lagging

2.3 COMPLEX POWER

the complex power (S) is the product of the voltage and the conjugate of the current:

P= Real power

Q= Reactive power

$$S = VI^* = (V\angle\theta_v)(I\angle\theta_I)^* = V_{rms}I_{rms}\angle\theta_V - \theta_I$$

$$S = V_{rms}\, I_{rms} \cos(\theta_V - \theta_I) + j\, V_{rms}\, I_{rms} \sin(\theta_V - \theta_I)$$

$$S = P + jQ$$

نرمز لل Conjugate بعلامة النجمة وتؤثر فقط على الزاوية (عكس إشارة الزاوية)

- بدنا نفرق بين ال complex power وال Apparent power

$$|S| = V_{rms}\, I_{rms} \longrightarrow \text{Apparent power} \longrightarrow$$

لا نأخذ الزاوية بعين الاعتبار.

$$S = V_{rms}I_{rms}\angle\theta_V - \theta_I \rightarrow \text{Complex power} \longrightarrow$$

نأخذ الزاوية بعين الاعتبار.

$$S = |S|\angle\theta_V - \theta_I \longrightarrow$$

ال Apparent power بتكون ال Amplitude لل Complex power

Other rules of complex power:

$$S = \frac{|V|^2}{Z^*}$$

$$S = I^2 Z$$

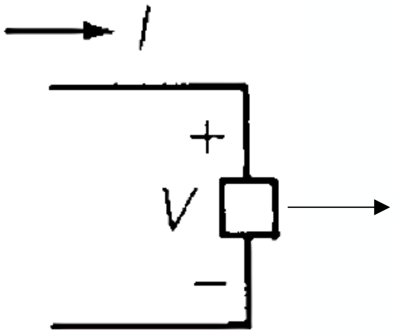
كيف نحدد إذا ال Source

Generator OR Motor?

الطريقة الأولى للتحديد: (اتجاه التيار)

1- Current enters positive terminal of circuit element.

1- التيار داخل من الموجب



If P is positive then positive real power is absorbed.

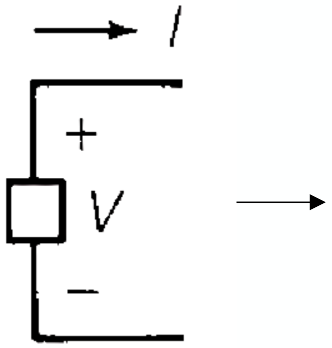
If Q is positive then positive reactive power is absorbed.

If P is negative then negative real power is delivered.

If Q is negative then negative reactive power is delivered.

2- Current leaves positive terminal of circuit element

2- التيار خارج من الموجب



If P is positive then positive real power is delivered.

If Q is positive then positive reactive power is delivered.

If P is negative then negative real power is absorbed.

If Q is negative then negative reactive power is absorbed.

- Delivered: Generator (يولّد)

- absorbed: Motor (يستهلك)

الطريقة الثانية للتحديد: (الفرض)

- إذا كان بالدارة 1 source

بفرض ال Source إنه Delivered وبفحص إشارات البور موجب أو سالب.

إذا كانت ال P موجبة فهي فعليا Delivered

إذا كانت ال P سالبة فهي Absorbed

إذا كانت ال Q موجبة فهي Delivered

إذا كانت ال Q سالبة فهي Absorbed

- إذا كان بالدارة 2 source

بفرض ال Source الأول إنه Delivered وبفحص إشارات البور موجب أو سالب.

إذا كانت ال P موجبة فهي فعليا Delivered

إذا كانت ال P سالبة فهي Absorbed

إذا كانت ال Q موجبة فهي Delivered

إذا كانت ال Q سالبة فهي Absorbed

بفرض ال Source الثاني إنه Absorbed وبفحص إشارات البور موجب أو سالب

إذا كانت ال P موجبة فهي فعليا Absorbed

إذا كانت ال P سالبة فهي Delivered

إذا كانت ال Q موجبة فهي Absorbed

إذا كانت ال Q سالبة فهي Delivered

ملاحظة: نعتمد على تحديد ال SOURCE إذا كان GENERATOR OR MOTOR على ال P

Example 2.2

A single-phase voltage source with $V = 100\angle130°$ volts delivers a current $I = 10\angle10°$ A which leaves the positive terminal of the source. Calculate the source real and reactive power, and state whether the source delivers or absorbs each of these.

أعطانا بالسؤال الجهد والتيار وطالب Complex power

Sol:

$$S = VI^* = (100\angle130°)(10\angle-10°) = 1000\angle120°\ VA$$

$$S = -500 + j\,866\ VA$$

b) Generator or Motor?

$$S = P + jQ$$

$$S = -500 + j\,866\ VA$$

[The machine is motor]

بدي أحل على طريقة الفرض

فرضت إنه Delivered

بشوف الإشارات

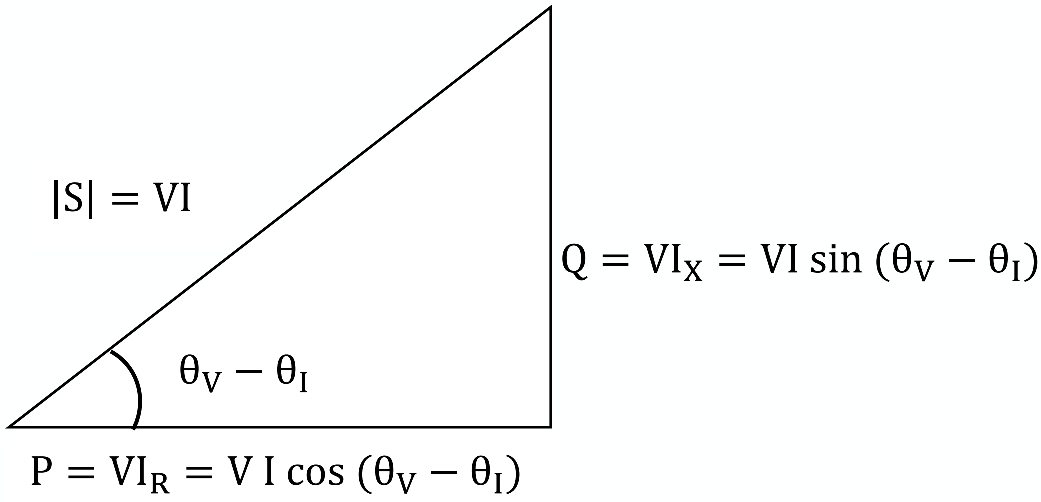
إشارة ال P سالبة إذا مش Delivered فهو Absorbed

إشارة ال Q موجبة إذا Delivered

قلنا بنعتمد على ال P بالتحديد

P= Absorbed= Motor

Power Triangle:



- المثلث هذا كثير بنحتاجه لحل بعض المسائل خاصة بالفيرست بعطينا بور وحدة وزاوية أو نوعين من البور وبطلب منا عدة مطاليب راح نشوفها بالمثال الجاي.

Example 2.3

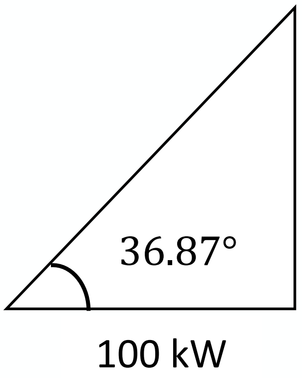
single-phase source delivers 100 kW to a load operating at a power factor of 0.8 lagging. Calculate the reactive power to be delivered by a capacitor connected in parallel with the load in order to raise the source power factor to 0.95 lagging. Also draw the power triangle for the source and load. Assume that the source voltage is constant, and neglect the line impedance between the source and load.

Sol:

برسم المثلث وبحدد عليه المعطيات الموجودة بالسؤال.

$PF = 0.8$

$\theta = \cos^{-1}(0.8) = 36.87°$ ⟵ أعطاني PF لكن أنا بدي الزاوية عشان أقدر أرسم المثلث



معي ال P والزاوية بقدر أوجد باقي عناصر المثلث

$$\tan(\theta) = \frac{Q_L}{p} \longrightarrow \tan(36.87°) = \frac{Q_L}{100k}$$

$$\rightarrow Q_L = 75 \text{ kVAR}$$

$$S_L = \frac{P}{\cos(\theta_L)} = \frac{100k}{\cos(36.87°)} = 125 \text{ kVA}$$

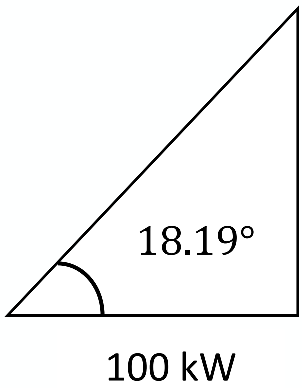
أوجدنا كل شي لل Load هسا بقلي إنه ضفنا مواسع على التوازي وطالب ال Q للمواسع وأعطاني ال PF الخاصة بال Source و ال (P) تبقى نفسها يعني برسم مثلث جديد بزاوية جديدة.

$$PF = 0.95$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.95) = 18.19°$$

$$\tan(\theta) = \frac{Q_S}{P} \longrightarrow \tan(18.19°) = \frac{Q_S}{100k}$$

$$Q_S = 32.87 \text{ kVAR}$$



$$S_S = \frac{P}{\cos(\theta_L)} = \frac{100k}{\cos(18.19)} = 105.3 \text{ kVA}$$

$$Q_S = Q_C + Q_L$$

أنا بدي Q_C

$$Q_C = Q_L - Q_S \rightarrow Q_C = 75 - 32.87 = 42.13 \text{ kVA}$$

ملاحظات على المثال:

- لما تتغير الزاوية بتغيير معها التيار لأنها زاوية جديدة وممكن يطلب قيمة التيار الجديد.

- ممكن يطلب مني ال Impedance للمواسع بعد تغيير قيمة الزاوية.

على فرض طلب الملاحظات الموجودات بالصندوق بكون الحل كالأتي:

If V=200 V and f=60HZ, Find the current and capacitor. → فرضت القيمتين من عندي

Sol:

a) $I = \frac{S_S^*}{V^*}$ → طلب التيار الجديد بعد إضافة الزاوية بستخدم ال S الي استخرجناها من الزاوية الجديدة.

$$S_S = 100 + j32.87 = 105.3\angle 18.19° \text{ kVA}$$

$$I = \frac{(105.3\angle 18.19° k)^*}{200} = 526.5\angle -18.19° \text{ A}$$

b) $C = \frac{-j}{2\pi f\, Z_C}$ → معنا كل إشي ما عدا Zc بنطلع قيمتها وبنوجد قيمة المواسع

$$S_C = \frac{|V|^2}{Z_C^*} \to Z_C = \frac{|V|^2}{S_C^*}$$

$$S_S = S_C + S_L \to S_C = S_L - S_S$$

$$S_C = (100 + j75) - (100 + j32.87) \to S_C = -j42.13 \text{ kVA}$$

$$Z_C = \frac{|V|^2}{S_C^*}$$

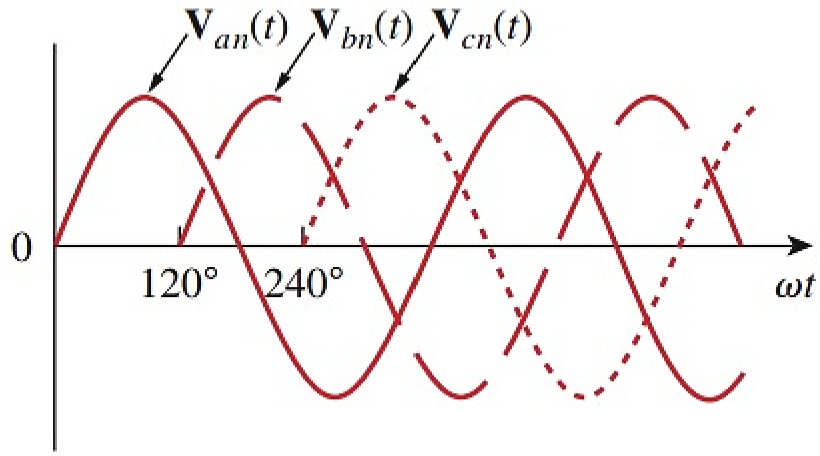
$$Z_C = \frac{|200|^2}{(-j42.13k)^*} = -j0.949\ \Omega$$

$$C = \frac{-j}{2\pi 60 \times -j0.949} \to C = 2.795 \text{ mF}$$

2.5 BALANCED THREE-PHASE CIRCUITS

كل اللي تعاملنا معه لغاية الأن نظام أحادي الطور، لكن نظام توليد الطاقة الكهربائية ونقلها غالبا ما يتم من خلال نظام ثلاثي الطور.

في المادة بنتعامل مع النظام المتزن وفي النظام المتزن يجب أن يكون المجموع الكلي للتيار والفولتية يساوي صفر.



$$V_{an} = V_m\angle 0° \rightarrow \text{pahse } 1$$

$$V_{bn} = V_m\angle 120° \rightarrow \text{pahse } 2$$

$$V_{cn} = V_m\angle 240° \rightarrow \text{pahse } 3$$

قلنا في النظام المتزن يجب أن المجموع الكلي للفولتية يسوي صفر:

على فرض $V_m = 1$

$$V_{tot} = V_{an} + V_{bn} + V_{cn}$$

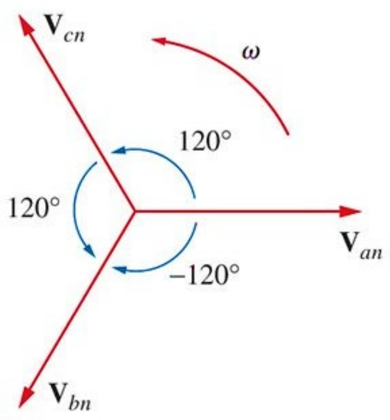
$$V_{tot} = 1\angle 0° + 1\angle 120° + 1\angle 240° = \text{Zero}$$

Type of sequence:

في النظام الثلاثي يتم توصيل الفازات حسب تسلسل معين وهم نوعين:

1) Positive sequence: [abc]

على فرض أن V_{an} هو المرجع

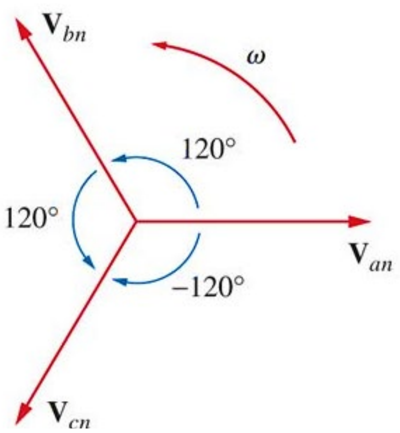


$$V_{an} = V_m\angle 0°$$
$$V_{bn} = V_m\angle -120°$$
$$V_{cn} = V_m\angle 120°$$

V_a lead V_b by 120°

V_a lag V_c by 120°

2) Negative sequence: [acb]



$$V_{an} = V_m\angle 0°$$
$$V_{bn} = V_m\angle 120°$$
$$V_{cn} = V_m\angle -120°$$

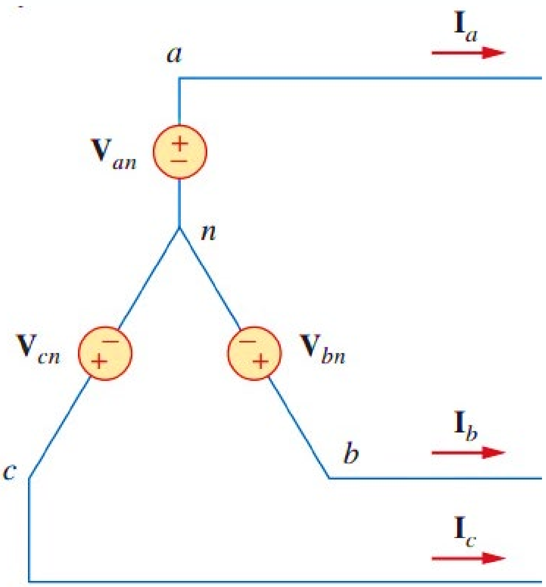
V_a lag V_b by 120°

V_a lead V_c by 120°

ملاحظة: بالمادة بنتعامل مع ال Positive sequence

هناك طريقتين للتوصيل:

1) Wye connected source:



- في هذه التوصيلة جهد الفاز بكون بين الخط والأرضي يعني:

(a and n), (b and n), (c and n)

- جهد الخط بكون بين خطين يعني:

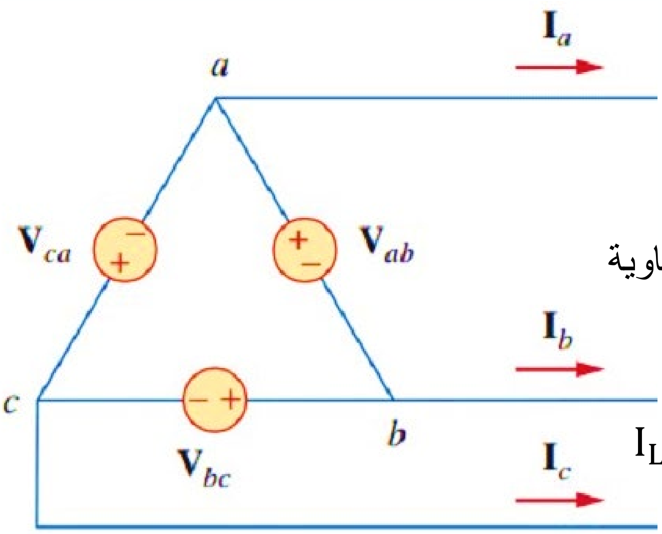
(a and b), (b and c), (c and a)

الفرق بين جهد الخط والفاز هو:

$$V_{Line} = \sqrt{3}\, V_{Phase} \angle 30°$$

- في هذه التوصيلة التيارات متساوية يعني $I_{Phase} = I_{Line}$

2) Delta connected source:



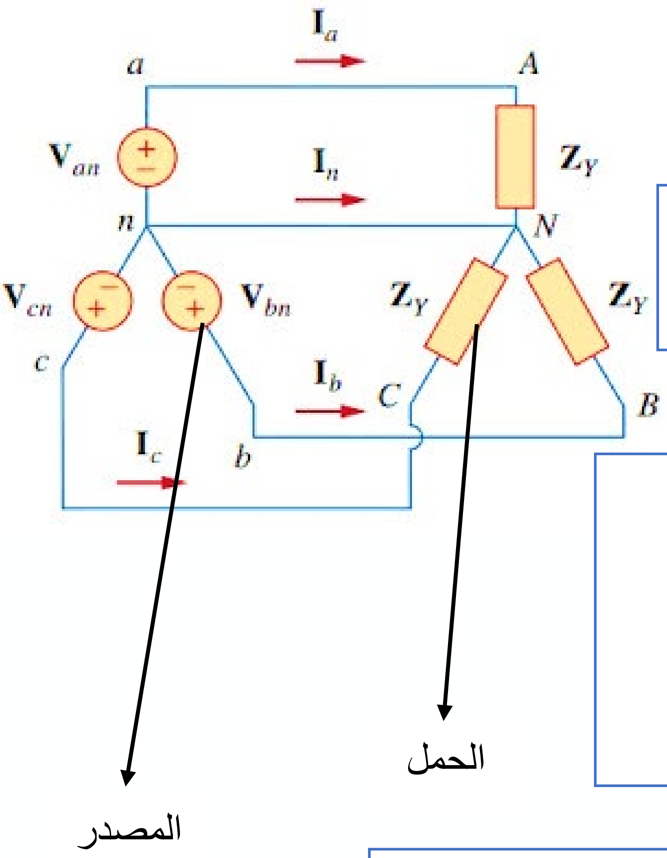
- في هذه التوصيلة الجهود متساوية يعني $V_{Phase} = V_{Line}$

- إذا لاحظنا يوجد بالتوصيلة تفرّع بالتالي فإن التيارات غير متساوية

$$I_{Line} = \sqrt{3}\, I_{Phase} \angle -30° \rightarrow I_{pahse} = \frac{I_{Phase}}{\sqrt{3}} \angle 30°$$

- Type of connection between the source and the load:

1) Balanced Wye-Wye connection:



شابك المصدر Y بحمل على شكل Y

القواعد التي تطبق على المصادر تطبق على الأحمال أيضا
يعني كل اشي مذكور فوق بتوصيلة ال Y بنطبقه بهاي الدارة

جهد الخط للمصدر بين (a) و (b) ← (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca})

جهد الفاز للمصدر بين (a) و (n) ← (V_{an}, V_{bn}, V_{cn})

جهد الخط للحمل بين (B) و (A) ← (V_{AB}, V_{BC}, V_{CA})

جهد الفاز للحمل بين (N) و (A) ← (V_{AN}, V_{BN}, V_{CN})

تيار الفاز للحمل من النقطة (A) إلى النقطة (N) ويشمل البقية أيضا I_{AN}, I_{BN}, I_{CN}

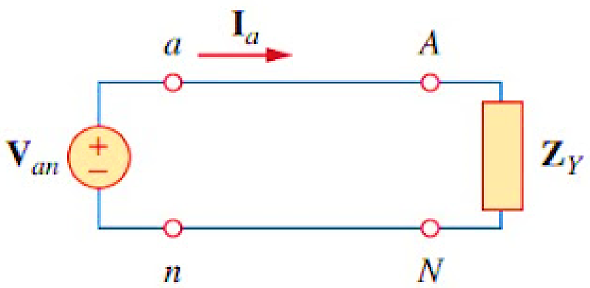
تيار الفاز للمصدر من النقط (a) إلى النقطة (n) ويشمل البقية أيضا I_{an}, I_{bn}, I_{cn}

تيار الخط للحمل I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}

تيار الخط للمصدر I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}

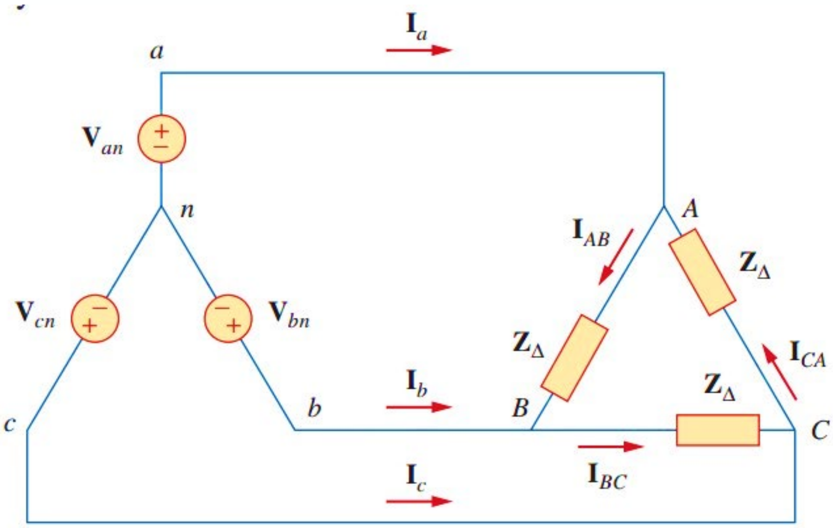
ملاحظة: تيار الفاز يساوي تيار الخط في هذه الدارة لأنه نوع التوصيلة Y

لحل هذه الدارة أكيد ما راح أخذها كلها بأخذ فقط Single phase



إذا كان في Z_{Line} بضيفها للدارة وبحلها كأنها دارة عادية

2) Balanced Wye-Delta connection:



شابك المصدر Y بحمل على شكل Delta

جهد المصدر كما في الأعلى نطبق القواعد.

أما تيار المصدر Y لأنه يساوي تيار الخط.

جهد الخط للحمل يساوي جهد الفاز للحمل لأنه التوصيلة Delta

لاحظ إنه جهد الخط للمصدر يساوي جهد الخط.
للحمل بالتالي يساوي جهد الفاز للحمل.

$$V_{ab} = V_{AB} = V_{Z_{Delta}}$$

تيار I_a لما يوصل النقطة A بتفرع بالتالي تيار الخط لا يساوي تيار الحمل وهذا حاكيناه بالأعلى.

$$I_a = \sqrt{3}\, I_{AB} \angle -30°$$

يمكن حساب تيار الفاز للحمل من خلال: ← $$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_{Delta}}$$

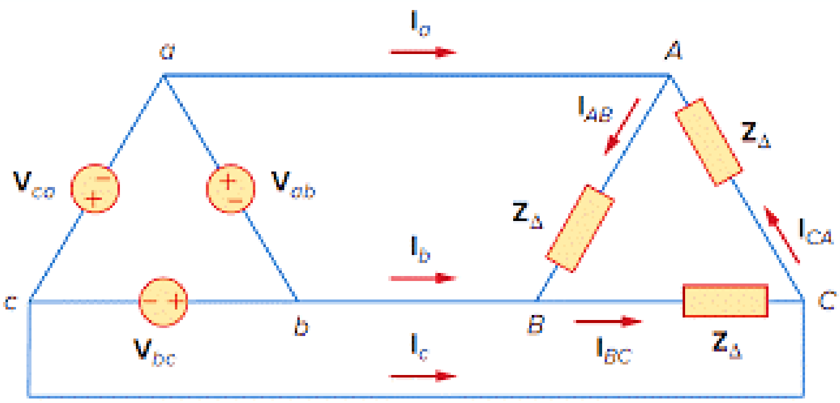
وقلنا إنه $V_{ab} = V_{AB} = V_{Z_{Delta}}$

ملاحظة: هذه الطريقة تستخدم فقط عندما لا تحتوي الدارة على Z_{Line}

إذا كان في Z_{Line} بحول شكل الدارة ل Y-Y

باستخدام القانون ← $$\boxed{Z_{Delta} = 3Z_y}$$

3) Balanced Delta-Delta connection:



شابك المصدر Delta بحمل على شكل Delta

بتوصيلة ال Delta جهد الفاز يساوي جهد الخط وبما إنهم كلهم مشبوكين على التوازي فإن:

$$V_{ab(source)} = V_{AB(load)}$$

تيار الخط للمصدر أو الحمل لا يساوي تيار الفاز للحمل أو المصدر

$$I_a = \sqrt{3} I_{AB} \angle -30°$$

← I_a: line current

يمكن حساب تيار الفاز للحمل من خلال ← $$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_{Delta}}$$

يمكن حل الدارة السابقة بطريقة أخرى وهي التحويل الدارة ل Y-Y

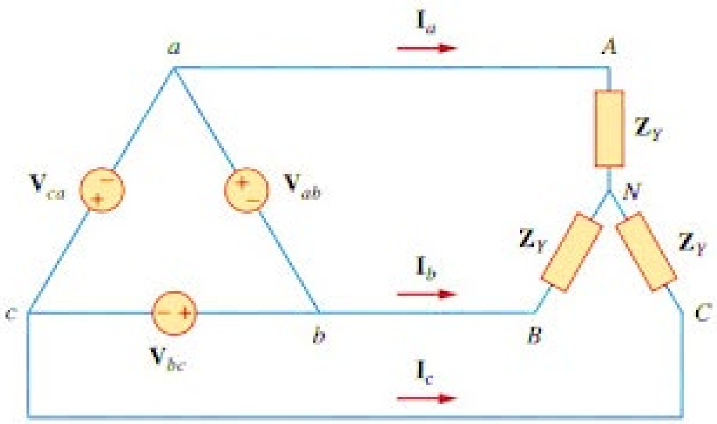
طريقة التحويل

لتحويل الحمل ← $Z_Y = \frac{Z_{Delta}}{3}$

لتحويل المصدر بعتبر أن V_{ab} line to V_{an} وبستخدم القانون الأتي:

$$V_{ab} = \sqrt{3}V_{an}\angle 30° \rightarrow V_{an} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}}\angle -30°$$

4) Balanced Delta-Wye connection:



شابك المصدر Delta بحمل على شكل Y

جهد الفاز للمصدر يساوي جهد الخط للمصدر
ويساوي أيضا جهد الخط للحمل لأنهم على التوازي.

$$V_{ab} = V_{AB}$$

لكن جهد الخط للحمل لا يساوي جهد الفاز للحمل لأنه التوصيلة Y

$$V_{AB} \neq V_{AN}$$

$$V_{AB} = \sqrt{3}V_{AN}\angle 30° \rightarrow V_{AN} = \frac{V_{AB}}{\sqrt{3}}\angle -30°$$

تيار الخط للحمل يساوي تيار الفاز للحمل لأنه التوصيلة Y

لكن تيار الفاز للمصدر لا يساوي تيار الخط لأنه التوصيلة Delta بالتالي بجد تيار الفاز من خلال

$$I_a = \sqrt{3}I_{ab}\angle -30° \rightarrow I_{ab} = \frac{I_a}{\sqrt{3}}\angle 30°$$

- لحل الدارة السابقة يتم تحويل الدارة ل Y-Y

لتحويل المصدر بستخدم العلاقة التالية: ⟵ $V_{ab} = \sqrt{3}V_{an}\angle 30° \rightarrow V_{an} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}}\angle -30°$

- طريقة أخرى لحل الدارة:

في حال أعطى بالسؤال V_{ab}

فإن $V_{ab} = V_{AB}$

V_{AB} هو جهد الخط للحمل من خلاله بقدر أحسب قيمة جهد الفاز للحمل من خلال العلاقة التالية:

$$V_{AB} = \sqrt{3}V_{AN}\angle 30° \rightarrow V_{AN} = \frac{V_{AB}}{\sqrt{3}}\angle -30°$$

بما إنه معي V_{AN} وقيمة Zy بقدر أحسب قيمة تيار الفاز للحمل من خلال العلاقة:

$$I_{AN} = \frac{V_{AN}}{Z_Y}$$

وبتوصيلة Y تيار الفاز يساوي تيار الخط يعني $I_{AN} = I_a$

وبتوصيلة Delta تيار الفاز لا يساوي تيار الخط ولحساب تيار الفاز للمصدر بستخدم العلاقة التالية:

$$I_a = \sqrt{3}I_{ab}\angle -30° \rightarrow I_{ab} = \frac{I_a}{\sqrt{3}}\angle 30°$$

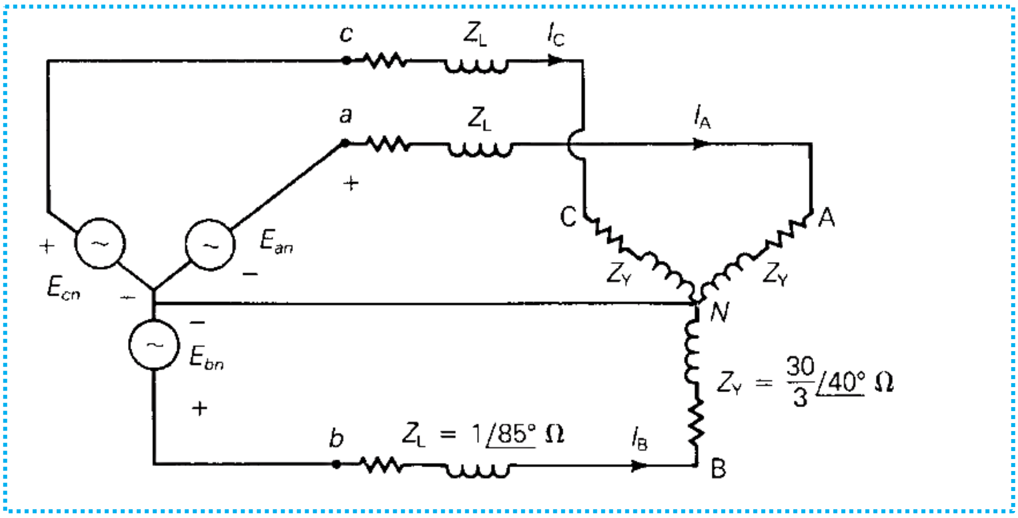
ملاحظة: هذه الطريقة تستخدم فقط عندما لا تحتوي الدارة على Z_{Line}

إذا كان في Z_{Line} بحول شكل الدارة ل Y-Y

Example 2.4

A balanced, positive-sequence, Y-connected voltage source with $E_{ab} = 480\angle 0°\ V$ is applied to a balanced-D load with $Z_{Delta} = 30\angle 40° \Omega$.The line impedance between the source and load is $Z_{Line} = 1\angle 85° \Omega$ for each phase. Calculate the line currents, the D-load currents, and the voltages at the load terminals.

Sol:



بداية بلاحظ إنه شابك المصدر Y بحمل على شكل Delta لكن بينهم Z_{Line} فبحول شكل الدارة ل Y-Y

$$Z_Y = \frac{Z_{Delta}}{3} \rightarrow Z_Y = \frac{30\angle 40°}{3} = 10\angle 40° \Omega$$

بما إنه حولنا التوصيلة وصارت Y-Y فأنا بحاجة جهد الفاز

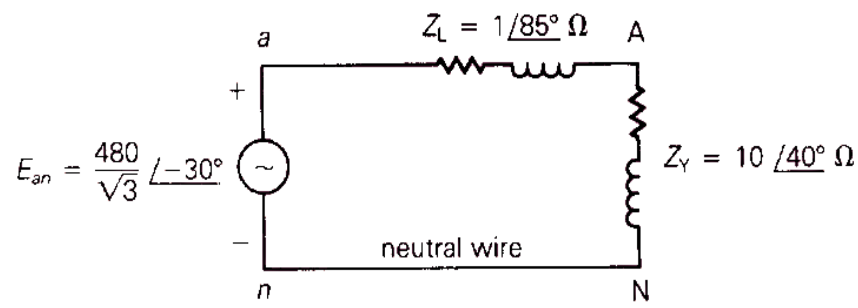
وبتوصيلة Y-Y جهد الفاز لا يساوي جهد الخط وهو معطينا جهد الخط بنحولها من خلال القانون التالي:

$$V_{ab} = \sqrt{3}\, V_{an} \angle 30° \rightarrow V_{an} = \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}} \angle -30°\ V$$

$\boxed{E = V =}$ الجهد

$$V_{an} = \frac{480}{\sqrt{3}} \angle -30° = 277.128\angle -30°\ V$$

صار شكل التوصيلة Y-Y وبنحلها كأنها Single circuit يعني هيك بتصير



بشوف المطاليب وبحلها كدارة عادية

a) Line current →

بشوف شو التيار الي بمر بال Line وبلاحظ إنه I_A

$$I_A = \frac{V_{an}}{Z_L + Z_Y} \rightarrow I_A = \frac{277.128\angle -30^\circ}{1\angle 85^\circ + 10\angle 40^\circ} = 25.83\angle -73.78^\circ\ A$$

$$I_B = 25.83\angle -73.78^\circ - 120^\circ + 360^\circ = 25.83\angle 166.22^\circ\ A$$

$$I_C = 25.83\angle -73.78^\circ + 120^\circ = 25.83\angle 46.22^\circ\ A$$

b) The Delta load currents →

بتوصيلة ال Delta

تيار الخط لا يساوي تيار الفاز وأنا معي تيار الخط ومن خلال العلاقة الي ذكرناها بالأعلى بستخرج تيار الفاز.

$$I_{AB} = \frac{I_a\angle +30^\circ}{\sqrt{3}} \rightarrow I_{AB} = \frac{25.83\angle -73.78^\circ + 30^\circ}{\sqrt{3}} = 14.91\angle -43.78^\circ\ A$$

$$I_{BC} = 14.91\angle -43.78^\circ - 120^\circ = 14.91\angle -163.78^\circ\ A$$

$$I_{CA} = 14.91\angle -43.78^\circ + 120^\circ = 14.91\angle +76.22^\circ\ A$$

c) The voltages at the load terminals are:

طالب مني جهد الحمل وبما إنه التوصيلة Delta ف جهد الفاز والخط متساويين

$$V_{AB} = Z_{Delta}\, I_{AB} \rightarrow V_{AB} = (30\ \angle 40°) \times (14.91\angle -43.78°)$$

$$V_{AB} = 447.3\angle -3.78°\ V$$

$$V_{BC} = 447.3\angle -3.78° - 120° = 447.3\angle -123.78°\ V$$

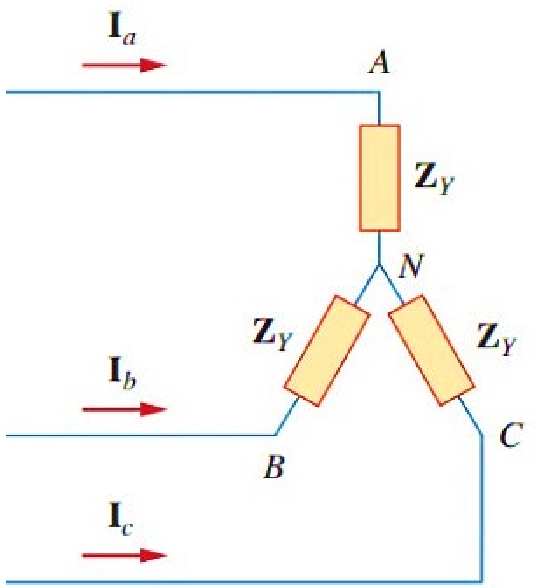
$$V_{BC} = 447.3\angle -3.78° + 120° = 447.3\angle +116.22°\ V$$

2.6 POWER IN BALANCED THREE-PHASE CIRCUITS

درسنا الطاقة في نظام أحادي الطور وعرفنا قانون كل واحد منهم لكن بنظام ثلاثي الطور القوانين بتختلف وبهذا السكشن راح نتعرف على القوانين الخاصة بنظام ثلاثي الطور.

للتذكير:

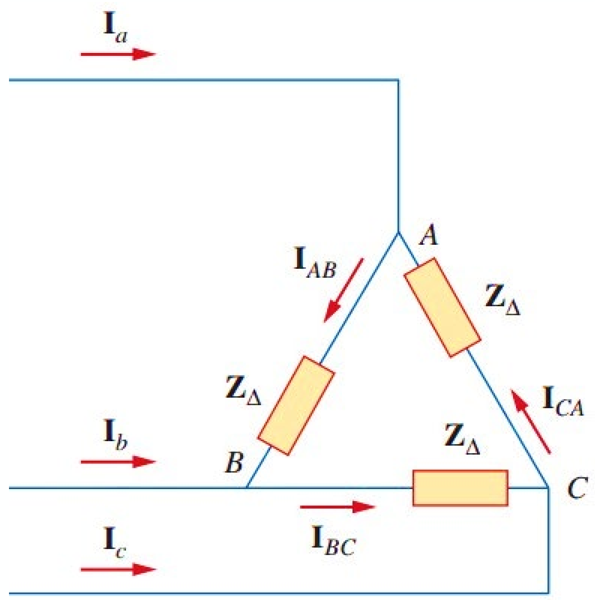
1) Wye connected load:



$$I_{line} = I_{phase}$$

$$V_{line} = \sqrt{3}V_{phase}\angle 30°$$

2) Delta connected load:



$$V_{line} = V_{phase}$$

$$I_{line} = \sqrt{3}I_{phase}\angle -30°$$

- Real power [W]:

$$P = 3\,V_{phase}\,I_{phase}\cos(\theta_V - \theta_I)$$

$$P = \sqrt{3}\,V_{Line}\,I_{Line}\cos(\theta_V - \theta_I)$$

بنظام أحادي الطور كان عندي القانون $P = V\,I\cos(\theta_V - \theta_I)$
أما الأن أنا بنظام ثلاثي الطور يعني 3فازات يعني عندي P1,P2,P3
3 بور ويطبق على جميع أنواع البور.

- Reactive power [VAR]:

$$Q = 3\,V_{phase}\,I_{phase}\sin(\theta_V - \theta_I)$$

$$Q = \sqrt{3}\,V_{Line}\,I_{Line}\sin(\theta_V - \theta_I)$$

- Apparent power [VA]:

$$|S| = 3\,V_{phase}\,I_{phase}$$

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

- Complex power [VA]:

$$S = 3\,V_{phase}\,I_{phase}^{*}$$

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

ملاحظة: يوجد إثباتات للقوانين لكن غير مطالبين إلّا بالقانون النهائي

Example 2.5

Two balanced three-phase motors in parallel, an induction motor drawing 400 kW at 0.8 power factor lagging and a synchronous motor drawing 150 kVA at 0.9 power factor leading, are supplied by a balanced, three-phase 4160-volt source. Cable impedances between the source and load are neglected, (a) Draw the power triangle for each motor and for the combined-motor load. (b) Determine the power factor of the combined-motor load. (c) Determine the magnitude of the line current delivered by the source. (d) A delta-connected capacitor bank is now installed in parallel with the combined-motor load. What value of capacitive reactance is required in each leg of the capacitor bank to make the source power factor unity? (e) Determine the magnitude of the line current delivered by the source with the capacitor bank installed.

بحكيلي إنه عندي محركين متصلات على التوازي كل واحد ثلاثي الطور ومتزن وأعطاني لكل واحد معطيات وطالب عدة مطاليب.

Sol:

a) Draw the power triangle for each motor and for the combined-motor load.

طالب مني أرسم مثلث البور الي حكينا عنه فوق بشوف المعطيات وبستخرج ما تبقى من المثلث.

Induction motor:

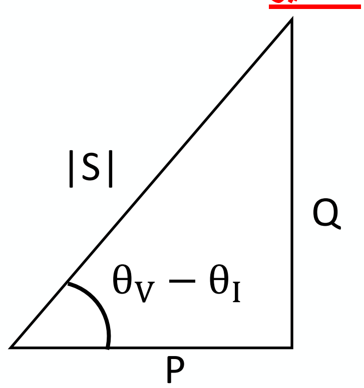
P=400kW PF= 0.8 lagging

$$\mathrm{PF} = 0.8$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.8) = 36.87°$$

بستخرج الزاوية من القانون

للتذكير



$$\tan(\theta) = \frac{Q}{P} \longrightarrow \tan(36.87°) = \frac{Q}{400k}$$

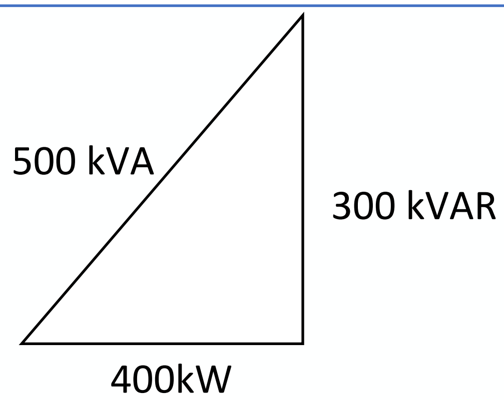
الزاوية موجبة لأنها Lagging

$$Q = 300 \text{ kVAR}$$

$$S = P + jQ$$

$$S = 400 + j300 \rightarrow 500\angle + 36.87°\text{kVA}$$

مش حكينا إنه ال |S| بتكون ال Amplitude لل Complex power بحولها ل Polar وباخذ القيمة



synchronous motor:

|S|=150 kVA   PF=0.9 leading

بستخرج الزاوية من القانون

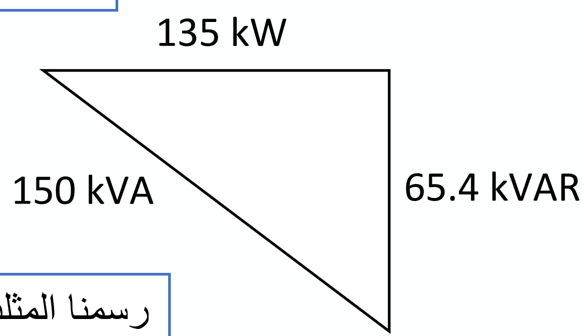
$$PF = 0.9$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.9) = 25.84°$$

$$S = 150\angle - 25.84° \text{ kVA}$$

الزاوية سالبة لأنها Leading

$$S = 135 - j65.4 \text{ kVA}$$



رسمنا المثلث مقلوب لأنه الزاوية سالبة

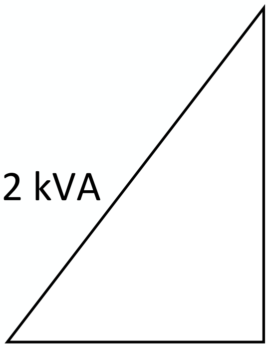
Combined-motor load:

هون راح نجمع المثلثين مع بعض فقط بنجمع ال P و Q

$$P_{total} = P1 + P2 \rightarrow 400 + 135 = 535 \text{ kW}$$

$$Q_{total} = Q1 + (-Q2) = 300 - 65.4 = 234.6 \text{ kVAR}$$

$$S = 535 + j234.6 \rightarrow 584.2\ \angle 23.67° \text{ kVA}$$



b) Determine the power factor of the combined-motor load.

لما حولنا الشكل ل Polar استخرجنا قيمة الزاوية هسا طالب البور فاكتور

$$PF = \cos(\theta_V - \theta_I) \rightarrow PF = \cos(23.67°) = 0.9158 \text{ Lagging}$$

C) Determine the magnitude of the line current delivered by the source.

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

$$I_{Line} = \frac{584.2}{\sqrt{3} \times 4160} = 0.0811 \text{ kA}$$

ملاحظة: إذا ما ذكر بالسؤال إنه الجهد Phase بعتبره Line

d) A delta-connected capacitor bank is now installed in parallel with the combined-motor load. What value of capacitive reactance is required in each leg of the capacitor bank to make the source power factor unity?

$$Q_C = \frac{3V^2}{X_{Delta}} \rightarrow X_{Delta} = \frac{3V^2}{Q_C}$$

$$X_{Delta} = \frac{3(4160)^2}{234.6\ k} = 221.3\ \Omega$$

Power factor unity

يعني ما عندي Q

$$Q_{new} = Q_{add} + Q_{com} = 0$$

حكينا ما عندي Q لحتى يلغوا بعض

$$Q_{add} = Q_{com}$$

e) Determine the magnitude of the line current delivered by the source with the capacitor bank installed.

حكينا لما الزاوية تتغير التيار أيضا بتغير راح نوجد قيمة التيار بعد تغيير الزاوية كما ذكر بالفرع الي قبل.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}\ V} = \frac{P}{\sqrt{3}\ V} = \frac{535\ k}{\sqrt{3} \times 4160} = 74.3\ A$$

ما عندي Q انلغت يعني

S=P

2.7 ADVANTAGES OF BALANCED THREE-PHASE VERSUS SINGLE-PHASE SYSTEMS

- reduced capital and operating costs of transmission and distribution.

- the total instantaneous electric power delivered by a three-phase generator under balanced steady-state conditions is (nearly) constant.

Difference between ground and natural?

Ground

- Actual physical

- For safety and protection under normal operation

- Conductor that carries current under fault condition

Natural

- In 3phase Y connected

- Conductor that carries current is normal operation

- Represent a reference point which an electrical distribution system

Problems Ch 2

2.19) Consider a single-phase load with an applied voltage $v = 150\cos(\omega t + 10°)$ V and load current $i = 5\cos(\omega t - 50°)$ A. (a) Determine the power triangle. (b) Find the power factor and specify whether it is lagging or leading. (c) Calculate the reactive power supplied by capacitors in parallel with the load that correct the power factor to 0.9 lagging

دارة نظام أحادي الطور أعطاني الجهد والتيار الخاص فيه وطالب عدة مطاليب

Sol:

$$S = V_{rms} I_{rms}^*$$

$$S = \frac{150}{\sqrt{2}}\angle 10° \times \frac{5}{\sqrt{2}}\angle 50°$$

حولنا الجهد والتيار لأنه بالمادة بنتعامل مع Rms
الزاوية موجبة لأنه في Conjugate

$$S = 375\angle 60°\ \text{VA}$$

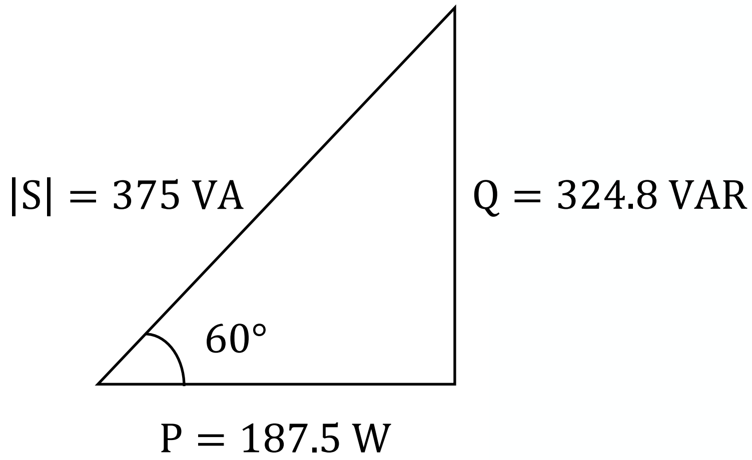
$$S = P + jQ$$

$$S = 187.5 + j324.8$$

$$P = 187.5\ \text{W}$$

$$Q = 324.8\ \text{VAR}$$

$$|S| = 375\ \text{VA}$$



b) $P_f = \cos(60°) = 0.5$ lagging

c) Reactive power by capacitor:

$$Q_S = P \times \tan(Q_S) = 187.5 \times \tan(\cos^{-1}(0.9)) = 90.81\ \text{VAR}$$

$$Q_C = Q_L - Q_S = 324.8 - 90.81 = 234\ \text{VAR}$$

2.23) A single-phase source has a terminal voltage $V = 120\angle 0° \text{ V}$ and a current $I = 10\angle 30° \text{ A}$, which leaves the positive terminal of the source. Determine the real and reactive power, and state whether the source is delivering or absorbing each.

أعطانا بالسؤال الجهد والتيار وطالب Complex power وطالب أحدد إذا المصدر بولّد طاقة ولّا بستهلك.

Sol:

$$S = VI^* = (120\angle 0°)(10\angle -30°) = 1200\angle -30° \text{ VA}$$

$$S = 1039.2 - j\,600 \text{ VA}$$

[The machine is generator] →

بدي أحل على طريقة الفرض

فرضت إنه Delivered

بشوف الإشارات

إشارة ال P موجبة إذا Delivered

إشارة ال Q سالبة إذا مش Delivered فهو Absorbed

↓

قلنا بنعتمد على ال P بالتحديد

P= Delivered = Generator

2.27) An industrial load consisting of a bank of induction motors consumes 50 kW at a power factor of 0.8 lagging from a 220-V, 60-Hz, single-phase source. By placing a bank of capacitors in parallel with the load, the resultant power factor is to be raised to 0.95 lagging. Find the net capacitance of the capacitor bank in mF that is required.

حمل بدارة أعطاني معلومات عنه وبعدين استبدل هذا الحمل بمواسع وطالب أجد مقدار المواسعة

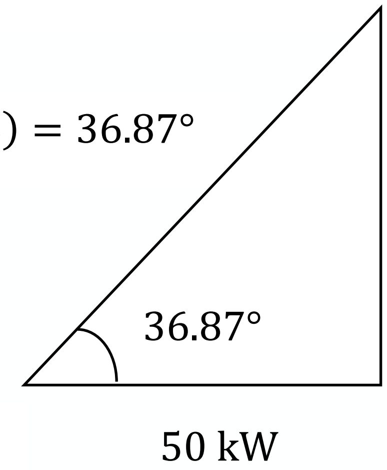
Sol:

$P_{old} = 50\ \text{kW} \qquad PF = 0.8 \rightarrow \theta_{old} = \cos^{-1}(0.8) = 36.87°$

$$\tan(\theta) = \frac{Q_{old}}{P_{old}} \longrightarrow \tan(36.87°) = \frac{Q_{old}}{50k}$$

$Q_{old} = 37.5\ \text{kVAR}$

$S_{old} = 50000 + j37500\ \text{VA}$



بعد ما استخرجنا كل المعلومات اللي قبل استبدال الحمل بمواسع هسا لازم نستخرج معلومات المواسع الجديدة حسب المعطيات اللي بالسؤال.

$P_{new} = 50\ \text{kW} \longrightarrow$ أخذنا إنها ثابتة لكل السؤال

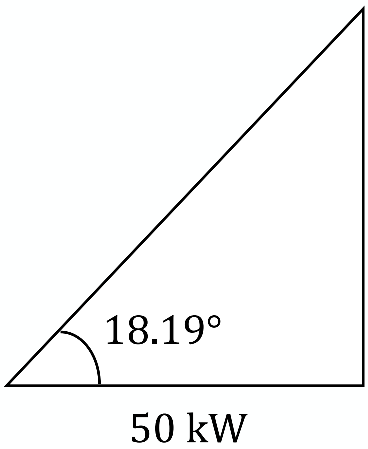
$PF = 0.95$

$\theta_{new} = \cos^{-1}(0.95) = 18.19°$

$$\tan(\theta) = \frac{Q_{new}}{P_{new}} \longrightarrow \tan(18.19°) = \frac{Q_{new}}{50k}$$

$Q_{new} = 16.430\ \text{kVAR}$

$S_{new} = 50000 + j16430\ \text{VA}$



بعد ما استخرجنا كل المعلومات بنستخرج الممانعة ومنها بنستخرج المواسعة.

$$S_C = \frac{|V|^2}{Z_C^*} \rightarrow Z_C = \frac{|V|^2}{S_C^*}$$

$$S_{new} = S_{old} + S_C \rightarrow S_C = S_{new} - S_{old}$$

$$S_C = (50k + j16430) - (50k + j37500) \rightarrow S_C = -j21070\ VA$$

$$Z_C = \frac{|220|^2}{j21070} = -j2.2971$$

$$C = \frac{-j}{2\pi f\, Z_C} \rightarrow C = \frac{-j}{2\pi \times 60 \times -j2.2971} = 1155\mu F$$

2.41) three-phase 25-kVA, 480-V, 60-Hz alternator, operating under balanced steady state conditions, supplies a line current of 20 A per phase at a 0.8 lagging power factor and at rated voltage. Determine the power triangle for this operating condition.

نظام ثلاثي الطور أعطانا الجهد والتيار وطالب مثلث البور.

Sol:

$$S_{3\emptyset} = \sqrt{3}\, V_{Line}\, I_{Line}\angle\theta$$

$$S_{3\emptyset} = \sqrt{3}\ \times 480 \times\ 20\angle\cos^{-1}(0.8)$$

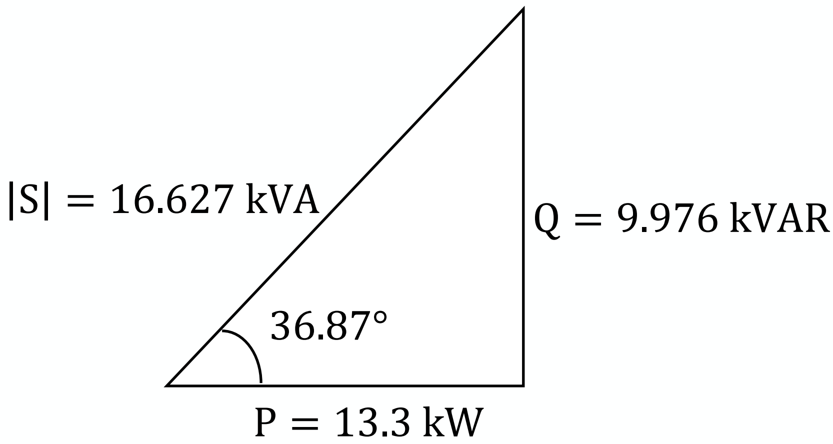
$$S_{3\emptyset} = 16.627 \times 10^3\angle 36.87°\ VA$$

$$S_{3\emptyset} = 13.3 \times 10^3 + j9.976 \times 10^3$$

$$P = 13.3\ kW$$

$$Q = 9.976\ kVAR$$

$$|S| = 16.627\ kVA$$



2.46) Three identical impedances $Z_{Delta} = 30\angle 30\ \Omega$ are connected in Delta to a balanced three phase 208-V source by three identical line conductors with impedance $Z_L = 0.8 + j0.6\ \Omega$per line. (a) Calculate the line-to-line voltage at the load terminals. (b) Repeat part (a) when a Delta-connected capacitor bank with reactance $(-j60)\Omega$ per phase is connected in parallel with the load.

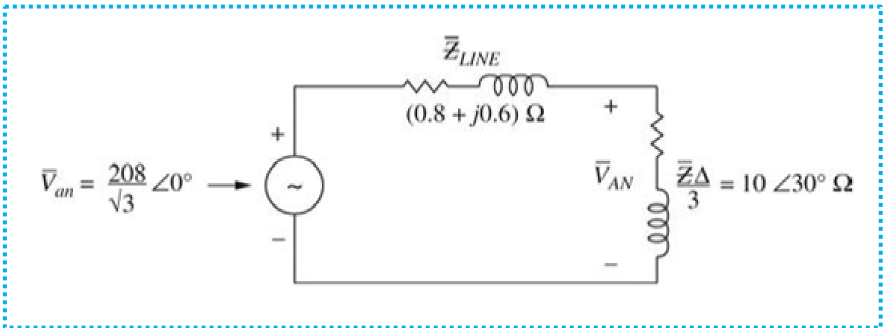
Sol:

a) Calculate the line-to-line voltage at the load terminals.

طالب نحسب الجهد على الحمل لكن عندي ممانعة على الخط ف لازم أحول ممانعة الدلتا ليسهل الحل وطبعا بنحول جهد الخط لجهد الفاز.

$$V_{an} = \frac{208}{\sqrt{3}}\angle 0°\ V$$

$$Z_Y = \frac{30\angle 30°}{3} = 10\angle 30°\Omega$$



$$V_{AN} = V_{an} \times \frac{Z_Y}{Z_Y + Z_{line}}$$

$$V_{AN} = \frac{208}{\sqrt{3}}\angle 0° \times \frac{10\angle 30°}{10\angle 30° + (0.8 + j0.6)}$$

$$V_{AN} = \frac{(10\angle 30°) \times (120.09)}{9.46 + j5.6}$$

بتوصيلة Y جهد الخط لا يساوي جهد الفاز.

طالب جهد الخط للحمل وأنا استخرجت جهد الفاز بحول لجهد الخط.

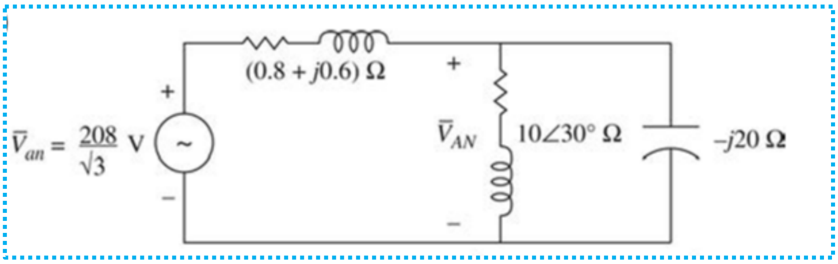
$$V_{AN} = 109.3\angle -0.62°\ V$$

$$V_{AB} = \sqrt{3}\,V_{AN} \rightarrow V_{AB} = \sqrt{3} \times 109.3 = 189.3\ V$$

b) Repeat part (a) when a D-connected capacitor bank with reactance $(-\,j60)\Omega$ per phase is connected in parallel with the load.

طالب تكرار الفرع الأول لكن مع إضافة مواسع.

نفس الخطوات لكن عندي ممانعة ومواسع على التوازي بأخذ المحصلة على التوازي عشان أحصّل الجهد على الحمل كامل.



$$Z_{eq} = \frac{Z_C \times Z_Y}{Z_C + Z_Y}$$

$$Z_{eq} = \frac{-j20 \times 10\angle 30°}{-j20 + 10\angle 30°}$$

$$Z_{eq} = 11.547\angle 0°\Omega$$

$$V_{AN} = V_{an} \times \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + Z_{line}}$$

$$V_{AN} = \frac{208}{\sqrt{3}}\angle 0° \times \frac{11.547}{11.547 + (0.8 + \ j0.6)}$$

$$V_{AN} = \frac{(11.547) \times (120.09)}{11.547 + 0.8 + \ j0.6}$$

بتوصيلة Y جهد الخط لا يساوي جهد الفاز.

طالب جهد الخط للحمل وأنا استخرجت جهد الفاز بحول لجهد الخط.

$$V_{AN} = 112.2\angle -2.78°\ V$$

$$V_{AB} = \sqrt{3}\, V_{AN} \rightarrow V_{AB} = \sqrt{3} \times 112.2 = 194.3\ V$$

Ch 3 POWER TRANSFORMERS

3.1 The ideal transformer

Transformers is device that change Ac electric power at one voltage level to another voltage level, through the action of magnetic field.

المحول هو جهاز بنقل الطاقة وعنا هون المحول المثالي الي بنقل الطاقة بدون أي فقدان لها بحيث بتوصلني كما هي وطبعا هذا إشي صعب نلاقيه بالحياة الواقعية.

For ideal transformer:

- The power:

$P_{in} = P_{out}$ (No real power losses)

$Q_{in} = Q_{out}$ (No reactive power losses)

$S_{in} = S_{out}$ (No apparent power losses)

بالمحول المثالي من إسمه مثالي
يعني ما عندي أي فقدان للطاقة
يعني الداخل نفسه الخارج.

- the efficiency is 100%

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \rightarrow P_{in} = P_{out}$$

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{in}} \times 100\% = 100\%$$

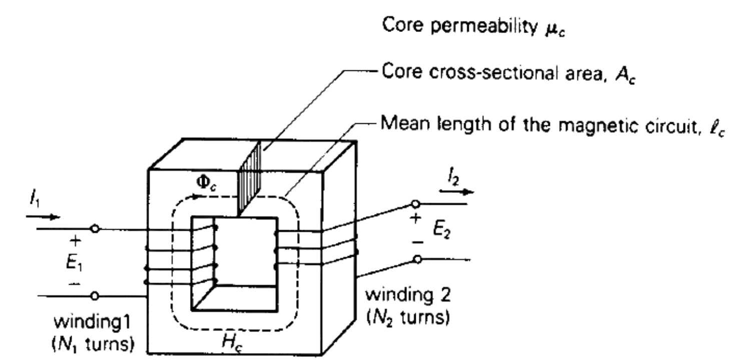
- The windings have zero resistance.

- The core permeability mc is infinite, which corresponds to zero core reluctance.

- There is no leakage flux.

- There are no core losses.

$$N_1I_1 - N_2I_2 = R_C\phi_C \rightarrow \text{Ohms low}$$



اشتقينا المعادلة اللي بالأعلى بمادة الماشين وموجود اشتقاقها بالكتاب لكن مش مطلوب منا بس بدنا نوصل لشغلة من خلاله.

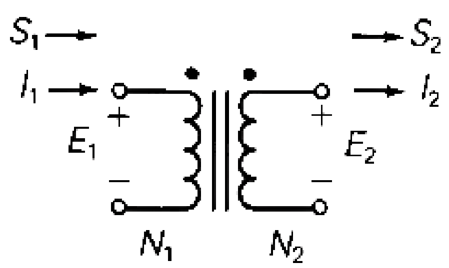
$$R_C = \frac{I_C}{\mu_C A_C}$$

For ideal transformer $\mu_C = \infty$

Then $R_C = \text{Zero}$

Becomes $N_1I_1 = N_2I_2 \rightarrow$ For ideal transformer

For ideal transformer:



$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \longrightarrow \boxed{E = V}$$

$$E_1 = aE_2$$

$$I_1 = \frac{I_2}{a}$$

$$Z_2 = \frac{E_2}{I_2}$$

$$Z_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{aE_2}{\frac{I_2}{a}} = a^2Z_2$$

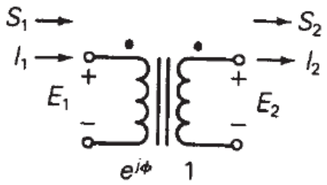
$$S_1 = S_2$$

إثبات:

$$S_1 = S_2$$

$$S_1 = E_1I_1^* = aE_2 \times \frac{I_2^*}{a} = I_2^*E_2 = S_2$$

For ideal phase-shifting:
- Impedance is unchanged when it is referred from one side.
-no real or reactive power losses since $S_1 = S_2$.



$$a_t = e^{j\phi}$$

$$E_1 = a_t E_2 = e^{j\phi} E_2$$

$$I_1 = \frac{I_2}{a_t^*} = e^{j\phi} I_2$$

$$S_1 = S_2$$

$$Z_2' = Z_2$$

في إشي عنا اسمه ideal phase-shifting هذا مش محول مثالي

لكن كزاوية عنا إشي سابق وعنا إشي متأخر الي بدنا نعرفه من هاي الفقرة المعلومتين اللي بالأعلى فقط.

ك magnitude ما في أي تغيير.

Example 3.1

A single-phase two-winding transformer is rated 20 kVA, 480/120 V, 60 Hz. A source connected to the 480-V winding supplies an impedance load connected to the 120-V winding. The load absorbs 15 kVA at 0.8 p.f. lagging when the load voltage is 118 V. Assume that the transformer is ideal and calculate the following:

a. The voltage across the 480-V winding.

b. The load impedance.

c. The load impedance referred to the 480-V winding.

d. The real and reactive power supplied to the 480-V winding

Sol:

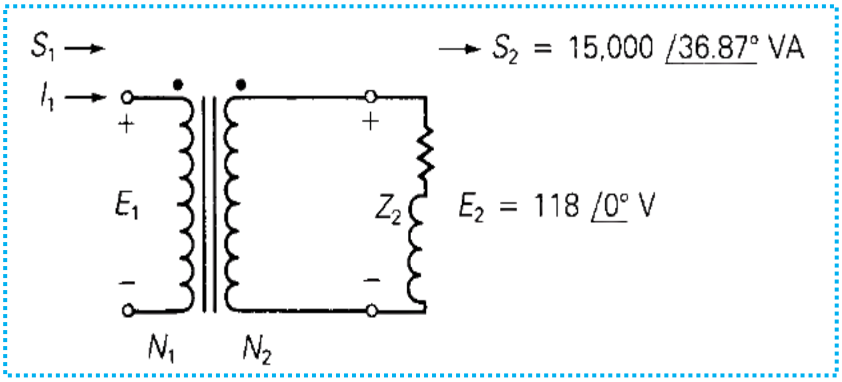
محول بتكون من لفتين حكالي بجهة Secondary في حمل وأعطاني معلوماته وطالب عدة مطاليب.

$$PF = 0.8 \text{ Lagging}$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.8) = 36.87°$$

$$S_2 = 15 \angle 36.87° \text{ kVA}$$

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_{1rated}}{E_{2rated}} = \frac{480}{120} = 4$$



a) The voltage across the 480-V winding.

طالب الجهد على Primary بشتغل على القانون.

$$E_1 = aE_2 \rightarrow E_1 = 4 \times 118\angle 0° = 472\angle 0° \text{ V}$$

b) The load impedance.

طالب الممانعة على الحمل وأعطاني الجهد والكومبلكس بور بشتغل على القوانين اللي في شابتر 2

$$S_2 = \frac{|E|^2}{Z^*} \rightarrow Z = \frac{|E|^2}{{S_2}^*}$$

$$Z = \frac{118^2}{15 \angle -36.87° \text{ k}} = 0.9283\angle 36.87° \ \Omega$$

c) The load impedance referred to the 480-V winding.

$$Z_2' = a^2 Z_2 \rightarrow Z_2' = 16 \times 0.9283\angle 36.87° = 14.85\angle 36.87° \ \Omega$$

d) The real and reactive power supplied to the 480-V winding.

$$S_1 = S_2$$

$$S_1 = 15000 \angle 36.87° = 12000 + \ j9000$$

$$P = 12 \text{ kW} \qquad\qquad Q = 9 \text{ kVAR}$$

3.2 EQUIVALENT CIRCUITS FOR PRACTICALTRANSFORMERS

درسنا بالسكشن اللي قبل المحول المثالي واعرفنا شكله وصفاته وإنه مثالي لدرجة الطاقة الداخلة نفسها الخارجة لكن بالواقع ما عنا محول مثالي لهيك راح نتعرف بهذا السكشن على المحول اللي بنتعامل معه وبكون بواقعنا ونعرف شو الفرق بينه وبين المحول المثالي.

practical transformers differs from the ideal transformer as follows:

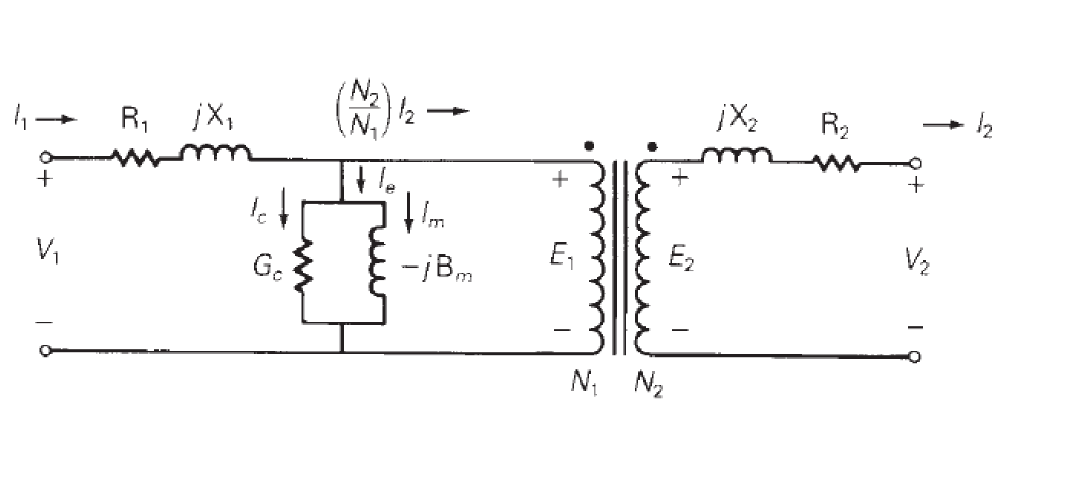
1. The windings have resistance.

2. The core permeability mc is finite.

3. The magnetic flux is not entirely confined to the core.

4. There are real and reactive power losses in the core.

بالمحول العملي أكيد بصير فقدان للطاقة لإنه مش مثالي وحكينا مستحيل يصير مثالي والدارة التالية هي شكل المحول الي بنتعامل معه راح ندرسها ونتعرف على أجزاءها.



- Losses:

1) Copper losses: (R_1, R_2)

Resistive heating losses in the primary and secondry windings.

2) Leakage flux: (ϕ_{L1}, ϕ_{L2})

leave core and pass-through air (Inductance of primary and secondry coils).

- Core losses

1) Hysteresis loss

Hysteresis loss occurs because a cyclic variation of flux within the core requires energy dissipated as heat.

hysteresis loss can be reduced by the use of special high grades of alloy steel as core material.

2) Eddy current

Eddy current loss occurs because induced currents called eddy currents flow within the magnetic core perpendicular to the flux.

eddy current loss can be reduced by constructing the core with laminated sheets of alloy steel

- the core loss current (I_c) $\longrightarrow$ $\boxed{\text{تيار } G_c}$
- the magnetizing current (I_m) $\longrightarrow$ $\boxed{\text{تيار } B_m}$
- exciting current $I_e = (I_c + I_m)$ $\longrightarrow$ $\boxed{\text{محصلة التيارين } I_c + I_m}$

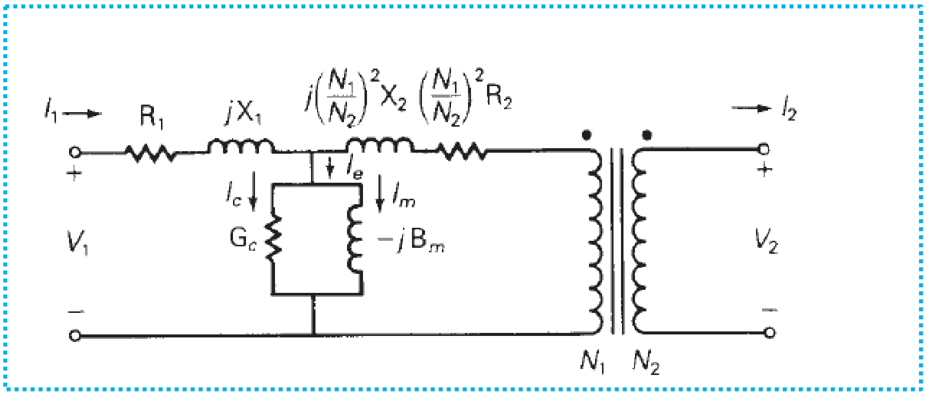
- For large power transformers rated more than 500 kVA, the winding resistances, which are small compared with the leakage reactance's, can often be neglected.

- Since the exciting current is usually less than 5% of rated current, neglecting it in power system studies is often valid unless transformer efficiency or exciting current phenomena are of particular concern.

بعد ما اعرفنا الأجزاء وشو بمثل كل جزء بالدارة الأن بدنا نعرف كيف بتنحل الدارة.

بنعرف من الماشين إنه في اختبارين بنطبقهم على الدارة التالية لحل الدارة وهم:

1) Open circuit test



Performed on LVS

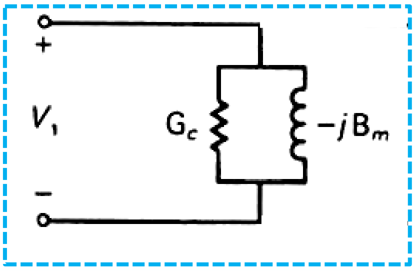
HVS ⟶ Open

على فرض

$300V/3000V$

LVS HVS

- بما إنه طبقنا الإختبار صار Open يعني $I_S = \text{Zero}$
- بنبطق الإختبارعلى ال Secondary بما إنه الأكبر.
- بهمل $R_1 \text{and } x_1$

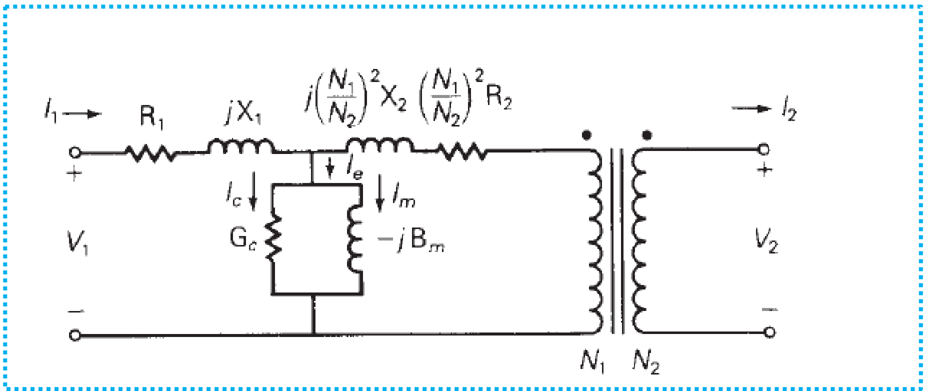


$$Y = G_C - jB_m = \frac{1}{R_C} - \frac{j}{X_m}$$

$$P_{OC} = V_{OC} I_{OC} \cos(\theta)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}}\right)$$

2) Short circuit test



Performed on HVS

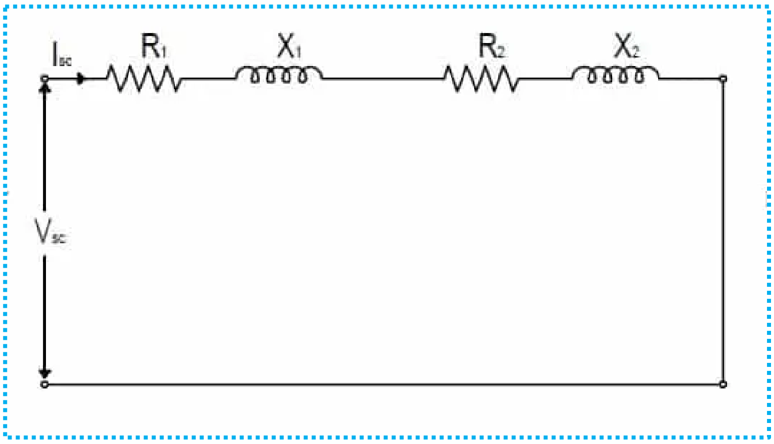
LVS ⟶ Shorted

على فرض

$3000V/300V$

HVS LVS

- بجعل V1=0
- بطبق الإختبار.
- بهمل الجزء اللي بالمنتصف.
- بنقل كل شيء لل secondary



$$R_{eq} = R_{eqs} + jX_{eqs}$$

$$P_{SC} = V_{SC} I_{SC} \cos(\theta)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}}\right)$$

$$Z_{SC} = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \angle\theta$$

Example 3.2

A single-phase two-winding transformer is rated 20 kVA, 480/120 volts, 60 Hz. During a short-circuit test, where rated current at rated frequency is applied to the 480-volt winding (denoted winding 1), with the 120-volt winding (winding 2) shorted, the following readings are obtained: $V_1 = 35$ Volts, $P_1 = 300$ W. During an open-circuit test, where rated voltage is applied to winding 2, with winding 1 open, the following readings are obtained: $I_2 = 12$ A , $P_2 = 200$ W.

a) From the short-circuit test, determine the equivalent series impedance $Z_{eq1} = R_{eq1} + jX_{eq1}$ referred to winding 1.

b) From the open-circuit test, determine the shunt admittance $Y_m = G_C - jB_m$ referred to winding 1.

أعطاني بالسؤال معلومات عن المحول وأعطاني معلومات عن الاختبارين الي بدي أطبقهم لحل الدارة وطالب الممانعة بالفرع الأول ومقلوب الممانعة بالفرع الثاني لكن لكل واحد اختبار خاص فيه لإيجاده.

Sol:

a) From the short-circuit test, determine the equivalent series impedance $Z_{eq1} = R_{eq1} + jX_{eq1}$ referred to winding 1.

$$I_{1rated} = \frac{S_{rated}}{V_{rated}} = \frac{20\text{ k}}{480} = 41.667\text{ A} \longrightarrow$$

استخرجنا قيمة تيار ال Rated

معي تيار وأعطاني معلومات عن التست منها البور بستخرج المقاومة.

$$P_1 = I^2R \rightarrow R = \frac{P_1}{I^2}$$

$$R = \frac{300}{(41.667)^2} = 0.1728\,\Omega$$

استخرجنا أول جزء من أجزاء الممانعة لكن الملف ما عندي أي معلومة تساعدني أستخرجه من خلالها بس أعطاني الجهد والتيار بستخرج من خلالهم قيمة الممانعة.

$$|Z_{eq1}| = \frac{V_1}{I_{1rated}} = \frac{35}{41.667} = 0.8400\,\Omega$$

$$Z_{1eq} = R_{1eq} + jX_{1eq}$$

$$|Z_{1eq}| = \sqrt{{R_{1eq}}^2 + {X_{1eq}}^2} \longrightarrow$$

بترتيب المعادلة

$$X_{1eq} = \sqrt{{Z_{1eq}}^2 - {R_{1eq}}^2} \rightarrow X_{1eq} = \sqrt{0.8400^2 - 0.1728^2} = 0.8220\,\Omega$$

$$Z_{1eq} = 0.1728 + j0.8220\,\Omega$$

b) From the open-circuit test, determine the shunt admittance $Y_m = G_C - jB_m$ referred to winding 1.

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2}(V_{2rated}) \rightarrow V_1 = \frac{480}{120}(120) = 480\ V \longrightarrow$$

أعطاني معلومات عن التست
لكن ما أعطاني الجهد
وبما إنه بال Primary
الجهد يساوي 480

بال Open test بستخرج قيمة ال Shunt admittance (مقلوب الممانعة)

أعطاني قيمة البور ومعي قيمة الجهد بستخرج قيمة مقلوب المقاومة.

$$P_2 = \frac{V_1^2}{R} \rightarrow P_2 = V_1^2 G_C$$

$$G_C = \frac{P_2}{V_1^2} \rightarrow G_C = \frac{200}{480} = 0.000868\ S$$

$$|Y_m| = \frac{I_1}{V_1} \longrightarrow$$

ما معي قيمة التيار ل Primary
بس معي قيم تيار ال Secondary
بعمل Refer to primary

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1}(I_2) \rightarrow I_1 = \frac{120}{480}(12) = 3\ A$$

$$|Y_m| = \frac{3}{480} = 0.00625\ S$$

The units of admittance, conductance, and susceptance are siemens.

$$Y_m = G_C - jB_m$$

$$B_m = \sqrt{{Y_m}^2 - {G_C}^2}$$

$$B_m = \sqrt{{Y_m}^2 - {G_C}^2} \rightarrow B_m = \sqrt{0.00625^2 - 0.000868^2} = 0.00619\ S$$

$$Y_m = 0.000868 - j0.00619\ S$$

3.3 THE PER-UNIT SYSTEM

تعرفنا بالدرس السابق على المحول اللي بنستخدمه بحياتنا العملية وشو بفرق عن المحول المثالي وأيضا اعرفنا كيف نحل الدارة لكن كطريقة حل كانت طويلة نوعا ما لهيك راح نتعرف على اشي إسمه Per unit

- One advantage of the per-unit system is that by properly specifying base quantities, the transformer equivalent circuit can be simplified

من إحدى مميزات البير يونت بقدر أبسط دارة المحول بشكل أسهل من خلال تحديد قيمة ال Base

- The per-unit quantity is always dimensionless.

كل الكميات اللي أخذناها سابقا من طاقة وجهد وتيار كان لهم وحدات مثل أمبير وواط

لكن بال Per unit ما بنتعامل مع أي وحدة يعني ما إلها وحدة.

$$\text{per unit quantity} = \frac{\text{actual value} \longrightarrow \text{Ha}\cancel{\text{s unit}}}{\text{base value} \longrightarrow \text{Ha}\cancel{\text{s unit}}} \longrightarrow \text{per-unit dimensionless}$$

أشياء يقدر أحسبها باستخدام Per unit:

- Current
- Voltage
- Power
- Impedance
- Real and reactive power

قوانين بنستخدمهم للحل في نظام أحادي الطور:

$$P_{base1\phi} = Q_{base1\phi} = S_{base1\phi}$$

$$I_{base} = \frac{S_{base1\phi}}{V_{baseLN}}$$

$$Z_{base} = R_{base} = X_{base} = \frac{V_{baseLN}}{I_{base}} = \frac{{V_{baseLN}}^2}{S_{base1\phi}}$$

$$Y_{base} = G_{base} = B_{base} = \frac{1}{Z_{base}}$$

- The value of $S_{base1\phi}$ is the same for the entire power system of concern.

- The ratio of the voltage bases on either side of a transformer is selected to be the same as the ratio of the transformer voltage ratings.

- per-unit impedance remains unchanged when referred from one side of a transformer to the other.

Example 3.3

A single-phase two-winding transformer is rated 20 kVA, 480/120 volts, 60 Hz. The equivalent leakage impedance of the transformer referred to the 120-volt winding, denoted winding 2, is $Z_{eq2} = 0.0525 \angle 78.13°\Omega$. Using the transformer ratings as base values, determine the per-unit leakage impedance referred to winding 2 and referred to winding 1.

محول أحادي الطور أعطاني معلومات عنه وطالب قيمة الممانعة على ال Primary بالبير يونت

وذاكر أنه قيم ال base هي نفسها ال rated

وطالب أيضا قيمة البير يونت للممانعة على Secondary

Sol:

بداية بحدد قيم ال Base المعطيات بالسؤال

$$S_{base} = 20\ \text{kVA}\ , V_{base1} = 480\ \text{V}\ , V_{base2} = 120\ \text{V}$$

أعطاني قيمة الممانعة لل Secondary واللي هي Actual value

وبدي قيمة ال Base عشان أقدر أحصّل قيمة الممانعة بالبير يونت.

$$Z_{base2} = \frac{{V_{base2}}^2}{S_{base}} \rightarrow Z_{base2} = \frac{120^2}{20\ k} = 0.72\ \Omega$$

$$Z_{eq2p.u} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{Z_{eq2}}{Z_{base}} \to Z_{eq2p.u} = \frac{0.0525\ \angle 78.13°}{0.72} = 0.0729\ \angle 78.13°\ \text{Per unit}$$

بعد ما استخرجنا قيمة الممانعة بالبير يونت لل Secondary

الأن بدنا نستخرج قيمة الممانعة بالبير يونت لل Primary

أعطانا بالسؤال قيمة الممانعة لل Secondary

بمعنى referred to primary

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{480}{120} = 4$$

$$Z_{eq1} = a^2 Zeq_2 \to 4^2 \times 0.0525\ \angle 78.13° = 0.84\ \angle 78.13° \Omega$$

معي قيمة الممانعة لل Primary واللي هي Actual value

وبدي قيمة ال Base عشان أقدر أحصّل قيمة الممانعة بالبير يونت.

$$Z_{base1} = \frac{{V_{base1}}^2}{S_{base}} \to Z_{base1} = \frac{480^2}{20\ k} = 11.52\ \Omega$$

$$Z_{eq1p.u} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{Z_{eq1}}{Z_{base}} \to Z_{eq2p.u} = \frac{0.84\ \angle 78.13°}{11.52} = 0.0729\ \angle 78.13°\ \text{Per unit}$$

ملاحظات:

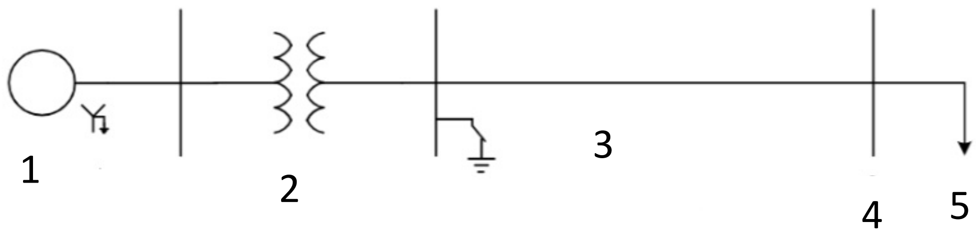
S_{base} هي نفسها لجميع النظام لا تتغير أبدا.

$Z_{eq1p.u} = Z_{eq2p.u}$ أيضا ما بتتغير.

بعد ما اعرفنا كيف بنحل محول أحادي الطور باستخدام ال Per unit

عنا إشي اسمه One line diagram بنلجأ لل Per unit لحله.

- One line diagram



1- Generator (توليد).

2- Transformer step up: Chang the voltage level.

3- Transmission line (خط النقل).

4- Bus: Interconnection two different element (similar to node in circuit).

5- Load.

Bus

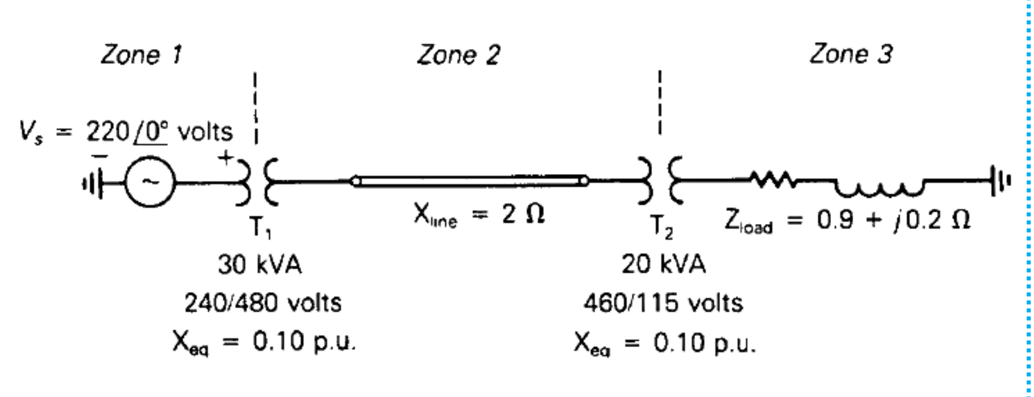
بوصل بين عنصرين زي مبدأ ال Node بالدارة.

بعد ما اعرفنا أجزاءه صار الوقت نحل عليه مثال لكن قبل المثال في شغلة لازم نعرفها، احنا متعودين نستخرج الممانعة إذا طلبها بالبير يونت بالطريقة التقليدية لكن هون بعطينا ممانعة جاهزة بالبير يونت وبطلب البير يونت الجديدة لها بالتالي راح نستخدم القانون التالي لإيجادها:

$$Z_{p.u.new} = Z_{p.u.old}\left(\frac{S_{base\ new}}{S_{base\ old}}\right)\left(\frac{V_{base\ old}}{V_{base\ new}}\right)^2$$

Example 3.4

Three zones of a single-phase circuit are identified in Figure. The zones are connected by transformers T1 and T2, whose ratings are also shown. Using base values of 30 kVA and 240 volts in zone 1, draw the per-unit circuit and determine the per-unit impedances and the per-unit source voltage. Then calculate the load current both in per-unit and in amperes. Transformer winding resistances and shunt admittance branches are neglected.



بداية لازم نعرف إنه هاي عبارة سيركت لكن على شكل One line diagram

بالحل بنقسم هاي السيركت لمناطق وباخذ قيم كل منطقة وبوجد المطاليب اللي طالبها السؤال يعني بحل كل منطقة لحالها.

السؤال طالب رسم دارة البير يونت للنظام بأكمله يعني راح أشتغل على منطقة منطقة، وطالب أيضا قيم الممانعة بالبير يونت وقيم الجهد وقيمة التيار الفعلي والبير يونت على الحمل اللي هو بالمنطقة الثالثة

Sol:

أعطانا بالسؤال S_{base} وحكينا إنها ما بتتغير ثابتة لكل النظام

أعطانا أيضا V_{base} للمنطقة الأولى فقط يعني ما بستخدمها للمناطق الثانية.

Generator

$$V_{p.u} = \frac{V_{actual}}{V_{base}} = \frac{220}{240} = 0.9167 \text{ Per unit}$$

Zone 1 $\longrightarrow$ $V_{base1} = 240\ V \quad S_{base} = 30\ kVA$

بالمنطقة الأولى بدنا نستخرج الجهد والممانعة Per unit

لو نلاحظ أعطاني قيمة X_{eq} لكن هاي قيمة قديمة ما بتصلح لدارة البير يونت

فلازم أوجد القيمة الجديدة من القانون اللي ذكرناه بالأعلى

$$Z_{base} = \frac{{V_{base}}^2}{S_{base}} = \frac{240^2}{30\ k} = 1.92\ \Omega$$

$$Z_{p.u.new} = Z_{p.u.old}\left(\frac{S_{base\ new}}{S_{base\ old}}\right)\left(\frac{V_{base\ old}}{V_{base\ new}}\right)^2 \longrightarrow$$

كل المعلومات استخرجتهم من الرسمة.

$$X_{T1p.u.new} = 0.1\ \left(\frac{30\ kVA}{30\ kVA}\right)\left(\frac{240}{240}\right)^2 = 0.10\ \text{Per unit}$$

Zone 2 $\longrightarrow$ $S_{base} = 30\ kVA$

حكينا $S_{base} = 30\ kVA$ ما بتتغير

المعطاة بالسؤال ما بتكون صالحة للمناطق الأخرى فلازم أستخرجها.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_{base1}}{V_{base2}} \rightarrow V_{base2} = \frac{V_2}{V_1} \times V_{base1}$$

$$V_{base2} = \frac{480}{240} \times 240 = 480\ V$$

بعد ما استخرجنا قيمة V_{base2} بدنا نستخرج قيمة الممانعة بالبير يونت.

$$Z_{p.u2} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} \longrightarrow$$

قيمة ال Actual أعطاني إياها بالرسمة

أما ال Base بستخرجها من خلال المعطيات الموجودة

$$Z_{base2} = \frac{{V_{base2}}^2}{S_{base}} \rightarrow Z_{base2} = \frac{480^2}{30\text{ k}} = 7.68\ \Omega$$

$$X_{p.u} = \frac{X_{actual}}{X_{base}} = \frac{2}{7.68} = 0.2604 \text{ Per unit}$$

Zone 3 → $S_{base} = 30\text{ kVA}$

أيضا هون تكرار للخطوات بالأعلى لكن هون طالب تيار الحمل اللي هو ال Actual وتيار البير يونت للحمل.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_{base2}}{V_{base3}} \rightarrow V_{base3} = \frac{V_2}{V_1} \times V_{base2}$$

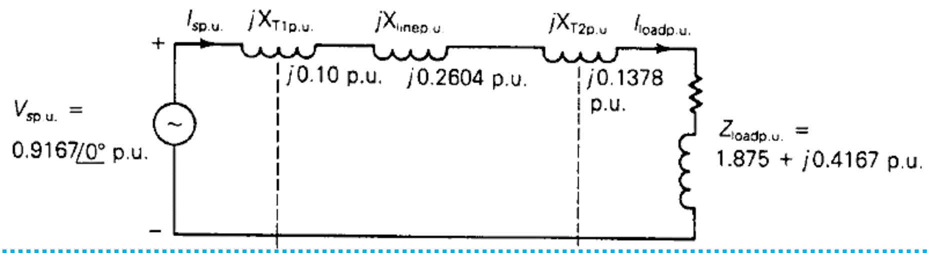
$$V_{base3} = \frac{115}{460} \times 480 = 120\text{ V}$$

$$Z_{\ base3} = \frac{{V_{base3}}^2}{S_{base}} \rightarrow Z_{\ base3} = \frac{480^2}{30\text{ k}} = 0.48\Omega$$

$$Z_{load\ p.u} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{0.9 + j0.2}{0.48} = 1.875 + j0.4167 \text{ Per unit}$$

$$Z_{p.u.new} = Z_{p.u.old}\left(\frac{S_{base\ new}}{S_{base\ old}}\right)\left(\frac{V_{base\ old}}{V_{base\ new}}\right)^2$$

$$X_{T1p.u.new} = 0.1\left(\frac{30\text{ kVA}}{20\text{ kVA}}\right)\left(\frac{115}{120}\right)^2 = 0.1378 \text{ Per unit}$$



بعد ما استخرجنا قيم الممانعات ورسمنا دارة البير يونت بدنا نستخرج قيمة التيار

$$I_{load\ p.u} = \frac{I_{actual}}{I_{base3}}$$

$$I_{base3} = \frac{S_{base}}{V_{base3}} = \frac{20\ k}{120} = 250\ A$$

استخرجنا قيمة تيار ال Base وبنقدر نستخرج تيار البير يونت

معي الدارة كاملة بمشي KVL لاستخراج تيار البير يونت.

$$I_{loadp.u} = I_{p.u} = \frac{V_{p.u}}{Z_{eq.p.u}} = \frac{V_{p.u}}{Z_{load} + j(X_{T1p.u} + X_{T2p.u} + X_{line})}$$

$$I_{loadp.u} = \frac{0.9167}{1.875 + j0.4167 + j(0.10 + 0.2604 + 0.1378)}$$

$$I_{loadp.u} = 0.4395\angle -26.01°\ \text{Per unit}$$

$$I_{load\ p.u} = \frac{I_{actual}}{I_{base3}} \rightarrow I_{actual} = I_{load\ p.u} \times I_{base3}$$

$$I_{actual} = 0.4395\angle -26.01° \times 250 = 109.9\angle -26.01°\ A$$

كل اللي أخذناه بالبير يونت كان على نظام أحادي الطور الأن بدنا ننتقل لنظام ثلاثي الطور ونتعرف على قوانينه بالبير يونت.

$$V_{baseLN} = \frac{V_{baseLL}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{base} = \frac{S_{base3\phi}}{\sqrt{3}V_{baseLL}}$$

$$Z_{base} = \frac{V_{baseLN}}{I_{base}} = \frac{{V_{baseLL}}^2}{S_{base3\phi}}$$

LN $\longrightarrow$ Line to neutral

LL $\longrightarrow$ Line to line

Example 3.5

A balanced Y-connected voltage source with $E_{ab} = 480\angle0°$ V is applied to a balanced-D load with $Z_{Delta} = 30\angle40°\Omega$.The line impedance between the source and load is $Z_{Line} = 1\angle85°\Omega$ for each phase Calculate the per-unit and actual current in phase a of the line using $S_{base3\phi} = 10$ kVA and $V_{baseLL} = 480$ volts.

Sol:

$$S_{base3\phi} = 10\ \text{kVA}\ \ ,\ V_{baseLL} = 480\ \text{volts}$$

بداية بلاحظ إنه شابك المصدر Y بحمل على شكل Delta لكن بينهم Z_{Line} فبحول شكل الدارة ل Y-Y

$$Z_Y = \frac{Z_{Delta}}{3} = \frac{30\angle40°}{3} = 10\angle40°\Omega$$

بعد ما حولناها كل شيء جاهز عنا وطالب بالسؤال التيار اللاين الفعلي تيار البير يونت.

طيب إحنا كنا نحل هاي الدارة كأنها Single circuit بالتالي لازم أوجد الممانعات بالبير يونت.

$$Z_{base} = \frac{{V_{base}}^2}{S_{base}} = \frac{480^2}{10\ k} = 23.04\ \Omega$$

$$Z_{load\ p.u} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{Z_L}{Z_{base}} = \frac{1\angle85°}{23.04} = 0.04340\angle85°\ \text{Per unit}$$

$$Z_{Y\ p.u} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{Z_Y}{Z_{base}} = \frac{10\angle40°}{23.04} = 0.4340\angle40°\ \text{Per unit}$$

بعد ما استخرجنا قيم الممانعات تبقى عنا الجهد عشان تكمل دارة البير يونت وأقدر أحصّل التيار.

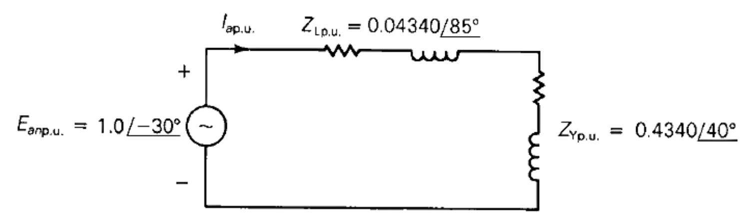
الجهد بدي إياه جهد الفاز وهون أعطاني جهد الخط بحوله باستخدام القوانين اللي أخذناهم سابقا.

$$V_{ab} = \sqrt{3}\, V_{an} \angle 30° \rightarrow V_{an} = \frac{V_{ab}\angle -30°}{\sqrt{3}} = \frac{480\angle -30°}{\sqrt{3}}$$

$$V_{an} = 277 \angle -30° \text{ V}$$

$$V_{baseLN} = \frac{V_{baseLL}}{\sqrt{3}} \rightarrow V_{baseLN} = \frac{480}{\sqrt{3}} = 277 \text{ V}$$

$$V_{anp.u} = \frac{V_{actual}}{V_{base}} = \frac{277 \angle -30°}{277} = 1\angle -30° \text{ Per unit}$$



بعد ما استخرجنا قيم الممانعات ورسمنا دارة البير يونت بدنا نستخرج قيمة التيار

$$I_{base} = \frac{S_{base3\phi}}{\sqrt{3}V_{baseLL}} = \frac{10 \text{ k}}{\sqrt{3}\,(480)} = 12.03 \text{ A}$$

$$I_{p.u} = \frac{V_{anp.u}}{Z_{eq.p.u}} = \frac{V_{p.u}}{Z_{Yp.u} + Z_{Lp.u}}$$

$$I_{loadp.u} = \frac{1\angle -30°}{0.4340\angle 40° + 0.04340\angle 85°} = 2.147\angle -73.78° \text{ Per unit}$$

$$I_{p.u} = \frac{I_{actual}}{I_{base}} \rightarrow I_{actual} = I_{l\ p.u} \times I_{base}$$

$$I_{actual} = 2.147\angle -73.78° \times 12.03 = 25.83\angle -73.78° \text{ A}$$

$I_{actual} = I_{line}$
لأنهم على التوالي

3.4 THREE-PHASE TRANSFORMER CONNECTIONS AND PHASE SHIFT

درسنا بالسكن الماضي محول أحادي الطور واعرفنا طرق حله سواء الطرق العادية أو بالبير يونت الأن بدنا نتعرف على محول ثلاثي الطور ونعرف أشكال كل توصيلة.

معلومة:

الكتاب رامز للجهد العالي H

والجهد المنخفض X

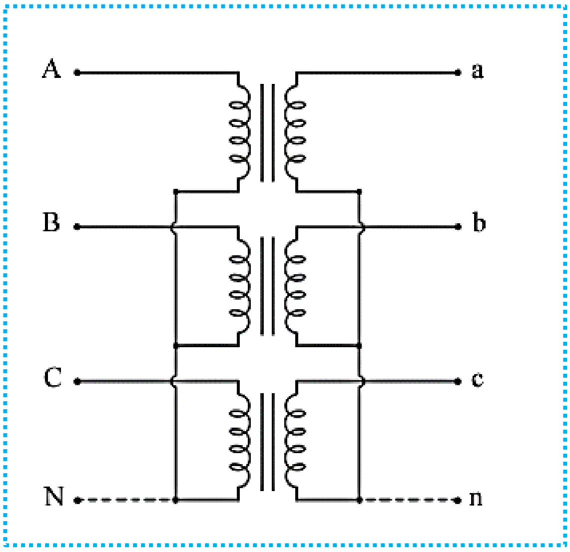
1- Wye

2- Delta

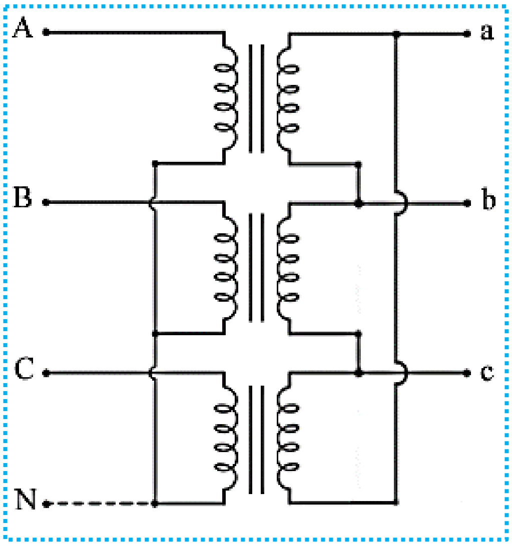
حكينا عن كل توصيلة واعرفنا خصائص كل وحدة وزي ما بنلاحظ هناك فرق بالطور مقداره 120 بين أي مرحلتين.

ممكن توصيل لفات المحول ثلاثية الطور في تكوينات ومختلفة وهم:

1- Wye-Wye

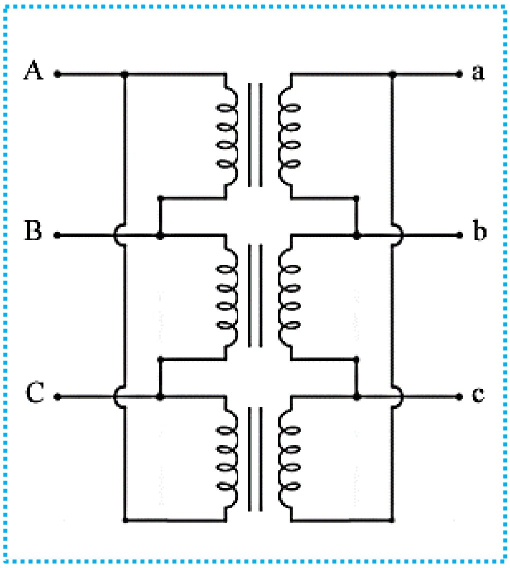


2- Wye-Delta

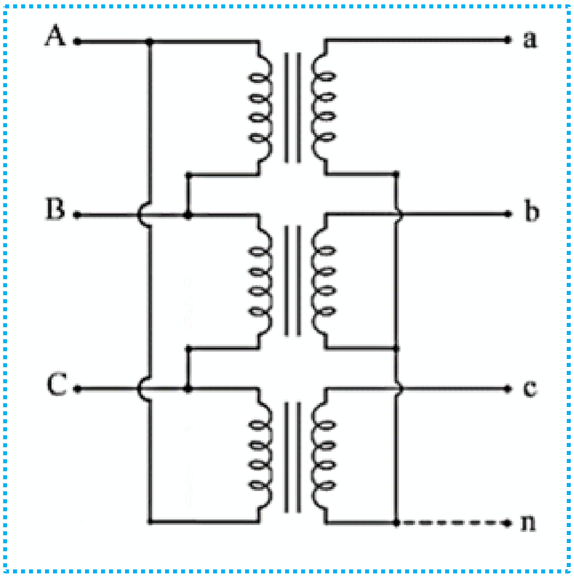


التوصيلة Wye بتكون متصلة مع خط Neutral

3- Delta- Delta

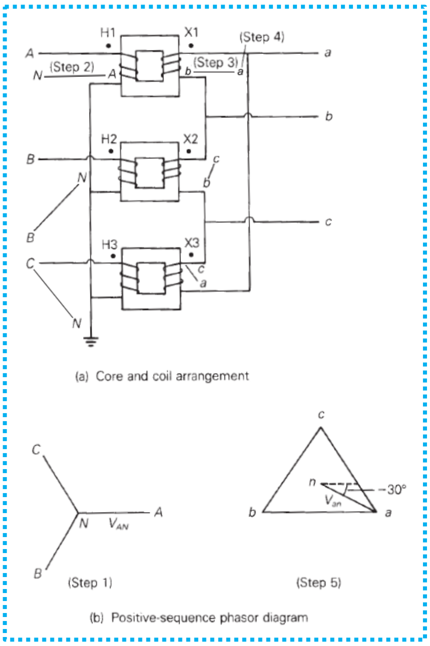


4- Delta-Wye



بعد ما اعرفنا التوصيلات وأشكالهم في مجموعة قواعد لازم نعرفهم:

- With the American Standard notation, in either Y–Delta OR Delta-Y transformer, positive sequence quantities on the high-voltage side shall lead their corresponding quantities on the low-voltage side by 30°.



(a) Core and coil arrangement

(b) Positive-sequence phasor diagram

بتوصيلة دلتا واي أو واي دلتا بكون عنا فيز شيفت مقداره 30°

- In either Y–Delta OR Delta–Y transformer, as per the American Standard notation, the negative-sequence phase shift is the reverse of the positive-sequence phase shift.

- The Y–Y transformer is seldom used because of difficulties with third harmonic exciting current.

توصيلة Y-Y نادرة الإستخدام لوجود عدة مشاكل فيها ومع وجود الحلول لكنها نادرة الإستخدام.

- The Delta–Delta transformer has the advantage that one phase can be removed for repair or maintenance while the remaining phases continue to operate as a three-phase bank. This open-Delta connection permits balanced three-phase operation with the kVA rating reduced to 58% of the original bank.

بتوصيلة الدلتا لو صار عندي عطل في مرحل من مراحل وبدي أعمل صيانة وأزلت هاي المرحلة، المراحل الباقية ما بتتأثر أبدا بتكمل عملها كنظام ثلاثي الطور لكن بصير عندي خفض بقيمة نقل البور بمقدار 58% عن المقدار الأصلي.

3.5 PER-UNIT EQUIVALENT CIRCUITS OF BALANCED THREE-PHASE TWO-WINDING TRANSFORMERS

درسنا البير يونت لمحول أحادي الطور والأن بدنا ندرسه لنظام ثلاثي الطور وما بختلفوا عن بعض بالقواعد لكن للتذكير سيتم ذكرهم مرة أخرى.

- balanced three-phase circuits can be solved in per unit on a per-phase basis after converting Delta-load impedances to equivalent Y impedances

بعد تحويل الممانعات من دلتا ل واي ممكن أحل كل مرحلة.

- Base values can be selected either on a per-phase basis or on a three-phase basis.

$S_{base3\Phi} = 3\, S_{base1\Phi}$ ⟵ كمثال

- A common S base is selected for both the H and X terminals.

- The ratio of the voltage bases V_{baseH}/V_{baseX} is selected to be equal to the ratio of the rated line-to-line voltages $V_{ratedHLL} = V_{ratedXLL}$.

- The per-unit equivalent circuit of the Y–Delta transformer, includes a phase shift.

- The per-unit equivalent circuit of the Delta–Delta transformer is the same as that of the Y–Y transformer. It is assumed that the windings are labeled so there is no phase shift.

Example 3.7

Three single-phase two-winding transformers, each rated 400 MVA, 13.8/199.2 kV, with leakage reactance $X_{eq} = 0.10$ per unit, are connected to form a three-phase bank. Winding resistances and exciting current are neglected. The high-voltage windings are connected in Y. A three-phase load operating under balanced positive-sequence conditions on the high-voltage side absorbs 1000 MVA at 0.90 p.f. lagging, with $V_{AN} = 199.2\angle 0° \text{kV}$. Determine the voltage V_{an} at the low-voltage bus if the low-voltage windings are connected (a) in Y, (b) in D.

محول ثلاثي الطور لفاته عالية الجهد متصلة على شكل واي وأعطاني معلومات وطالب جهد اللفات المنخفض لتوصيلة واي ودلتا.

Sol:

$$S_{base} = 400 \text{ MVA} \rightarrow S_{base3\Phi} = 1200 \text{ MVA}$$

$$V_{baseload} = 199.2 \text{ kV}$$

$$V_{baseHLL} = \sqrt{3} \times 199.2 = 345 \text{ kV} \longrightarrow$$

ذاكر بالسؤال إنه الجهد العالي توصيلته Y

واعطاني إياها Line to neutral

بحولها Line to line

$$V_{ANp.u} = \frac{V_{actual}}{V_{base}} = \frac{199.2\angle 0^\circ}{199.2} = 1\angle 0^\circ \text{ Per unit}$$

$$I_{p.u} = \frac{I_{actual}}{I_{base}}$$

تيار ال Actual هو تيار الحمل بستخرجه من المعلومات المعطاة للحمل بالسؤال

$$I_{actual} = \frac{S^*}{\sqrt{3}V_{baseLL}} = \frac{1000\text{ k}\angle -\cos^{-1}(0.9)}{\sqrt{3}\times 345} = 1.67347\angle -25.84^\circ\text{kA}$$

$$I_{baseH} = \frac{S_{base3\phi}}{\sqrt{3}V_{baseLL}} = \frac{1200}{\sqrt{3}\times 345} = 2.008\text{ kA}$$

$$I_{p.u} = \frac{1.673\angle -25.84^\circ}{2.008} = 0.8333\angle -25.84^\circ \text{ Per unit}$$

a) For the Y–Y transformer

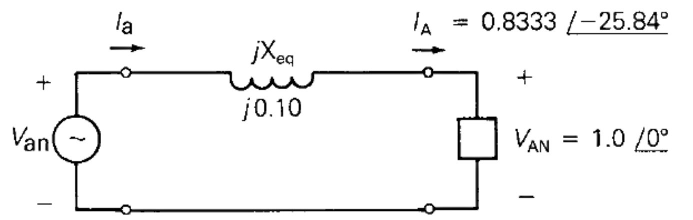
حكينا هون بحلها كدارة Single circuit

$$V_{an} = V_{AN} + (jX_{eq})I_A$$

$$V_{an} = 1 + (j0.1)\times(0.8333\angle -25.84^\circ)$$

$$V_{an} = 1.039\angle 4.139^\circ$$

هو طالبها عند الجهد المنخفض واحنا أوجدناها عند الجهد العالي.



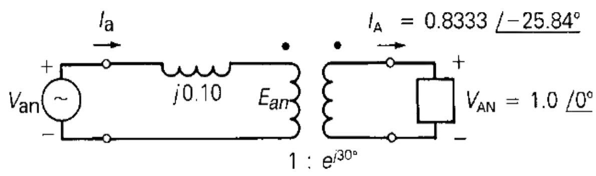
(a) Y-connected low-voltage windings

$$V_{actual} = V_{base}\times V_{p.u}$$

$$V_{actual} = 13.8\text{ k}\times 1.039\angle 4.139^\circ = 14.34\angle 4.139^\circ\text{ kV}$$

b) For the Delta – Y transformer

حكينا لما تكون عندي التوصيلة Delta-Y بكون عندي Phase shift



(b) Δ-connected low-voltage windings

كقيم نفس قيم توصيلة Y-Y لكن عندي Phase shift بمقدار 30- درجة

$$E_{an} = e^{-j30^\circ} \times V_{AN} = e^{-j30^\circ} \times 1\angle 0^\circ = 1\angle -30^\circ 1 \text{ Per unit}$$

$$I_a = e^{-j30^\circ} \times I_A = e^{-j30^\circ} \times 0.8333\angle -25.84^\circ = 0.8333\angle -55.84^\circ \text{ Per unit}$$

$$V_{an} = E_{an} + (jX_{eq})I_a$$

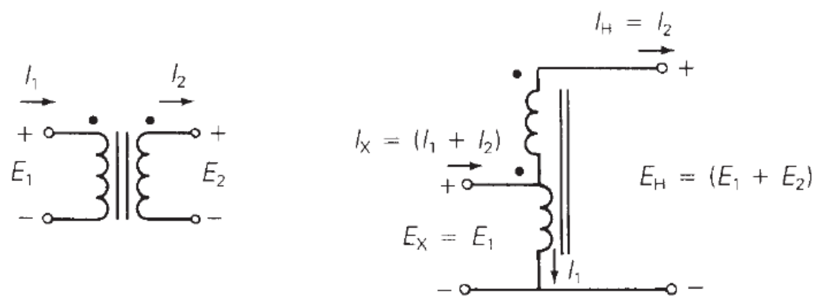
$$V_{an} = 1\angle -30^\circ + (j0.1)0.8333\angle -55.84^\circ = 1.039\angle -25.861^\circ \text{ Per unit}$$

$$V_{actual} = V_{base} \times V_{p.u}$$

$$V_{actual} = \frac{13.8\text{ k}}{\sqrt{3}} \times 1.039\angle -25.861^\circ = 8.278\angle -25.861^\circ \text{ kV}$$

3.7 AUTOTRANSFORMERS

هذا السكشن إعادة لما تم أخذه في مادة الماشين لا شيء جديد.



(a) Two-winding transformer (b) Autotransformer

- the autotransformer (with not too large turns ratio) is smaller in size than a two-winding transformer and has high efficiency as well as superior voltage regulation. **(advantage)**

- The direct electrical connection of the windings allows transient over voltages to pass through the autotransformer more easily. **(disadvantage)**

Example 3.11

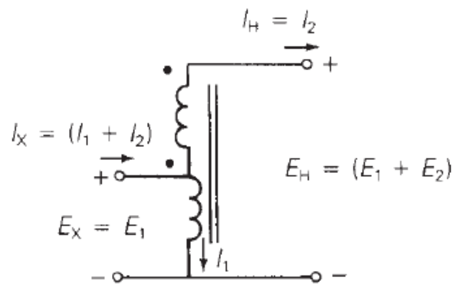
The single-phase two-winding 20-kVA, 480/120-volt transformer of Example (3.3) is connected as an autotransformer, where winding 1 is the 120-volt winding. For this autotransformer, determine (a) the voltage ratings E_X and E_H of the low- and high-voltage terminals, (b) the kVA rating, and (c) the per-unit leakage impedance.

Sol:

a) the voltage ratings E_X and E_H of the low- and high-voltage terminals.

$$E_X = E_1 = 120\ \text{V}$$

$$E_H = E_1 + E_2 = 120 + 480 = 600\ \text{V}$$



(b) Autotransformer

b) the kVA rating.

$$I_2 = I_H = \frac{S}{V} = \frac{20000}{480} = 41.667\ \text{A}$$

$$S_H = E_H I_H = 41.667\ \times 600 = 25\ \text{kVA}$$

c) the per-unit leakage impedance.

$0.0729\ \angle 78.13°$

ذكر بالسؤال بالرجوع إلى مثال 3.3 وبالمثال أعطاني الممانعة ف بدي أطلع الممانعة الجديد.

$$Z_{baseHold} = \frac{|V|^2}{S} = \frac{480^2}{20000} = 11.52\ \Omega$$ As normal transformer

$$Z_{baseHnew} = \frac{|V|^2}{S} = \frac{600^2}{25000} = 14.4\ \Omega$$ As auto transformer

$$Z_{p.unew} = 0.0729\ \angle 78.13° \times \frac{11.52}{14.4} = 0.05832\ \angle 78.13°\ \text{Per unit}$$

Problems Ch3

3.4) A single-phase 100-kVA, 2400/240-volt, 60-Hz distribution transformer is used as a step-down transformer. The load, which is connected to the 240-volt secondary winding, absorbs 80 kVA at 0.8 power factor lagging and is at 230 volts. Assuming an ideal transformer, calculate the following: (a) primary voltage, (b) load impedance, (c) load impedance referred to the primary, and (d) the real and reactive power supplied to the primary winding.

محول مثالي أعطاني عدد اللفات وذكر إنه في حمل وأعطاني معلومات عنه.

Sol:

a) primary voltage

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{2400}{240} = 10$$

$$E_1 = aE_2 = 10 \times 230 = 2300\ \text{V}$$

b) load impedance

معي الجهد والبور والزاوية بستخرج الممانعة من القانون التالي:

$$S = \frac{|V|^2}{Z^*} \rightarrow Z = \frac{|V|^2}{S^*}$$

$$Z = \frac{230^2}{80 \times 10^3 \angle -\cos^{-1}(0.8)} = 0.529 + j0.397\Omega$$

c) load impedance referred to the primary.

$$Z_1 = a^2 Z_2 = 100 \times (0.529 + j0.397) = 66.13\angle 36.87°\ \Omega$$

d) the real and reactive power supplied to the primary winding.

بالمحول المثالي ما عنا فقدان للبور بالتالي البور الداخلة نفسها الخارجة ومعنا البور على جهة الحمل.

$$S = 80 \times 10^3 \angle \cos^{-1}(0.8) = 80 \times 10^3 \angle 36.87° \text{ VA}$$

$$S = 64000 + j48000 \text{ VA}$$

$$P_{primary} = P_{secondary} = 64 \text{ kW}$$

$$Q_{primary} = Q_{secondary} = 48 \text{ kVAR}$$

3.10) A single-phase step-down transformer is rated 15 MVA, 66 kV/11.5 kV. With the 11.5 kV winding short-circuited, rated current flows when the voltage applied to the primary is 5.5 kV. The power input is read as 100 kW. Determine R_{eq1} and X_{eq1} in ohms referred to the high-voltage winding.

طالب منا نستخدم Short test لنستخرج قيمة المقاومة والملف.

وفي إرجاع للجهد العالي يعني راح يكونوا بجهة Primary

Sol:

في Shor test بستخرج قيمة تيار ال Rated من المعلومات المعطاة بالسؤال.

$$I_{1rated} = \frac{S_{rated}}{V_{rated}} = \frac{15 \text{ M}}{66 \text{ k}} = 227.3 \text{ A}$$

معي التيار وأعطاني البور بستخرج المقاومة.

$$P_1 = I^2 R \rightarrow R = \frac{P_1}{I^2}$$

$$R = \frac{100 \text{ k}}{(227.3)^2} = 1.94 \ \Omega$$

استخرجنا أول جزء من أجزاء الممانعة لكن الملف ما عندي أي معلومة تساعدني أستخرجه من خلالها بس أعطاني الجهد ومعي التيار بستخرج من خلالهم قيمة الممانعة.

$$|Z_1| = \frac{V_1}{I_{1rated}} = \frac{5.5\text{ k}}{227.3} = 24.2\ \Omega$$

$$Z_{1eq} = R_{1eq} + jX_{1eq}$$

$$|Z_{1eq}| = \sqrt{{R_{1eq}}^2 + {X_{1eq}}^2}$$

$$X_{1eq} = \sqrt{{Z_{1eq}}^2 - {R_{1eq}}^2} \rightarrow X_{1eq} = \sqrt{24.2^2 - 1.94^2} = 24.12\ \Omega$$

$$Z_{1eq} = 1.94 + j24.12\ \Omega$$

3.49) Consider the single-line diagram of a power system shown in Figure 3.42 with equipment

ratings given below:

Generator G1: 50 MVA, 13.2 kV, $x = 0.15$ pu

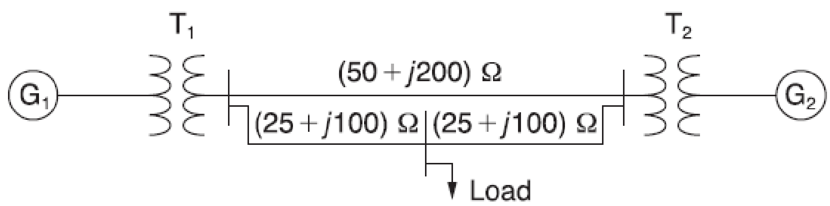
Generator G2: 20 MVA, 13.8 kV, $x = 0.15$ pu

three-phase Delta–Y transformer T1: 80 MVA, 13.2 D/165 Y kV, $x = 0.1$ pu

three-phase Y–Delta transformer T2: 40 MVA, 165 Y/13.8 Delta kV, $x = 0.1$ pu

Load: 40 MVA, 0.8 p.f. lagging, operating at 150 kV

Choose a base of 100 MVA for the system and 132-kV base in the transmission-line circuit. Let the load be modeled as a parallel combination of resistance and inductance. Neglect transformer phase shifts. Draw a per-phase equivalent circuit of the system showing all impedances in per unit.



Sol:

بداية بسؤال One line diagram بقسمه لمناطق

بشوف شو أعطاني معلومات بالسؤال وبيدأ حل من المنطقة الأولى لأخر منطقة وبستخرج معلومات كل منطقة.

$$V_{base2} = 132\text{ kV} \quad S_{base} = 100\text{ MVA}$$

حكينا Sbase ما بتتغير بتبقى ثابتة لكل السؤال.

لكن Vbase بتتغير وهو أعطانا إياها للخط مش للمنطقة الأولى.

فلازم نستخرج Vbase للمنطقة الأولى.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_{base1}}{V_{base2}} \rightarrow V_{base1} = \frac{V_1}{V_2} \times V_{base2}$$

$$V_{base1} = \frac{13.2\text{ k}}{165\text{ k}} \times 132\text{ k} = 10.56\text{ kV}$$

صار معي قيمة V_{base1} بستخرج معلومات المنطقة الأولى

Generator 1

$$Z_{p.u.new} = Z_{p.u.old}\left(\frac{S_{base\ new}}{S_{base\ old}}\right)\left(\frac{V_{base\ old}}{V_{base\ new}}\right)^2$$

$$X_{T1p.u.new} = j0.15\left(\frac{100}{50}\right)\left(\frac{13.2}{10.65}\right)^2 = j0.4688\text{ Per unit}$$

Zone 1 (T1)

$$Z_{p.u.new} = Z_{p.u.old}\left(\frac{S_{base\ new}}{S_{base\ old}}\right)\left(\frac{V_{base\ old}}{V_{base\ new}}\right)^2$$

$$X_{T1p.u.new} = j0.1\left(\frac{100}{80}\right)\left(\frac{13.2}{10.65}\right)^2 = j0.1953\text{ Per unit}$$

Zone 2 (transmission-line)

عشان أستخرج ممانعة الخط بالبير يونت بلزمني Zbase

$$Z_{baseline} = \frac{{V_{base2}}^2}{S_{base}} \rightarrow Z_{base2} = \frac{132^2}{100} = 174.24\ \Omega$$

$$Z_{p.u\ line1} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{50 + j200}{174.24} = 0.287 + j1.1478 \text{ Per unit}$$

$$Z_{p.u\ line2} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{25 + j100}{174.24} = 0.1435 + j0.5739 \text{ Per unit}$$

Zone 2 (T2)

$$Z_{p.u.new} = Z_{p.u.old} \left(\frac{S_{base\ new}}{S_{base\ old}}\right) \left(\frac{V_{base\ old}}{V_{base\ new}}\right)^2$$

$$X_{T2p.u.new} = j0.1 \left(\frac{100}{40}\right) \left(\frac{165}{132}\right)^2 = j0.3906 \text{ Per unit}$$

Zone 3

أعطاني معلومات عن الحمل بدي أستخرج قيمة المقاومة والملف وأحولهم للبير يونت.

Load: 40 MVA, 0.8 p.f. lagging, operating at 150 kV

$$S = 40\ M\angle\cos^{-1}(0.8) = 32 + j24 \text{ MVA}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{150^2}{32} = 703.1\Omega$$

$$Q = \frac{V^2}{X} \rightarrow X = \frac{V^2}{Q}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{150^2}{24} = 937.5\Omega$$

$$Z_{p.u} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{703.1}{174.24} = 4.035 \text{ Per unit}$$

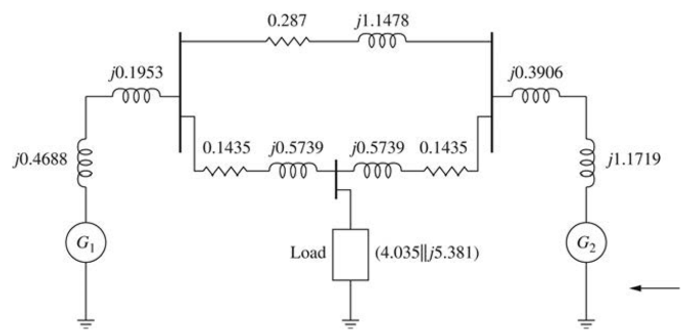
$$Z_{p.u} = \frac{Z_{actual}}{Z_{base}} = \frac{937.5}{174.24} = 5.381 \text{ Per unit}$$

$$Z_{load} = R//jx$$

Generator 2

$$Z_{p.u.new} = Z_{p.u.old}\left(\frac{S_{base\ new}}{S_{base\ old}}\right)\left(\frac{V_{base\ old}}{V_{base\ new}}\right)^2$$

$$X_{T1p.u.new} = j0.15\left(\frac{100}{20}\right)\left(\frac{165}{132}\right)^2 = j1.1719 \text{ Per unit}$$



Impedance diagram of the system with pu values

Ch4 TRANSMISSION LINE

شرحنا بالسابق شابتر2 و3 وكانوا تقريبا مراجعة لمادة سيركت 2 ومادة الماشين ومعلومات كلنا على معرفة فيها من قبل.

بشابتر 4 سنتحدث عن كيفية تمثيل ال Transmission line بمقاومة ومحث ومواسع

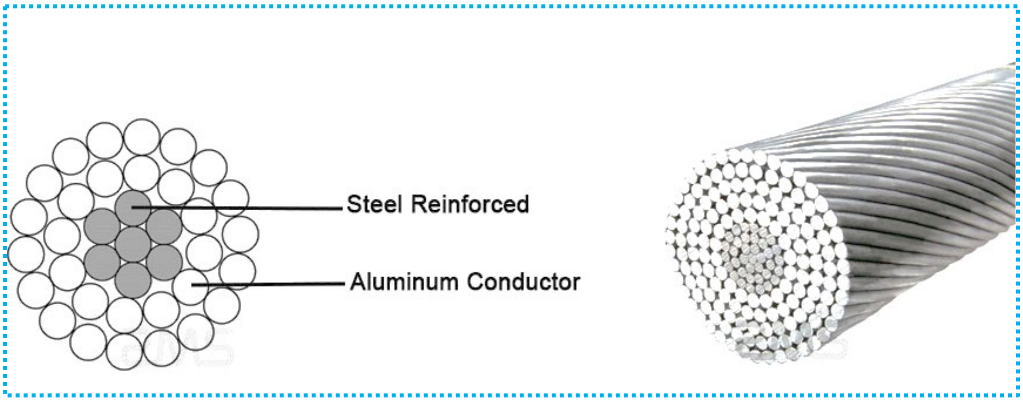
على مثال لو كان عندي دارة فيها مصدر جهد وحمل وما بينهم خط هذا الخط كيف بدي أعمله دارة مكافئة وهذا راح اللي راح نعرفه بالشابتر.

بداية في مجموعة كونسبت بدنا نتعرف عليهم وأغلب هذا الشابتر كونسبت.

4.1 TRANSMISSION LINE DESIGN CONSIDERATIONS

An overhead transmission line consists of conductors, insulators, support structures, and, in most cases, shield wires.

- One of the most common conductor types is aluminum conductor steel-reinforced (ACSR). → من أشهر أنواع الموصلات استخداما



- The use of steel strands gives ACSR conductors a high strength-to-weight ratio. For purposes of heat dissipation, overhead transmission-line conductors are bare (no insulating cover).

- Other conductor types:

1. all-aluminum conductor (AAC).
2. all aluminum-alloy conductor (AAAC).
3. aluminum conductor alloy-reinforced (ACAR).
4. aluminum-clad steel conductor (Alumoweld).
5. aluminum conductor steel supported (ACSS).
6. gap-type ZT-aluminum conductor (GTZACSR).
7. aluminum conductor carbon reinforced (ACFR)

- EHV lines often have more than one conductor per phase; these conductors are called a bundle.

الجهود اللي بتكون أعلى من 230 بعمل على تقسيم الأسلاك ممكن أقسمهم لقسمين أو ثلاثة أو أربعة بحيث بدل ما يكون سلك واحد يصير على مثال سلكين وبمشوا مع بعض وهاي العملية تسمى **Bundling**

في لهذه العملية مميزات ومن هذه المميزات:

Bundle conductors have:

1. lower electric field strength at the conductor surfaces, thereby controlling corona.
2. reduce the effect of corona.
3. reduces the series reactance of the line by increasing the GMR of the bundle.

- Shield wires located above the phase conductors protect the phase conductors against lightning and grounded to the tower.

- Tower footing resistance can be reduced by using driven ground rods or a buried conductor called (counterpoise) running parallel to the line.

- Conductor spacings, types, and sizes also determine the series impedance and shunt admittance.

- Difference Between Aluminum and Copper Wire:

<u>Copper</u>

1. has better conductivity.
2. more expensive.
3. less flexible.
4. has more tensile strength.

<u>Aluminum</u>

1. less conductivity.
2. cheaper.
3. more flexible.
4. has less tensile strength.
5. light weight.

4.2 RESISTANCE

The dc resistance of a conductor at a specified temperature (T) is:

$$\boxed{R_{dc} = \frac{\rho_T L}{A}}$$

ρ_T = conductor resistivity at temperature T → ثابت يعطى بالسؤال.

L = conductor length

A = conductor cross − sectional area

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \text{ sq mil}$$

$$A = d^2 \text{ cmil}$$

Conductor resistance depends on the following factors:

العوامل اللي بتتأثر أو بتعتمد عليها المقاومة.

1. Spiraling → جدلة الأسلاك تؤثر على الطول L
2. Temperature → تؤثر على ρ_T
3. Frequency (skin effect) → تؤثر على المساحة وراح نتعرف شو التأثير وكيف في الفقرة القادمة.
4. Current magnitude—magnetic conductors.

- As frequency increases, the current in a solid cylindrical conductor tends to crowd toward the conductor surface, with smaller current density at the conductor center. This phenomenon is called (skin effect).

$$R_{ac} = \frac{P_{loss}}{I^2}$$

- For dc, the current distribution is uniform.

- For ac, the current distribution is nonuniform.

- The ac resistance is at most a few percent higher than the dc resistance.

Example 4.1

Table A.3 lists a 4/0 copper conductor with 12 strands. Strand diameter is 0.3373 cm (0.1328 in.). For this conductor:

Verify the total copper cross-sectional area of $107.2\ \mathrm{mm}^2$(211,600 cmil in the table).

b. Verify the dc resistance at 50 °C of 0.1876 Ω/km or 0.302 Ω/mi. Assume a 2% increase in resistance due to spiraling.

c. From Table A.3, determine the percent increase in resistance at

60 Hz versus dc.

Sol:

بشابتر 4 بنلجأ لاستخدام جدولين في الحل.

في حال ذكر بالسؤال Copper conductor بستخدم Table A3

في حال ذكر بالسؤال ACSR بستخدم Table A4

سأضع رابط الجدولين والصور في نهاية الدوسية.

a. Verify the total copper cross-sectional area of $107.2\ \mathrm{mm}^2$ (211,600 cmil in the table).

طالب مني بالسؤال أتحقق بإنه المساحة تساوي $107.2\ \mathrm{mm}^2$

بقرأ السؤال وبشوف شو أعطاني معطيات.

أعطاني بالسؤال Diameter بستخرج منه المساحة.

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times (3.3730)^2 \times 12}{4} \longrightarrow$$

ضربت ب 12 لأنه الموصل بتكون من 12 Strand

وأعطاني عمق كل وحدة طيب أنا عندي 12 ف لازم أضرب ب 12 لأحسب المساحة كاملة.

$$A = 107.2\text{mm}^2$$

b. Verify the dc resistance at 50 °C of 0.1876 Ω/km or 0.302 Ω/mi. Assume a 2% increase in resistance due to spiraling.

طالب مني أتحقق من قيمة المقاومة عند درجة حرارة 50.

$$R_{dc} = \frac{\rho_T L}{A} \longrightarrow$$

معي كل شي إلّا ρ_T

وبالامتحان بتكون معطى لكن بالكتاب نستخرجها حسب المعطيات.

$$\rho_T = \rho_{T1} \times \frac{T_2 + T}{T_1 + T} \rightarrow \rho_{50} = 1.77 \times 10^{-8} \times \frac{50 + 241.5}{20 + 241.5} = 1.973 \times 10^{-8} \Omega - m$$

$$R_{dc} = \frac{(1.973 \times 10^{-8}) \times 1000 \times 1.02}{107.2 \times 10^{-6}} \longrightarrow$$

ضربت ب 1.02 لأنه عندي نسبة زيادة 2%

$$R_{dc} = \frac{\rho_T L}{A} + \frac{\rho_T L}{A} \times 0.02$$

$$R_{dc} = \frac{\rho_T L}{A}(1 + 0.02)$$

$$R_{dc} = \frac{\rho_T L}{A} \times 1.02$$

$$R_{dc} = 0.1877\ \Omega/\text{km}$$

c. From Table A.3, determine the percent increase in resistance at 60 Hz versus dc.

تغير التردد وبتغير التردد أكيد حتتغير المقاومة وبستخرج من الجدول

$$\frac{R_{60\ \mathrm{Hz},50^\circ\,\mathrm{C}}}{R_{\mathrm{dc},50^\circ\,\mathrm{C}}} = \frac{0.1883}{0.1877} = 1.003 \longrightarrow$$

بالجدول الوحدة Ohm/mile

بحولها Ohm/km

$$\frac{R_{60\ \mathrm{Hz},25^\circ\,\mathrm{C}}}{R_{\mathrm{dc},50^\circ\,\mathrm{C}}} = \frac{0.1727}{0.1715} = 1.007$$

Thus, the 60-Hz resistance of this conductor is about 0.3–0.7% higher than the dc resistance.

4.3 CONDUCTANCE

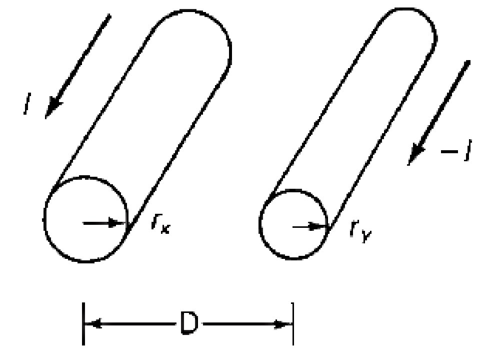
- Corona occurs when a high value of electric field strength at a conductor surface causes the air to become electrically ionized and to conduct. The real power loss due to corona, called corona loss, depends on meteorological conditions, particularly rain.

- Transmission line conductance is usually neglected in power system studies.

4.5 INDUCTANCE: SINGLE-PHASE TWO-WIRE LINE AND THREE-PHASE THREE-WIRE LINE WITH EQUAL PHASE SPACING

سكشن 4.4 محذوف لإنه إثبات لقانون مش مطالبين بإثباته بس لازم نكون عارفين القانون لنقدر نحل ما تبقى من الشابتر عليه وسيتم ذكره في هذا السكشن.

- single-phase two-wire line:



$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r'_x}\right) \ (H/m)$$

$$L_y = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r'_y}\right) \ (H/m)$$

$$L_{total} = L_x + L_y$$

$$L_{total} = 2 \times 10^{-7}\left(\ln\frac{D}{r'_x}\right) + 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r'_y}\right)$$

$$L_{total} = 2 \times 10^{-7}\left(\ln\left(\frac{D}{r'_x}\right) + \ln\left(\frac{D}{r'_y}\right)\right)$$

$$L_{total} = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D^2}{r'_x r'_y}\right)$$

$$L_{total} = 4 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{\sqrt{r'_x r'_y}}\right)$$

$$\text{if } r'_x = r'_y = r'$$

$$L_{total} = 4 \times 10^{-7}\left(\ln\frac{D}{r'}\right)$$

$$L_{total} = L_x + L_y$$

المهم نكون عارفين إنه على التوالي وبنقدر نستخرج كل واحد لحال ونجمعهم.

ملاحظات:

D: المسافات الخارجية

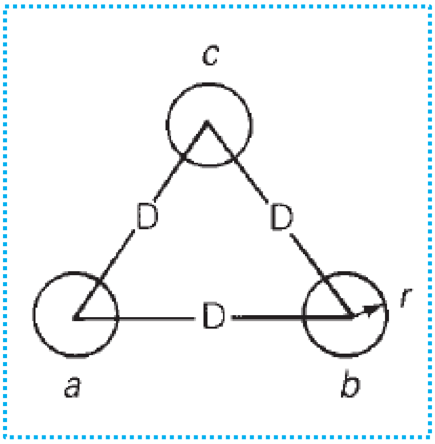
r_x and r_y: نصف القطر

$$r'_x = 0.7788\ r_x = e^{-\frac{1}{4}}\ r_x$$

$$r'_y = 0.7788\ r_y = e^{-\frac{1}{4}}\ r_y$$

- three-phase three-wire line

three-phase three-wire line with equilateral spacing:



$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r'}\right) \ (H/m)$$

$$\boxed{D = \sqrt[3]{D \times D \times D} = \sqrt[3]{D^3} = D}$$

في هاي الحالة بنظام ثلاثي الطور في المثلث المسافات متساوية لهيك أخذنا D وحدة بالقانون.

- For a balanced three-phase, positive-sequence currents I_a , I_b , I_c does the equation $I_a + I_b + I_c = 0$

4.6 INDUCTANCE: COMPOSITE CONDUCTORS, UNEQUAL PHASE SPACING, BUNDLED CONDUCTORS

- A stranded conductor is one example of a composite conductor.

- single-phase two-conductor line:

بالواقع بكون عنا 2 Conductor بكون كل واحد منهم مكون من Strand

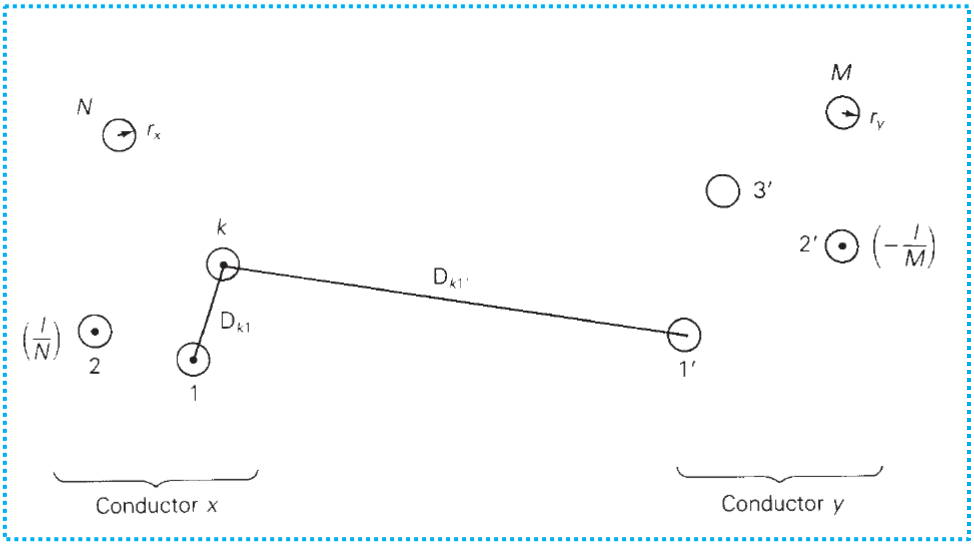
أول واحد بكون اسمه كمثال Conductor X

ثاني واحد بكون اسمه كمثال Conductor Y

Conductor X consists (N) identical strand r_x

Conductor Y consists (M) identical strand r_y

مش شرط $r_y = r_x$



بالصورة توضيح لما تم شرحه بالأعلى.

لازم نعرف القانون اللي راح نشتغل عليه بخصوص هاي الحالة وإثباته غير مطالبين فيه.

$$L_y = 2\times10^{-7}\ln\left(\frac{D_{xy}}{D_{yy}}\right)\ (H/m)$$

$$L_x = 2\times10^{-7}\ln\left(\frac{D_{xy}}{D_{xx}}\right)\ (H/m)$$

D_{xx} and D_{yy} is called the geometric mean radius (GMR) of conductor x and y ⟶ المسافات الداخلية

D_{xy} is called the geometric mean distance (GMD) between conductors x and y ⟶ المسافات الخارجية

$$D_{xy} = \sqrt[M\times N]{\text{المسافات الخارجية}}$$

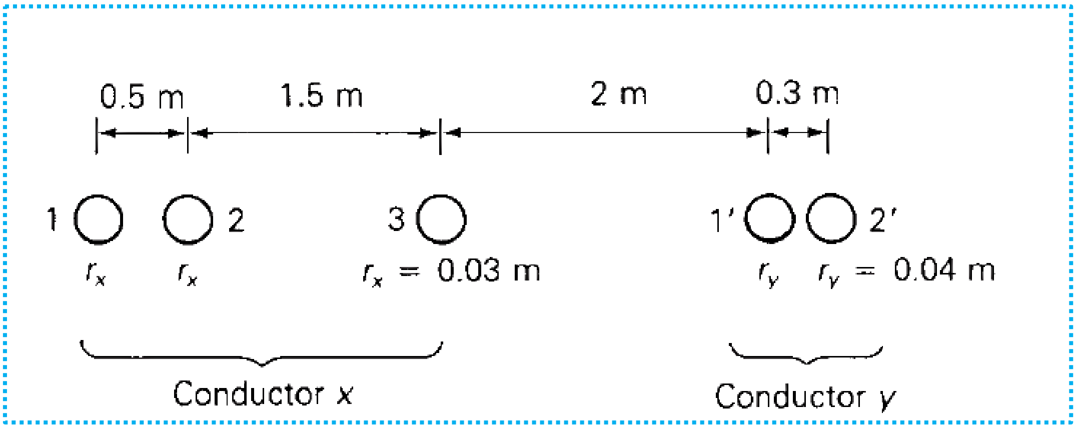
$$D_{xx} = \sqrt[N\times N]{\text{المسافات الداخلية}}$$

$$D_{yy} = \sqrt[M\times M]{\text{المسافات الداخلية}}$$

سيتم شرح كيفية التطبيق على القانون والتفاصيل المتبقية في المثال القادم.

Example 4.2

Expand (4.6.6), (4.6.7), and (4.6.9) for $N = 3$ and $M = 2$. Then evaluate Lx, Ly, and L in H/m for the single-phase two-conductor line shown in Figure



أعطاني 2 Conductor وطالب L_x and L_y and L_{total}

Sol:

$$a)\ L_y = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D_{xy}}{D_{yy}}\right)\ (H/m)$$

D_{xy} للمسافات الخارجية

يعني باخذ نقطة نقطة من X وبمشي فيهم لنقاط Y كالأتي:

M=2 , N=3

$$D_{xy} = \sqrt[2\times3]{D_{11'} \times D_{12'} \times D_{21'} \times D_{22'} \times D_{31'} \times D_{32'}}$$

$$D_{xy} = \sqrt[6]{D_{11'} \times D_{12'} \times D_{21'} \times D_{22'} \times D_{31'} \times D_{32'}}$$

$D_{11'} = 0.5 + 1.5 + 2 = 4\ m$ $\quad D_{12'} = 4.3\ m$ $\quad D_{21'} = 3.5\ m$

$D_{22'} = 3.8\ m$ $\quad D_{31'} = 2\ m$ $\quad D_{32'} = 2.3\ m$

$$D_{xy} = \sqrt[6]{4 \times 4.3 \times 3.5 \times 3.8 \times 2 \times 2.3} = 3.189\ m$$

لازم عدد الأسس الموجودة داخل الجذر مساوية لرتبة الجذر.

يعني الجذر من الرتبة السادسة والأسس اللي بداخل الجذر يساوي 6 يعني صحيح.

$$D_{yy} = \sqrt[2\times2]{D_{1'2'} \times D_{2'1'} \times D_{1'1'} \times D_{2'2'}}$$

$D_{1'1'} = D_{2'2'} = r'_y \longrightarrow$ مسافته على نفسه

$$r'_y = r_y \times 0.7788 = 0.04 \times 0.7788 = 0.03115 \text{ m}$$

$$D_{1'2'} = D_{2'1'} = 0.3 \text{ m}$$

$$D_{yy} = \sqrt[4]{0.3 \times 0.3 \times 0.03115 \times 0.03115} = 0.09667 \text{ m}$$

$$L_y = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{3.189}{0.09667}\right) = 6.992 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

b) $L_x = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D_{xy}}{D_{xx}}\right)$ (H/m)

$D_{xy} = 3.189 \text{ m} \longrightarrow$ نفس اللي استخرجناها بالأعلى.

$$D_{xx} = \sqrt[3\times3]{D_{11} \times D_{12} \times D_{13} \times D_{21} \times D_{22} \times D_{23} \times D_{31} \times D_{32} \times D_{33}}$$

$D_{11} = D_{22} = D_{33} = r'_x \longrightarrow$ مسافته على نفسه

$$r'_y = r_x \times 0.7788 = 0.03 \times 0.7788 = 0.02336 \text{ m}$$

$D_{12} = 0.5 \text{ m}$ $\quad D_{13} = 2 \text{ m}$ $\quad D_{21} = 0.5 \text{ m}$

$D_{23} = 1.5 \text{ m}$ $\quad D_{31} = 2 \text{ m}$ $\quad D_{32} = 1.5 \text{ m}$

$$D_{xx} = \sqrt[9]{(0.02336)^3 \times 2 \times 2 \times 0.5 \times 1.5 \times 0.5 \times 1.5} = 0.3128 \text{ m}$$

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{3.189}{0.3128}\right) = 4.644 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

c) $L_{total} = L_x + L_y$

$$L_{total} = 4.644 \times 10^{-7} + 6.992 \times 10^{-7} = 1.164 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

if the distances between conductors are large compared to the distances between subconductors of each conductor, then the GMD between conductors is approximately equal to the distance between conductor centers.

حسبنا بالمثال السابق GMR and GMD لكن عمليا ما بزبط كل مرة أحسب وخاصة إذا كانوا المسافات بين الموصلات بعيدة كثير بهاي الحالة بعتبر GMD بين الموصلات يساوي تقريبا المسافة بين مراكز الموصلات أما بالنسبة ل GMR وفرت الشركات الصانعة عدة كتيبات للموصلات.

وبالمادة بنستخدم جدولين لاستخراجها جدول A3 and A4 وسيتم التوضيح في المثال القادم.

Example 4.3

A single-phase line operating at 60 Hz consists of two 4/0 12-strand copper conductors with 1.5 m spacing between conductor centers. The line length is 32 km. Determine the total inductance in H and the total inductive reactance in Ω.

Sol:

a- total inductance in H

$$L_y = L_x = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{GMD}{GMR}\right) (H/m) \longrightarrow$$

$L_y = L_x$

ذكرنا بما إنه المسافات بتكون بعيدة عن بعض ف بنعتبر انهم متساويات

$$GMD = 1.5 \text{ m}$$

$$GMR = 0.01750 \text{ feet or } 0.005334 \text{ m} \longrightarrow$$

طريقة الاستخراج في الأسفل

$$L_y = L_x = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{1.5}{0.005334}\right) \times 32 \times 10^3 (m) = 0.03609 \text{ H}$$

السؤال طالب تكون بوحدة H لهيك ضربت بالطول

$$L_{total} = L_x + L_y$$

$$L_{total} = 2 \times 0.03609 = 0.07218 \text{ H}$$

b) total inductive reactance in Ω.

$$X_L = 2\pi \times f \times L = 2\pi \times 60 \times 0.07218 = 27.21\ \Omega$$

- طريقة استخراج GMR من الجدول

1- بشوف نوع الموصل الموجود عشان أعرف أي جدول أستخدم وبما إنه موصل نحاسي بستخدم جدول A3

2- بأخذ معلومات الموصل من السؤال وببحث عنها بالجدول أعطاني

معلومات 4/0 and number of strands=12

3- ببحث عن هاي المعلومات بالجدول وبروح على خانة GMR

4- بلاقي رقم ولكن هذا الرقم في وحدة ال Feet

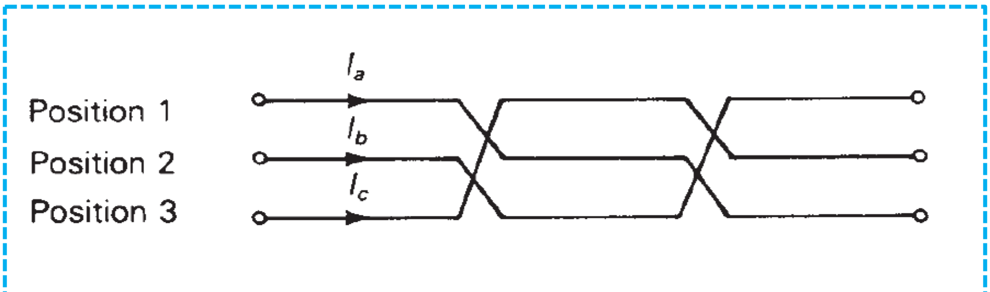
- في حال أعطى ال GMD في وحدة الفيت بخلي ال GMR في وحدة الفيت.

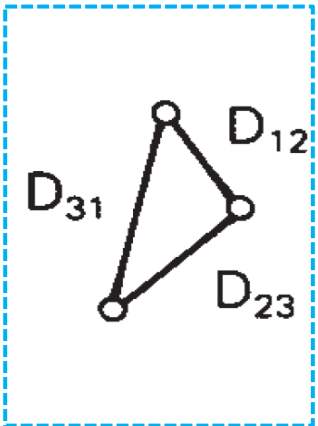
- في حال أعطى ال GMD في وحدة المتر بحول ال GMR لوحدة المتر.

لتوحيد الوحدات لأنه ما بزبط أقسم متر على فيت.

- three-phase three-wire line

three-phase three-wire line with unsymmetrical spacing:





أخذنا سابقا لما كانت المسافات متساوية واعرفنا القانون الخاص فيه وهذا اشي مش عملي بالحياة اللي بنشوفه بكونوا على مسافات غير متساوية وبما إنه المسافات مش متساوية لازم نخليهم متساويات عن طريق التبديل بينهم يعني كل فترة من مسافة معينة ببدل بين كل فيز والثاني زي ما بنشوف بالشكل اللي عاليسار وهاي العملية تسمى Transposition

- balance can be restored by exchanging the conductor positions along the line, a technique called **transposition**.

- To calculate inductance of this line, assume balanced positive-sequence currents I_a, I_b, I_c for wich $I_a + I_b + I_c = 0$

- To calculate inductance:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D_{eq}}{D_S}\right) \ (H/m)$$

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

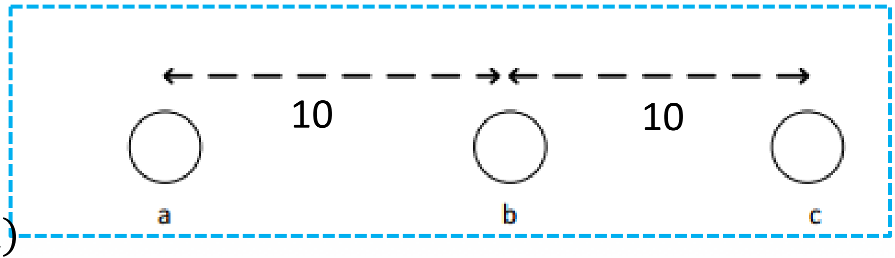
D_{eq} is the geometric mean distance between phases.

D_S is the conductor GMR for stranded conductors, or r' for solid cylindrical conductors.

Example 4.4

A completely transposed 60-Hz three-phase line has flat horizontal phase spacing with 10 m between adjacent conductors. The conductors are 806 mm^2 (1,590,000 cmil) ACSR with 54/3 stranding. Line length is 200 km. Determine the inductance in H and the inductive reactance in Ω.

Sol:



$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D_{eq}}{D_S}\right) \ (H/m)$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{31}} = \sqrt[3]{10 \times 10 \times 20} = 12.6 \text{ m}$$

$$D_S = 0.0520 \text{ ft} \times \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ ft}} = 0.0159 \text{ m} \longrightarrow$$

من الجدول وبما إنه
ACSR
بستخدم جدول A4

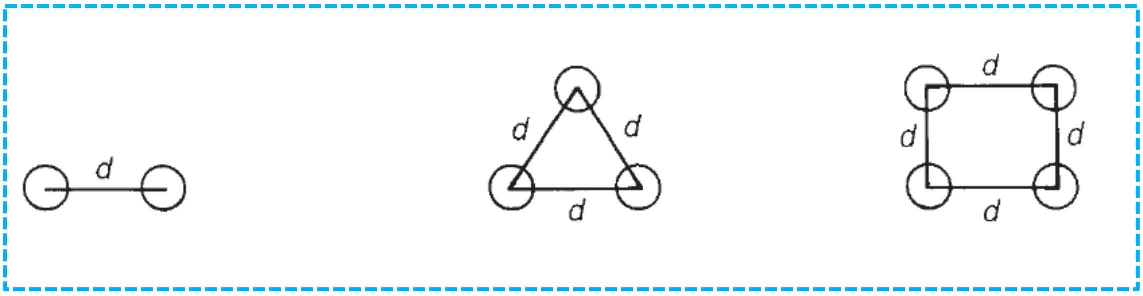
$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{12.6}{0.0159}\right) \times 200000 \ (m) = 0.267 \text{ H}$$

$$X_a = 2\pi \times f \times L = 2\pi \times 60 \times 0.267 = 101\ \Omega$$

طالبها بوحدة Ω
لهيك ضربت بالطول
بالأعلى

- Bundled Conductor

- ذكرت أول الشابتر عملية تسمى Bundling إنه يكون السلك نفسه مقسم لعد أقسام 2 أو 3 أو 4 بحيث المسافة بينهم تكون متساوية يعني على سبيل المثال السلك يكون مقسم لثلاثة أقسام فلازم المسافة تكون بين الثلاثة أقسام داخل السلك متساوية كمثال عليها الصورة أدناه بنلاحظ المسافات متساوية.



Bundle conductors have:

1. lower electric field strength at the conductor surfaces, thereby controlling corona.
2. reduce the effect of corona.
3. reduces the series reactance of the line by increasing the GMR of the bundle.

- It is common practice for EHV lines to use more than one conductor per phase, a practice called bundling.

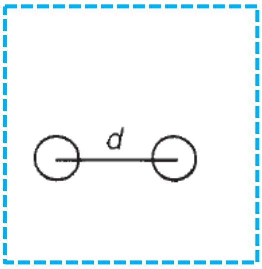
$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D_{eq}}{D_s^b}\right)\ (H/m)$$

بنستخدم هذا القانون بحسابات الـBundle
لكن بتختلف عنا Ds
وبالصفحة القادمة بنعرف طريقة إيجادها لكل حالة

- bundles consisting of two, three, or four conductors.

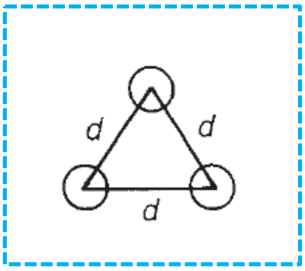
For a two-strand bundle:

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s \times d)^2} = \sqrt{(D_s \times d)}$$



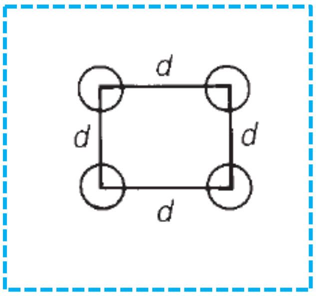
For a three-strand bundle:

$$D_s^b = \sqrt[9]{(D_s \times d \times d)^3} = \sqrt[3]{(D_s \times d^2)}$$



For a four-strand bundle:

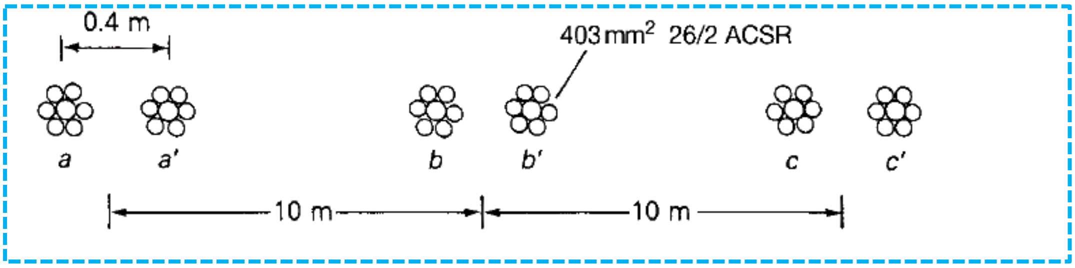
$$D_s^b = \sqrt[16]{(D_s \times d \times d \times \sqrt{2}d)^4} = 1.09\sqrt[4]{(D_s \times d^3)}$$



- If the phase spacings are large compared to the bundle spacing, then sufficient accuracy for Deq is obtained by using the distances between bundle centers.

Example 4.5

Each of the 806 mm2 conductors in Example 4.4 is replaced by two 403 mm^2 ACSR 26/2 conductors, as shown in Figure. Bundle spacing is 0.40 m.



هذا المثال نفسه مثال 4.4 لكن هون مقسم الفيز الواحد لقسمين يعني نفس الحل ولكن راح تختلف عنا قيمة Ds بما إنه Bundle لكن بدنا ننتبه إنه غير نوع الموصل عشان نستخرج القيمة الجديدة من الجدول

Sol:

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D_{eq}}{D_s^b}\right) \text{ (H/m)}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{31}} = \sqrt[3]{10 \times 10 \times 20} = 12.6 \text{ m}$$

$$D_S = 0.0375 \text{ ft} \times \frac{1 \text{ m}}{3.28 \text{ ft}} = 0.0114 \text{ m}$$

من الجدول وبما إنه
ACSR
بستخدم جدول A4

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s \times d)^2} = \sqrt{(D_s \times d)}$$

$$D_s^b = \sqrt{0.0114 \times 0.40)} = 0.0676 \text{ m}$$

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{12.6}{0.0676}\right) \text{(H/m)} \times 200 \times 10^3 \text{(m)}$$

طالب الناتج بوحدة Ω
لهيك ضربت بالطول

$$L_a = 0.209 \text{ H}$$

$$X_a = 2\pi \times f \times L = 2\pi \times 60 \times 0.209 = 78.8\ \Omega$$

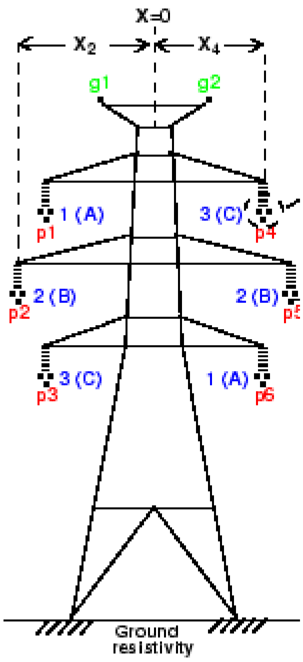
4.7 SERIES IMPEDANCES: THREE-PHASE LINE WITH NEUTRAL CONDUCTORS AND EARTH RETURN

All the neutral conductors are connected in parallel and are grounded to the earth at regular intervals along the line. Any isolated neutral conductors that carry no current are omitted. The phase conductors are insulated from each other and from earth If the phase currents are not balanced, there may be a return current in the grounded neutral wires and in the earth. The earth return current will spread out under the line, seeking the lowest impedance return path. it can be replaced by a set of ''earth return'' conductors located directly under the overhead conductors. then each earth return conductor carries the negative of its overhead conductor current.

- Parallel-Circuit three phase lines

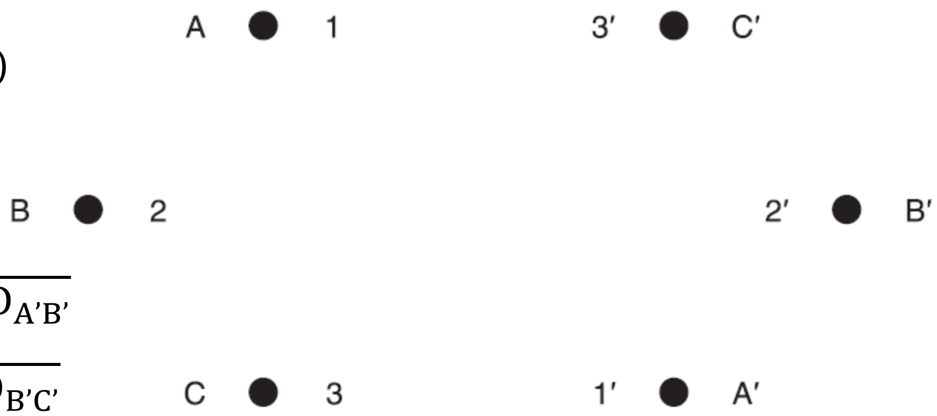
It is a three-phase double circuit of two identical three phase circuit.

بهاي الحالة بكون عندي شبكتين كل وحد إلها 3 فيز خاص فيها موجودات على نفس عامود الجهد العالي زي ما بنلاحظ بالصورة متصلات على التوازي من إحدى خصائصها تقليل الخسائر بالأسلاك، زياد التيار المنقول، بزيد القدرة المنقولة وأهم ميزة لو صار عندي خلل بشبكة ممكن أفصل وحدة للصيانة والثانية بتضل شغالة.



- To calculate line inductance:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{GMD}{GMR}\right) (H/m)$$



- To find GMD:

$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{AB} \times D_{AB'} \times D_{A'B} \times D_{A'B'}}$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{BC} \times D_{BC'} \times D_{B'C} \times D_{B'C'}}$$

$$D_{CA} = \sqrt[4]{D_{CA} \times D_{CA'} \times D_{C'A} \times D_{C'A'}}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB} \times D_{BC} \times D_{CA}}$$

- To find GMR:

$$D_{AA} = \sqrt[4]{(D_S \times D_{AA'})^2} = \sqrt{D_S \times D_{AA'}}$$

$$D_{BB} = \sqrt[4]{(D_S \times D_{BB'})^2} = \sqrt{D_S \times D_{BB'}}$$

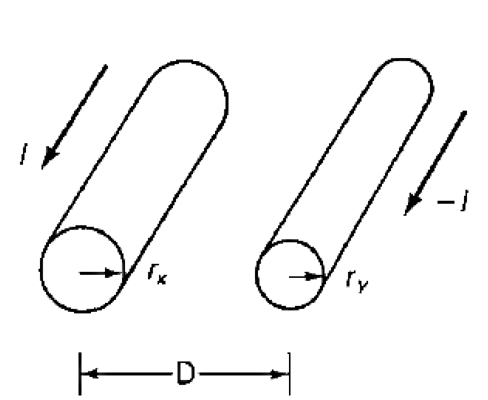
$$D_{CC} = \sqrt[4]{(D_S \times D_{CC'})^2} = \sqrt{D_S \times D_{CC'}}$$

$$GMR = \sqrt[3]{D_{AA} \times D_{BB} \times D_{CC}}$$

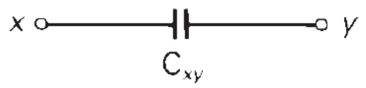
4.9 CAPACITANCE: SINGLE-PHASE TWO-WIRE LINE AND THREE-PHASE THREE-WIRE LINE WITH

بلشنا بالشابتر بحساب المقاومة والملف وبهذا السكشن راح نتعرف على كيفية حساب المواسعات بين الخطوط وطريقة الحساب نفس طريقة الملف ولكن باختلاف بسيط في القانون.

- single-phase two-wire line



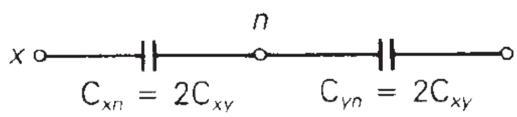
$$C_{xy} = \frac{\pi \epsilon}{\ln\left(D/r\right)} \ \text{F/m (line to line)}$$



(a) Line-to-line capacitance

$$C_{xy} = \frac{2\pi \epsilon}{\ln\left(D/r\right)} \ \text{F/m (line to neutral)}$$

نفس التطبيق ولكن r نأخذها نفسها يعني نفس القطر الفعلي.



(b) Line-to-neutral capacitances

r: نصف القطر الفعلي

D: المسافات الخارجية

- When calculating line capacitance, it is normal practice to replace a stranded conductor by a perfectly conducting solid cylindrical conductor whose radius equals the outside radius of the stranded conductor.

- in three-phase line with equal phase spacing, we shall neglect the effect of earth and neutral conductors here. To determine the positive-sequence capacitance, assume positive-sequence charges, $\mathbf{q_a + q_b + q_c = 0}$

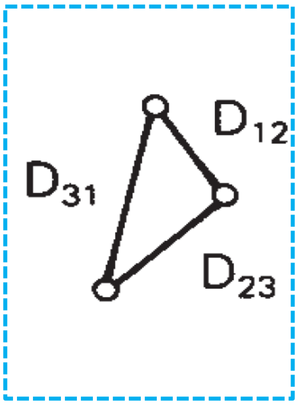
- The sum of the two line-to-line voltages $V_{ab} + V_{ac}$, is equal to three-times the line to- neutral voltage V_{an}

4.10 CAPACITANCE: STRANDED CONDUCTORS, UNEQUAL PHASE SPACING, BUNDLED

- three-phase lines with unequal phase spacing:

$$C_{xy} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(D_{eq}/r)} \text{ F/m (the capacitance per phase to neutral)}$$

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



نفس ما أخذنا سابقا لكن زي ما قلت إنه نأخذ نصف القطر الفعلي.

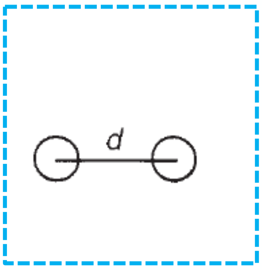
- Bundled Conductor

نفس ما تم شرحه سابقا ما في أي اختلاف غير القوانين.

$$C_{xy} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(D_{eq}/D_{SC})} \text{ F/m}$$

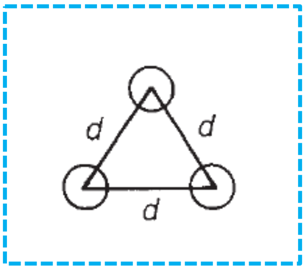
- for two-conductor bundle:

$$D_{SC} = \sqrt{(r \times d)}$$



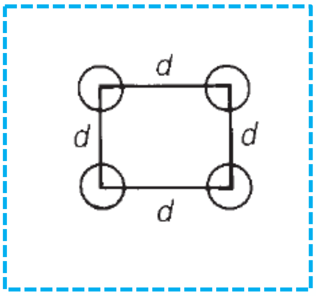
- for three-conductor bundle:

$$D_{SC} = \sqrt[3]{(r \times d^2)}$$



- for four-conductor bundle:

$$D_{SC} = 1.09\sqrt[4]{(r \times d^3)}$$



- shunt admittance is:

$$Y_{xy} = j\omega C_{xy}$$

- the reactive power delivered by phase a is:

$$Q_{C1\phi} = Y \times V_{an}^2$$

- The total reactive power supplied by the three-phase line is:

$$Q_{C3\phi} = 3\omega \times C_{an} \times V_{LN}^2 = \omega \times C_{an} \times V_{LL}^2$$

Example 4.6

For the single-phase line in Example 4.3, determine the line-to-line capacitance in F and the line-to-line admittance in S. If the line voltage is 20 kV, determine the reactive power in kVAR supplied by this capacitance.

Sol:

$$C_{xy} = \frac{\pi\epsilon}{\ln(D/r)} \text{ F/m} \longrightarrow$$

استخدمت هذا القانون لأنه ذاكر بالسؤال

Single phase line

وطالب يكون Line to line

الثوابت معطاة

ذكر بالسؤال بالرجوع للمثال السابق واستخرجناها :D

طريقة استخراج r

1- بشوف بالسؤال شو نوع الموصل.

2- بروح على الجدول المناسب.

3- بروح على خانة outside diameter بأخذ منها الرقم وبقسمه على 2.

$$D = 150 \text{ cm}, r = \frac{\text{diameter}}{2} = \frac{0.552}{2} \text{in} = 0.276 \text{ inch}$$

$$1\text{inch} = 2.54 \text{ cm} \rightarrow 0.276 \text{ inch} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ inch}} = 0.7 \text{ cm} \rightarrow D = 0.7 \text{ cm}$$

$$C_{xy} = \frac{\pi \times (8.854 \times 10^{-12})}{\ln(150/0.7)} \text{ F/m} \times 32 \times 10^3 \text{m} = 1.66 \times 10^{-7} \text{F}$$

b) shunt admittance is:

$$Y_{xy} = j\omega C_{xy}$$

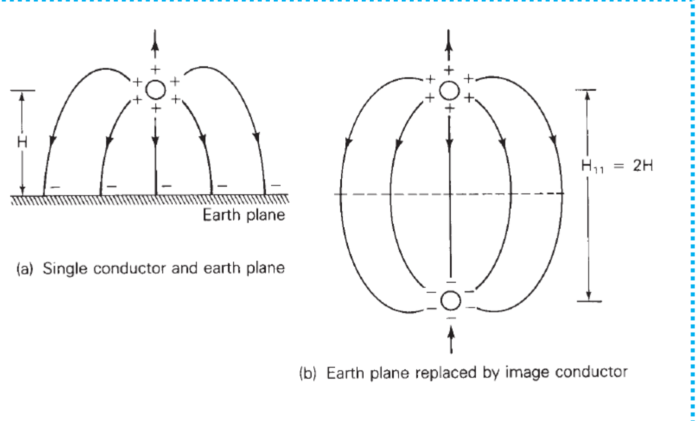
$$Y_{xy} = j \times 2 \times \pi \times 60 \times 1.66 \times 10^{-7} = j6.258 \times 10^{-5}\ S$$

c) the reactive power in kVAR supplied by this capacitance:

$$Q_C = Y \times V_{an}^2 = (6.258 \times 10^{-5}) \times (20 \times 10^3)^2 = 25.032\ \text{kVAR}$$

4.11 SHUNT ADMITTANCES: LINES WITH NEUTRAL CONDUCTORS AND EARTH RETURN

The effect of the earth plane is accounted for by the **method of image**, When the conductor has a positive charge, an equal quantity of negative charge is induced on the earth. The electric field lines will originate from the positive charges on the conductor and terminate at the negative charges on the earth. Also, the electric field lines are perpendicular to the surfaces of the conductor and earth. replace the earth by the image conductor, which has the same radius as the original conductor, lies directly below the original conductor with conductor separation, and has an equal quantity of negative charge. The electric field above the dashed line representing the location of the removed earth plane is identical to the electric field above the earth plane. Therefore, the voltage between any two points above the earth is the same in both figures.

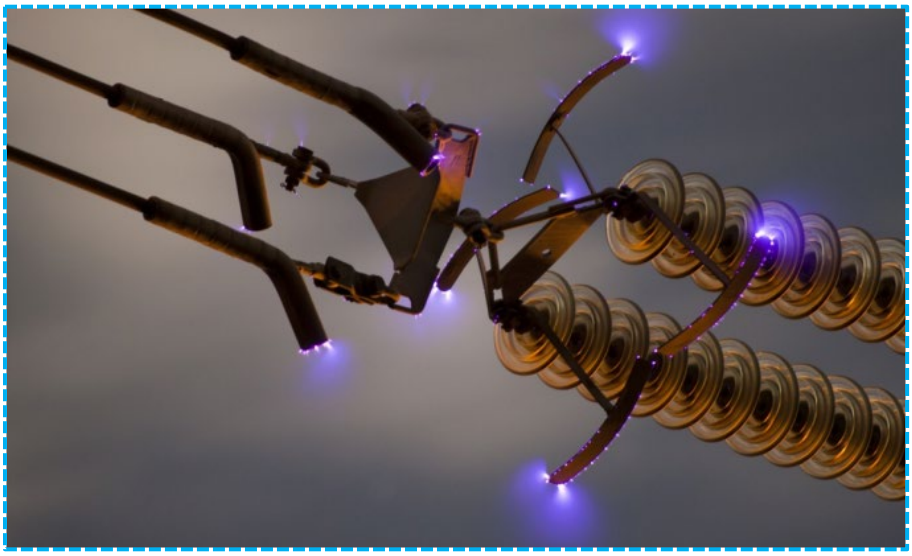


(a) Single conductor and earth plane

(b) Earth plane replaced by image conductor

4.12 ELECTRIC FIELD STRENGTH AT CONDUCTOR SURFACES AND AT GROUND LEVEL

When the electric field strength at a conductor surface exceeds the breakdown strength of air, current discharges occur. This phenomenon, called corona, causes additional line losses (corona loss), communications interference, and audible noise. Although breakdown strength depends on many factors, a rough value is 30 kV/cm in a uniform electric field for dry air at atmospheric pressure. The presence of water droplets or rain can lower this value significantly. To control corona, transmission lines are usually designed to maintain calculated values of conductor surface electric field strength below 20 kVrms/cm.



Problems Ch4

4.10) A 60-Hz three-phase, three-wire overhead line has solid cylindrical conductors arranged in the form of an equilateral triangle with 4 ft conductor spacing. Conductor diameter is 0.5 in. Calculate the positive-sequence inductance in H/m and the positive sequence inductive reactance in Ω/km.

Sol:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r'}\right) \ (H/m)$$

$$D = 4ft \longrightarrow$$

بما إنه ذكر إنه المثلث متساوي الأضلاع يعني المسافات متساوية وللتأكد نأخذ الجذر التكعيبي ل 4 تكعيب بطلع 4

$$r' = 0.7788 \times r \longrightarrow$$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0.5\ inch}{2} = 0.25\ inch$$

بنحول من inch ل Feet لتوحيد الوحد

$$r = 0.25\ inch \times \frac{1\ feet}{12 inch} = 0.020833\ feet$$

$$r' = 0.7788 \times 0.020833$$

$$r' = 0.016225\ feet$$

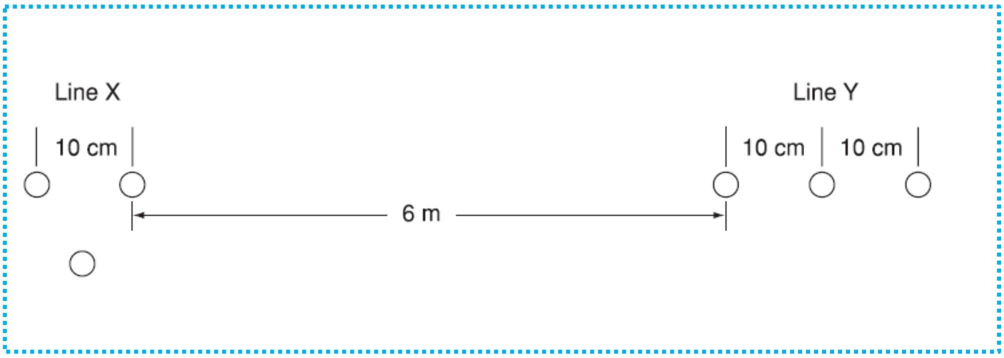
$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{4}{0.016225}\right)$$

$$L = 1.101 \times 10^{-6}\ (H/m)$$

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

$$X_L = 2 \times \pi \times 60 \times 1.101 \times 10^{-6} = 4.153 \times 10^{-6} \Omega/m = 0.4153\ \Omega/km$$

4.22) The conductor configuration of a bundled single-phase overhead transmission line is shown in Figure 4.31. Line X has its three conductors situated at the corners of an equilateral triangle with 10-cm spacing. Line Y has its three conductors arranged in a horizontal configuration with 10-cm spacing. All conductors are identical, solid cylindrical conductors, each with a radius of 2 cm. (a) Find the equivalent representation in terms of the geometric mean radius of each bundle and a separation that is the geometric mean distance.



Sol:

$$D_{XY} = \sqrt[9]{(6.1)^2 \times (6.2)^2 \times (6) \times (6.3) \times (6.05) \times (6.15) \times (6.25)}$$

$$D_{AB} = 6.15 \text{ m}$$

$$R_X = \sqrt[3]{D_s \times (d)^2}$$

$$R_X = \sqrt[3]{0.02 \times 0.7788 \times (0.10)^2} = 0.0538 \text{ m}$$

$$R_Y = \sqrt[9]{(0.1)^4 \times (0.2)^2 \times (0.015576)^3} \longrightarrow \boxed{\begin{array}{c} D_s = 0.7788 \times 0.02 \\ D_s = 0.015576 \text{ m} \end{array}}$$

$$R_Y = 0.0628 \text{ m}$$

4.41) Calculate the capacitance-to-neutral in F/m and the admittance-to-neutral in S/km of a bundled 500-kV, 60-Hz, three-phase completely transposed overhead line having three ACSR 1113-kcmil (556.50 mm2) conductors per bundle, with 0.5 m between conductors in the bundle. The horizontal phase spacings between bundle centers are 10, 10, and 20 m. Also calculate the total reactive power in Mvar/km supplied by the line capacitance when it is operated at 500 kV. Neglect the effect of the earth plane

Sol:

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(D_{eq}/D_{SC}\right)}\ \mathrm{F/m}$$

استخدمت هذا القانون لأنه طالب بالسؤال

Line to neutral يكون

$$D_{eq} = \sqrt[3]{10 \times 10 \times 20} = 12.6\ \mathrm{m}$$

$$D_{SC} = \sqrt[3]{r \times d^2}$$

ذاكر بالسؤال Bundle

$$D_{SC} = \sqrt[3]{r \times d^2}$$

قيمة r غير معطاة بالسؤال بروح على الجدول

بستخدم جدول A.4 لأنه ذكر إنه ACSR

بشوف معلومات الموصل وبروح على خانة Out side diameter

$$r = \frac{d}{2} = \frac{1.293\ \mathrm{inch}}{2} = 0.6465\ \mathrm{inch}$$

بنحول من inch ل meter لتوحيد الوحد

$$r = 0.6465\ \mathrm{inch} \times \frac{0.0254\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{inch}} = 0.01642\ \mathrm{m}$$

$$D_{SC} = \sqrt[3]{0.01642 \times 0.5^2}$$

$$D_{SC} = 0.16\ \mathrm{m}$$

$$C_1 = \frac{2\pi \times 8.854 \times 10^{-12}}{\ln\left(12.6/0.16\right)}$$

$$C_1 = 1.2741 \times 10^{-11}\ \mathrm{F/m}$$

b) Shunt admittance

$$Y_1 = j\omega C_1 = j2 \times \pi \times f \times C_1$$

$$Y_1 = j \times 2 \times \pi \times 60 \times 1.2741 \times 10^{-11} = 4.8032 \times 10^{-9}\ \mathrm{S}$$

$$Y_1 = 4.8032 \times 10^{-6}\ \mathrm{S/km}$$

-c) Reactive power:

$$Q_1 = Y \times V_{LL}^2$$

$$Q_1 = 4.8032 \times 10^{-6} \times 500^2 = 1.2\ \mathrm{MVAR/km}$$

Ch5 TRANSMISSION LINES:

STEADY-STATE OPERATIONPARAMETERS

بداية أخذنا في شابتر 4 كيف نحسب المقاومة والمحث والمواسع وكل هذا حسبناه عشان نعمل على تكوين سيركت وحدة لخطوط النقل وهذا هو عنوان شابتر 5

أولا بدنا نعرف إنه في للخطوط أنواع بدنا نعرف كيف نحددهم وعنا 3 أطوال للخطوط وهم:

1- Short-length transmission-line approximations

2- Medium-length transmission-line approximations

3- Long-length transmission-line approximations

5.1 MEDIUM AND SHORT LINE APPROXIMATIONS

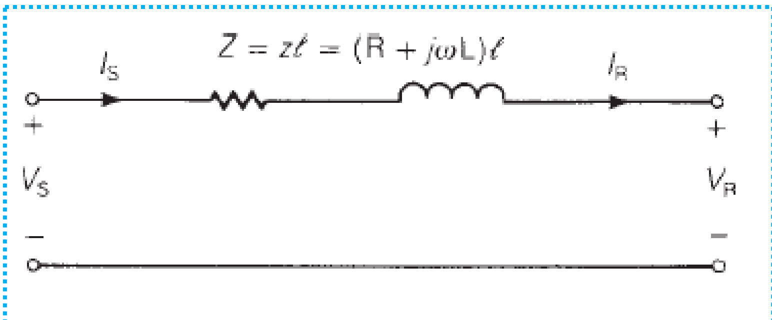
- Short-length transmission-line approximations:

The length of the transmission line is less than (80 km).

The series resistance and reactance are included. The shunt admittance is neglected.

بداية عنا الشورت وبكون أقل من 80 km وبنهمل فيها المواسع.

وسبب الإهمال برجع لأنه Current leakage بكون صغير جدا.



لازم نعرف شكل السيركت لكل خط لأنه بتكون مطلوبة بالامتحان مع معرفة أجزاءها.

V_S: sending-end voltage

V_R: receiving-end voltage

$Z = z\,L = (R + j\omega l) \times L$

في شابتر 4 بس كنا نحسب المقاومة أو الملف أو المواسع كانت الوحد تضمن بير متر أو كيلو متر
بهذا الشابتر إحنا بدنا الممانعة الكلية لهيك بنضرب بالطول.

$$V_S = ZI_R + V_R$$
$$I_S = I_R$$

جبت المعادلات هاي بناء على الدارة بالأعلى وراح نمثلهم بمصفوفة لنوصل لشغلة معينة.

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

Sol:

$$V_S = AV_R + BI_R$$
$$I_S = CV_R + DI_R$$

بنعمل مقارنة بين المعادلتين بالأعلى والأسفل لإيجاد
A B C D

$A = 1(\text{per unit})$, $B = Z\ (\Omega)$, $C = 0\ (S)$, $D = 1\ (\text{per unit})$

ملاحظة:

A B C D

عناصر مطلوب إيجادها بالامتحان ومعادلاتهم ثابتة لكل نوع خط

A=D دائما

As applied to linear, passive, bilateral two-port networks, the ABCD parameters satisfy AD - BC = 1.

بمعنى أن ال Determine للمصفوفة دائما يساوي 1

مطاليب ممكن يطلبها على الدارة:

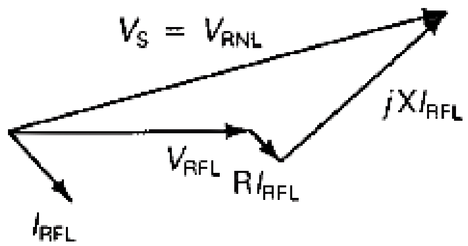
$$\text{Voltage regulation} = \frac{|V_{R(nl)}| - |V_{R(fl)}|}{|V_{R(fl)}|} \times 100\% = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100\%$$

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

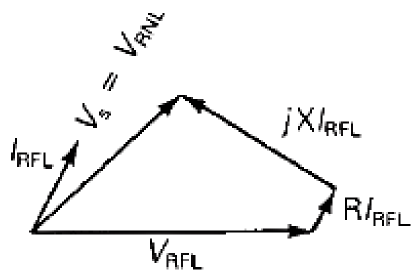
$$S_S = 3V_S I_S^*$$

- Phasor diagrams for a short transmission line:

1- Lagging pf



2- Leading pf



2- Medium-length transmission-line approximations

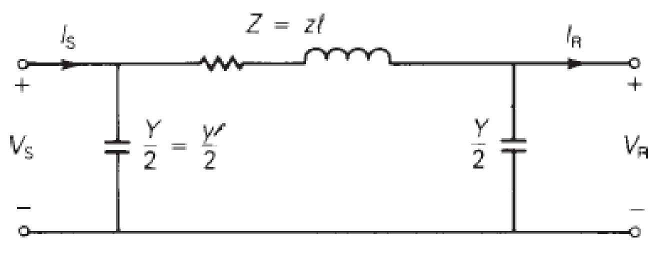
The length of the transmission line typically ranging from 80 to 250 km.

The shunt admittance must be considered.

بال Medium ما بنهمل المواسع بندخلها بحساباتنا

بالتالي راح تختلف المعادلات والعناصر بمعنى لكل نوع خط في معادلات خاصة فيه.

- The circuit called a **nominal π circuit**.



بداية هاي هي السيركت اللي بنتعامل معها بهذا النوع من الخطوط
مطلوب أيضا نعرفها ونعرف اجزاءها.

V_S: sending-end voltage

V_R: receiving-end voltage

$Z = z\,L = (R + j\omega l) \times L$

$Y = (j\omega c) \times L$ →

بشابتر 4 بس كنا نحسب Shunt admittance

كانت الوحدة بتضمن بير كيلو متر أو متر زي ما وضحت بالأعلى بخصوص الممانعة أيضا هون نفس الشيء بنضرب بالطول.

الأن بدنا نحل الدارة وانسب طريقة للحل هي إنه نستخدم kvl and kcl

$$V_S = V_R + Z\left(I_R + \frac{V_R Y}{2}\right)$$

$$\mathbf{V_S = \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) V_R + Z I_R}$$

$$I_S = I_R + \frac{V_R Y}{2} + \frac{V_S Y}{2} = I_R + \frac{V_R Y}{2} + \left[\left(1 + \frac{YZ}{2}\right) V_R + Z I_R\right] \frac{Y}{2}$$

$$\mathbf{I_S = Y\left(1+\frac{YZ}{4}\right)V_R + \left(1+\frac{YZ}{2}\right)I_R}$$

بعد ما استخرجت المعادلات الأن بدي أمثلهم بماتركس عشان

أستخرج المعاملات ABCD

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

Sol:

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

بنعمل مقارنة بين المعادلتين بالأعلى والأسفل لإيجاد

A B C D

$$\mathbf{A = D = 1 + \frac{YZ}{2} \quad (Per\ unit)}$$

$$\mathbf{B = Z\ (\Omega)}$$

$$\mathbf{C = Y\left(1+\frac{YZ}{4}\right) \quad (Siemens)}$$

مطاليب ممكن يطلبها على الدارة:

$$\text{Voltage regulation} = \frac{|V_{R(nl)}| - |V_{R(fl)}|}{|V_{R(fl)}|} \times 100\% = \frac{\frac{|V_S|}{A} - |V_R|}{|V_R|} \times 100\%$$

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$S_S = 3V_S I_S^*$$

The loadability of short transmission lines (less than 80 km, represented by including only series resistance and reactance) is determined by **thermal limit**; that of medium lines (less than 250 km, represented by nominal _ circuit) is determined by **voltage-drop limit**; and that of long lines (more than 250 km, represented by equivalent_ circuit) is determined by **steady-state stability limit**. Fill in the Blanks.

Example 5.1

A three-phase, 60-Hz, completely transposed 345-kV, 200-km line has two 795,000-cmil (403-mm2) 26/2 ACSR conductors per bundle and the following positive-sequence line constants:

$z = 0.032 + j0.35\ \Omega/\text{km}$

$y = j4.2 \times 10^{-6}\ \text{S/km}$

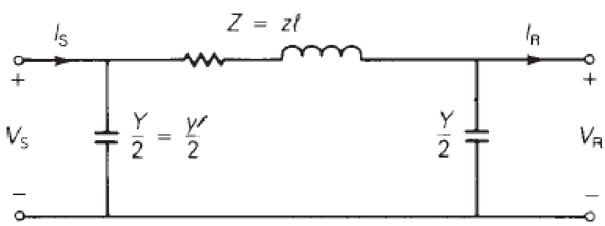
Full load at the receiving end of the line is 700 MW at 0.99 p.f. leading and at 95% of rated voltage. Assuming a medium-length line, determine the following:

a. ABCD parameters of the nominal π circuit

b. Sending-end voltage Vs, current Is, and real power Ps

c. Percent voltage regulation

d. Transmission-line efficiency at full load



بداية لازم نعرف شو طول الخط لنعرف على أي معادلات لازم نشتغل وبما إنه 200 كيلو متر يعني بنشتغل على معادلات الميديوم.

Sol:

a. ABCD parameters of the nominal π circuit

ذكرت إنه راح نحل على معادلات الميديوم بس قبل هيك بدنا ننتبه إنه أعطانا بالسؤال z and y وحداتهم بير كيلو متر فلازم نحولهم

$$Z = zl = (0.032 + j0.35)\ \Omega/km\ \times 200\ km = 6.4 + j70 = 70.29\angle 84.78°\ \Omega$$

$$Y = yl = j4.2 \times 10^{-6}\ S/km \times 200\ km = 8.4 \times 10^{-4}\ \angle 90°\ S$$

$$A = D = 1 + \frac{YZ}{2}$$

$$A = D = 1 + \frac{(8.4 \times 10^{-4}\ \angle 90°) \times (70.29\angle 84.78°\ )}{2}$$

$$A = D = 0.9706\angle 0.159°\ perunit$$

$$B = Z\ = 70.29\angle 84.78°\Omega$$

$$C = Y\left(1 + \frac{YZ}{4}\right)$$

$$C = 8.4 \times 10^{-4}\ \angle 90° \times \left(1 + \frac{(8.4 \times 10^{-4}\ \angle 90°) \times (70.29\angle 84.78°\ )}{4}\right)$$

$$C = 8.277 \times 10^{-4}\ \angle 90.08°\ S$$

b. Sending-end voltage Vs, current Is, and real power Ps

$$V_R = 0.95 \times 345 = 327.8\ kV_{LL}$$

$$V_R = \frac{327.8\ k}{\sqrt{3}} = 189.2\ kV_{LN}$$

ذكر بالسؤال إنه

Receiving voltage 95% of rated voltage

لهيك ضربت ب 0.95 وحولتها ل

Line to neutral

$$P = \sqrt{3}\, V_{R(LL)} I_{R(LL)} \cos(\theta)$$

$$I_R = \frac{700 \times 10^6 \angle \cos^{-1}(0.99)}{\sqrt{3} \times (327.8 \times 10^3) \times (0.99)} = 1.246\angle 8.11°\ \text{kA}$$

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$V_S = (0.9706\angle 0.159°) \times 189.2\ \text{k} + (70.29\angle 84.78°) \times (1.246\angle 8.11°\ \text{k})$$

$$V_S = 199.6\angle 26.14°\ \text{kV}_{LN}$$

$$V_S = 199.6 \times \sqrt{3} = 345.8\ \text{kV}_{LL}$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

$$I_S = (8.277 \times 10^{-4} \angle 90.08°) \times 189.2\ \text{k} + (0.9706\angle 0.159°) \times (1.246\angle 8.11°\ \text{k})$$

$$I_S = 1.241\angle 15.5°\ \text{kA}$$

$$P_s = \sqrt{3}\, V_{R(LL)} I_{R(LL)} \cos(\theta)$$

$$P_s = \sqrt{3}\,(345.8\ \text{k})(1.241\ \text{k}) \cos(26.14° - 15.5°) = 730.5\ \text{MW}$$

c. Percent voltage regulation

$$\text{Voltage regulation} = \frac{\frac{|V_S|}{A} - |V_R|}{|V_R|} \times 100\%$$

$$\text{Voltage regulation} = \frac{\frac{345.8}{0.9706} - 327.8}{327.8} \times 100\% = 8.7\%$$

Note: Voltage regulation can be negative.

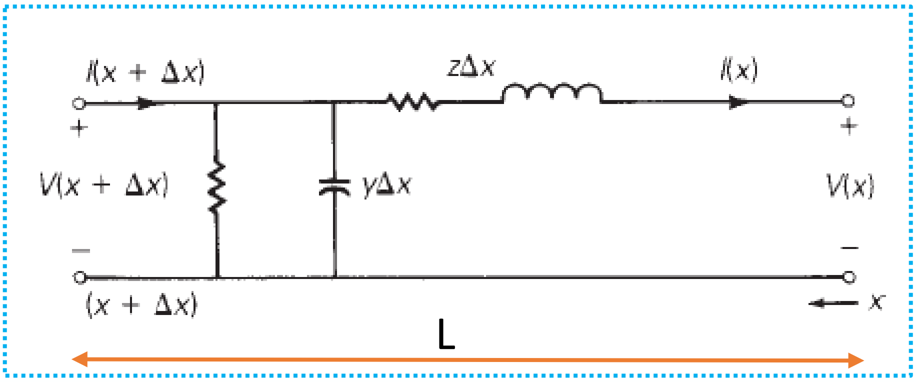
d. Transmission-line efficiency at full load

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_R}{P_S} \times 100\% = \frac{700\ \text{MW}}{730.5\ \text{MW}} \times 100\% = 95.8\%$$

5.2 TRANSMISSION-LINE DIFFERENTIAL EQUATIONS

The length of the transmission line longer than 250 km.

ال Long طوله أكبر من الأطوال السابقة وبهذا النوع مراح نعمل على تجزئة السلك إلى عدد لا نهائي من الأجزاء.



هاي سيركت ال Long راح نعمل على تجزئة الخط كامل اللي طوله (L)

إلى عدد لا نهائي من الأجزاء وراح أبدأ أشتق بالقوانين لاستخراج قانون التيار والجهد واللي بهمنا فقط **القانون الأخير وراح أميزه بالغامق الاشتقاق فقط للتوضيح.**

KVL equation for the circuit:

$$V(x+\Delta x) = V(x) + (z\Delta x)I(x)$$

Rearranging:

$$zI(x) = \frac{V(x+\Delta x) - V(x)}{\Delta x} \longrightarrow$$

لو نرجع لكالك 1 بنلاقي إنه هذا الشكل نفسه تعريف المشتقة.

$$\frac{dV(x)}{dx} = zI(x) \rightarrow \text{equation 1}$$

KCL equation for the circuit:

$$I(x+\Delta x) = I(x) + (y\Delta x)V(x+\Delta x)$$

Rearranging:

$$yV(x) = \frac{I(x+\Delta x) - I(x)}{\Delta x}$$

$$\frac{dI(x)}{dx} = yV(x) \rightarrow \text{equation 2}$$

بعد ما استخرجت معادلتين أنا بدي معادلة خاصة للجهد والتيار فقط راح أشتق معادلة (1) وأعوضها بمعادلة (2)

$$\left(\frac{dV(x)}{dx} = zI(x)\right)'$$

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = z\frac{dI(x)}{dx}$$

$\frac{dI(x)}{dx}$ هي نفسها معادلة رقم 2 بعوضها

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = zyV(x)$$

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} - zyV(x) = 0$$

معادلة تفاضلية تصف معدل تغير الجهد مع المسافة وبس نحلها بكون استخرجنا الجهد.

$$V(x) = A_1e^{\gamma x} + A_2e^{-\gamma x}$$

A_1 and A_2: integration constants

$\boldsymbol{\gamma^2 = zy \longrightarrow}$ **propagation constant**

$$\boldsymbol{\gamma = \sqrt{zy}\ \ (m^{-1})}$$

$$\boldsymbol{\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{zy}}$$

$\boldsymbol{\alpha \rightarrow}$ **attenuation constant**

$\boldsymbol{\beta \rightarrow}$ **phase constatn**

بعد ما استخرجنا الجهد ضل علينا التيار وراح يكون نفس الخطوات السابقة:

KVL equation for the circuit:

$$I(x) = \frac{dV(x)}{dx} \times \frac{1}{z} \longrightarrow$$

بشتق معادلة الجهد الموجودة بالأعلى لتعويضها

$$I(x) = \frac{A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x}}{z/\gamma}$$

$$\frac{z}{\gamma} = \frac{z}{\sqrt{zy}} = \frac{\sqrt{z}\sqrt{z}}{\sqrt{z}\sqrt{y}} = \sqrt{\frac{z}{y}} = Z_c$$

$$I(x) = \frac{A_1 e^{\gamma x} - A_2 e^{-\gamma x}}{Z_c}$$

$$\mathbf{Z_c} = \sqrt{\frac{\mathbf{z}}{\mathbf{y}}}(\Omega) \rightarrow \textbf{characteristic impedance}$$

بعد ما استخرجنا معادلة الجهد والتيار ضل علينا فقط نستخرج قيمة A_1 و A_2

وراح أفرض كالأتي:

$$x = \text{zero}\,, V(x) = V_R, I(x) = I_R$$

$$A_1 = \frac{V_R + Z_c I_R}{2}$$

$$A_2 = \frac{V_R - Z_c I_R}{2}$$

بتعويض A_1 و A_2 بمعادلة الجهد والتيار:

$$V(x) = \left(\frac{V_R + Z_c I_R}{2}\right) e^{\gamma x} + \left(\frac{V_R - Z_c I_R}{2}\right) e^{-\gamma x}$$

$$I(x) = \left(\frac{V_R + Z_c I_R}{2Z_c}\right) e^{\gamma x} - \left(\frac{V_R - Z_c I_R}{2Z_c}\right) e^{-\gamma x}$$

$$V(x) = \left(\frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2}\right) V_R + Z_c \left(\frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2}\right) I_R$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_c}\left(\frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2}\right) V_R + \left(\frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2}\right) I_R$$

Recognizing the hyperbolic functions cosh and sinh,

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

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

Where $x = l$, $V(l) = V_S, I(l) = I_S$

$$\mathbf{V_S = \cosh(\gamma l) V_R + Z_c \sinh(\gamma l) I_R}$$

$$\mathbf{I_S = \frac{1}{Z_c}\sinh V_R + \cosh(\gamma l) I_R}$$

$$\mathbf{\cosh(\gamma l) = \left(\frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2}\right) = \frac{1}{2}\left(e^{\alpha l}\angle\beta l + e^{-\alpha l}\angle - \beta l\right)}$$

$$\mathbf{\sinh(\gamma l) = \left(\frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2}\right) = \frac{1}{2}\left(e^{\alpha l}\angle\beta l - e^{-\alpha l}\angle - \beta l\right)}$$

بعد ما أستخرجت المعادلات الأن بدي أستخرج قيم ABCD:

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

Sol:

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

بنعمل مقارنة بين المعادلتين بالأعلى والأسفل لإيجاد

A B C D

$$\mathbf{A = D = \cosh(\gamma l)\ \ (dimensionless)}$$

$$\mathbf{B = Z_c \sinh(\gamma l)\ (\Omega)}$$

$$\mathbf{C = \frac{1}{Z_c}\ \sinh(\gamma l)\ (Siemens)}$$

the following identities can be used:

$$\cosh(\alpha l + j\beta l) = \cosh(\alpha l)\cos(\beta l) + j\sinh(\alpha l)\sin(\beta l)$$

$$\sinh(\alpha l + j\beta l) = \sinh(\alpha l)\cos(\beta l) + j\cosh(\alpha l)\sin(\beta l)$$

Example 5.2

A three-phase 765-kV, 60-Hz, 300-km, completely transposed line has the following positive-sequence impedance and admittance:

$$z = 0.0165 + j0.3306\ \Omega/\mathrm{km}$$

$$y = j4.674 \times 10^{-6}\ \mathrm{S/km}$$

Assuming positive-sequence operation, calculate the exact ABCD parameters of the line. Compare the exact B parameter with that of the nominal π circuit.

بداية لازم نعرف إنه حل معادلات ال Long مش زي ما حلينا سابقا

لإنه عندي كومبلكس تحت الجذر والألة حاسبة ما بتحسبهم لهيك راح نحل بطريقة ثانية غير عن اللي قبل.

أول إشي بنستخرج قيمة Z_c و γl لأنه هم مفتاح حل السؤال كامل

Sol:

$$Z = zl = (0.0165 + j0.3306)\ \Omega/\mathrm{km}\ \times 300\ \mathrm{km} = 99.303\angle 87.14°\ \Omega$$

$$Y = yl = j4.674 \times 10^{-6}\ \mathrm{S/km} \times 300\ \mathrm{km} = 1.4022 \times 10^{-3}\ \angle 90°\ \mathrm{S}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\text{Absolute}\left(\frac{z}{y}\right)} \angle\left(\frac{\theta_z - \theta_y}{2}\right) \longrightarrow$$

راح نعتمد هاي الطريقة لإيجاد Z_c

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{99.303}{1.4022 \times 10^{-3}}} \angle\left(\frac{87.14^\circ\ - 90^\circ}{2}\right) = 266.1\angle - 1.43^\circ\ \Omega$$

$$\gamma l = \sqrt{zy}\ = \sqrt{\text{Absolute}(zy)} \angle\left(\frac{\theta_z + \theta_y}{2}\right) \longrightarrow$$

راح نعتمد هاي الطريقة لإيجاد γl

$$\gamma l = \sqrt{zy}\ = \sqrt{99.303 \times 1.4022 \times 10^{-3}} \angle\left(\frac{87.14^\circ\ + 90^\circ}{2}\right)$$

$$\gamma l\ = 0.3731\angle 88.57^\circ\ = 0.00931 + j0.3730$$

طالب قيمة ABCD بنحط قانون كل وحدة وبنشوف شو باقي الخطوات

$$A = D = \cosh(\gamma l)$$

$$\cosh(\gamma l) = \left(\frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2}\right) \longrightarrow$$

لو استخدمنا هذا القانون مش راح يطلع معنا على الألة حاسبة جواب ف راح نستخدم القانون الثاني.

$$\cosh(\gamma l) = \frac{1}{2}\left(e^{\alpha l}\angle\beta l + e^{-\alpha l}\angle - \beta l\right)$$

$$\gamma l\ = \alpha l + j\beta l = 0.00931 + j0.3730$$

$$\alpha l = 0.00931$$

$$\beta l = j0.3730\ \text{radian} \rightarrow 0.3730 \times \frac{180}{\pi} = 21.371^\circ\ \text{degree}$$

حولت الزاوية لإنه كل تعاملنا بالألة حاسبة مع ال Degree

$$\cosh(\gamma l) = \frac{1}{2}(e^{0.00931}\angle 21.371° + e^{-0.00931}\angle -21.371°)$$

$$\cosh(\gamma l) = 0.9313\angle 0.209°$$

$$A = D = 0.9313\angle 0.209° \text{ per unit}$$

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

$$\sinh(\gamma l) = \frac{1}{2}\left(e^{\alpha l}\angle \beta l - e^{-\alpha l}\angle -\beta l\right)$$

$$\sinh(\gamma l) = \frac{1}{2}(e^{0.00931}\angle 21.371° - e^{-0.00931}\angle -21.371°)$$

$$\sinh(\gamma l) = 0.3645\angle 88.63°$$

$$B = 266.1\angle -1.43° \times 0.3645\angle 88.63° = 97\angle 87.2°\ \Omega$$

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

$$C = \frac{1}{266.1\angle -1.43°} \times 0.3645\angle 88.63° = 1.37 \times 10^{-3}\angle 90.06°\ S$$

b) B parameter with that of the nominal π circuit

$$B_{\text{nominal } \pi \text{ circuit}} = Z = 99.303\angle 87.14°\ \Omega \longrightarrow$$

nominal π circuit

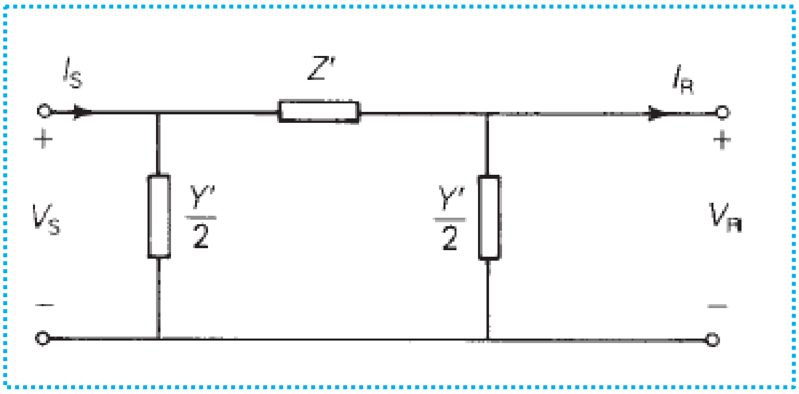
هاي السيركت الخاصة بالميديوم والعنصر

B=Z

5.3 EQUIVALENT π CIRCUIT

أخذنا بالShort وال Mediumإنه في لكل وحدة دارة خاصة فيها

وعنا بال Long أيضا دارة خاصة فيها وإسمها هوEQUIVALENT π CIRCUIT



طبعا زي أي دارة مطلوب منا حفظ شكلها ومعرفة أجزاءها.

In equivalent π circuit:

Z converted to Z′

$$\mathbf{Z'} = Z_c \sinh(\gamma l) = Z_c F_1 = \mathbf{Z}\frac{\mathbf{\sinh(\gamma l)}}{\mathbf{\gamma l}} (\Omega)$$

$$\mathbf{F_1} = \frac{\mathbf{\sinh(\gamma l)}}{\mathbf{\gamma l}} \ \mathbf{(Per\ unit)}$$

$$\frac{\mathbf{y'}}{\mathbf{2}} = \frac{y}{2}F_2 = \frac{y}{2}\frac{\tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}{\left(\frac{\gamma l}{2}\right)} = \frac{\mathbf{\tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}}{\mathbf{Z_c}}$$

$$\mathbf{F_2} = \frac{\mathbf{\tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}}{\mathbf{\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}} \mathbf{(Per\ unit)}$$

ممكن ما استخدم القوانين اللي بالأعلى وأستخدم هاي القوانين بحالة ما طلب F1 and F2

$$\mathbf{Z' = B = Z_c \sinh(\gamma l)\ (\Omega)}$$

$$\mathbf{\frac{y'}{2} = \frac{\cosh(\gamma l) - 1}{Z_c \sinh(\gamma l)} = \frac{A-1}{B}\ (S)}$$

$$\mathbf{A = D = \cosh(\gamma l)\ \ (dimensionless)}$$

$$\mathbf{B = Z_c \sinh(\gamma l)\ (\Omega)}$$

$$\mathbf{C = \frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma l)\ (Siemens)}$$

هم نفسهم ما عليهم تغيير.

- The equivalent π circuit is identical in structure to the nominal circuit.

Example 5.3

Compare the equivalent and nominal π circuits for the line in Example 5.2.

نفس مطاليب المثال السابق بس بدنا نوجد العناصر الجديدة بهذا السكشن وحل على أي قانون عادي.

Sol:

$$Z = zl = (0.0165 + j0.3306)\ \Omega/km\ \times 300\ km = 99.303\angle 87.14°\ \Omega$$

$$\frac{Y}{2} = \frac{yl}{2} = \frac{j4.674\times10^{-6}}{2}\ S/km \times 300\ km = 7.011\times10^{-4}\ \angle 90°\ S$$

$$F_1 = \frac{\sinh(\gamma l)}{\gamma l} = \frac{0.3645\angle 88.63°}{0.3731\angle 88.57°} = 0.9769\angle 0.06°\ \text{Per unit}$$

$$F_2 = \frac{\tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}{\left(\frac{\gamma l}{2}\right)} = \frac{\cosh(\gamma l) - 1}{\left(\frac{\gamma l}{2}\right)\sinh(\gamma l)} = \frac{0.9313\angle 0.209° - 1}{\left(\frac{0.3731\angle 88.57°}{2}\right) \times 0.3645\angle 88.63°}$$

$$F_2 = 1.012\angle -0.03°\ \text{Per unit}$$

$$Z' = Z\,F_1 = 99.303\angle 87.14° \times\ 0.9769\angle 0.06° \ = 97\angle 87.2°\,\Omega$$

$$\frac{y'}{2} = \frac{y}{2}F_2 = 7.011 \times 10^{-4}\,\angle 90°\ \times 1.012\angle -0.03°\ = 7.095 \times 10^{-4}\,\angle 89.97°\,S$$

5.4 LOSSLESS LINES

بداية السكشن السابق اعرفنا هذا الرمز $\boldsymbol{\gamma}$ واللي بنسميه غاما لكن ما حكيت عنه كثير فلازم نعرف شوي عن غاما

غاما بتأثر على نوع السلك زي ما شفنا لأنه بالأصل بتتأثر ب **(R, C, L, G)**

واعرفنا إنها بتتكون من ألفا $(\boldsymbol{\alpha})$ وبيتا $(\boldsymbol{\beta})$

ألفا بتأثر على ال Amplitude وبيتا بتأثر على ال Phase

وزي ما بنعرف البور بنحسبها من ال Amplitude

على فرض أرسلت جهد معين بأمبليتيود معين وكانت ألفا تساوي صفر بالتالي راح يضل الأمبليتيود زي ما هي لحتى توصل الطرف الأخر وهيك بنقدر نحكي إنه ما في عندي أي خسارة بين المرسل والمستقبل وهذا بنسميه **LOSSLESS LINES**

والموضوع نفسه بنطبق على $\mathbf{Z_c}$ احنا بنعرف إنه البور الحقيقة تستهلك في **(R,G)**

وحكينا إنه ما في عنا أي فقدان للطاقة بين المرسل والمستقبل فهذا يعني إنه ما عنا **(R,G)**

وبدنا نشوف شو راح يصير لما ما يكون عنا **(R,G)**

- SURGE IMPEDANCE: →

هاي نفسها **characteristic impedance**

لكن صار اسمها **SURGE IMPEDANCE**

For a lossless line, R =G =0,

$$z = (0) + j\omega L\ (\Omega/m)$$

$$y = (0) + j\omega C\ (S/m)$$

$$\mathbf{Z_c} = \sqrt{\frac{\mathbf{z}}{\mathbf{y}}} = \sqrt{\frac{\mathbf{j\omega L}}{\mathbf{j\omega C}}} = \sqrt{\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{C}}}\ (\Omega)$$

- For a lossless line, the surge impedance is purely resistive and the propagation constant is pure imaginary.

$$\gamma = \sqrt{zy} = \sqrt{j\omega L \times j\omega C} = j\omega\sqrt{LC}$$

$$\boldsymbol{\gamma = j\beta\ (m^{-1})}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = 0 + j\omega\sqrt{LC}$$

$$\boldsymbol{\beta = \omega\sqrt{LC}}$$

- ABCD PARAMETERS:

$$A(x) = D(x) = \cosh(\gamma x)$$

but $\alpha = 0 \rightarrow \gamma = j\beta$

$$A = D = \cosh(j\beta x)$$

$$\mathbf{A(x) = D(x) = cos(\beta x)\ (Per\ unit)}$$

$$B(x) = Z_c \sinh(\gamma x)$$

but $\alpha = 0 \rightarrow \gamma = j\beta$

$$B(x) = Z_c \sinh(j\beta x) = jZ_c \sin(\beta x)(\Omega)$$

$$\mathbf{B(x) = j\sqrt{\frac{L}{C}}\,sin(\beta x)}(\Omega)$$

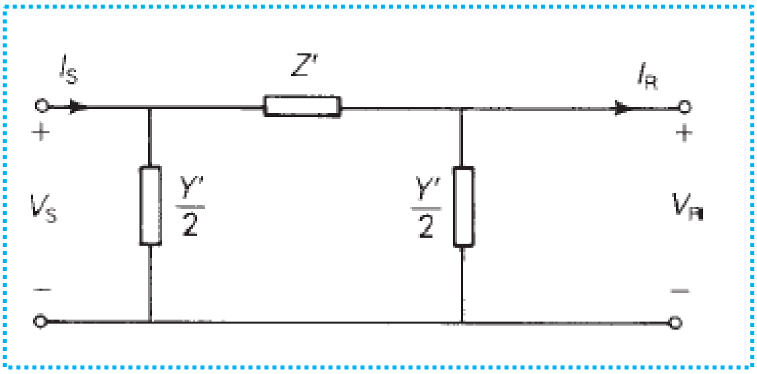
$$C(x) = \frac{1}{Z_c}\sinh(\gamma x)$$

but $\alpha = 0 \rightarrow \gamma = j\beta$

$$C(x) = \frac{1}{Z_c}\sinh(j\beta x)$$

$$\mathbf{C(x) = j\frac{sin(\beta x)}{\sqrt{\frac{L}{C}}}\ (S)}$$

- EQUIVALENT π CIRCUIT



زي ما صار تغيير بالعناصر السابقة راح يصير عنا تغيير أيضا بهاي السيركت

$$B(X) = Z' = jZ_c \sin(\beta l)$$

$$\mathbf{Z'} = \mathbf{jX'}\ (\Omega)$$

$$\frac{y'}{2} = \frac{y}{2}\frac{\tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}{\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}$$

$$\text{but } \alpha = 0 \ \rightarrow \gamma = j\beta$$

$$\frac{y'}{2} = \frac{y}{2}\frac{\tanh\left(\frac{j\beta l}{2}\right)}{\left(\frac{j\beta l}{2}\right)} = \frac{y}{2}\frac{\sinh\left(\frac{j\beta l}{2}\right)}{\left(\frac{j\beta l}{2}\right)\cosh\left(\frac{j\beta l}{2}\right)}$$

$$\frac{\mathbf{y'}}{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{j\omega C' l}}{\mathbf{2}}\ (\mathbf{S})$$

- In equivalent π circuits of lossless lines, $\mathbf{Z'}$ is **pure inductive**, and $\mathbf{y'}$ is **pure capacitive**. Fill in the Blanks.

- WAVELENGTH

wavelength is the distance required to change the phase of the voltage or current by 2π radians or 360°.

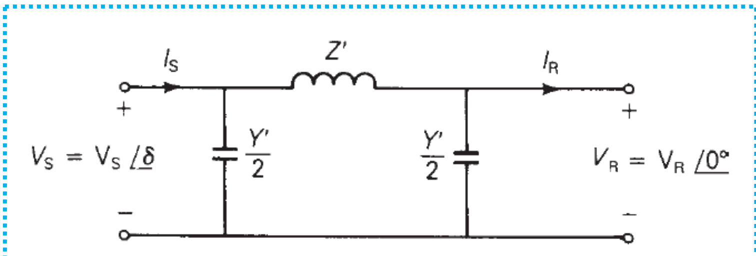
$\boldsymbol{\lambda f = V}$

λ: WAVELENGTH

f: Frequency

V: velocity

التردد ما بتغيّر بالأسلاك لكن سرعة الأمواج هي اللي بتتغير وبكون تغييرها حسب الوسط وسرعتها تساوي سرعة الضوء لكن لو صار في تغيير على الوسط فالسرعة راح تقل فإذا السرعة تغيّرت أكيد الطول الموجي راح يتأثر مع ثبات التردد.



$$V(x) = A(x)V_R + B(x)I_R$$

$$I(x) = C(x)V_R + D(x)I_R$$

$$V(x) = \cos(\beta x)\, V_R + jZ_c \sin(\beta x)\, I_R$$

$$I(x) = \frac{j\sin(\beta x)}{Z_c} V_R + \cos(\beta x) \frac{V_R}{Z_c}$$

When $\beta x = 2\pi$ then

$$x = \frac{2\pi}{\beta}$$

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{f\sqrt{LC}}\ (m)}$$

$$\boldsymbol{V = \lambda f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow \text{velocity of propagation}}$$

$$\boldsymbol{\text{For overhead lines } u_p = 3 \times 10^8 \text{ and } f = 60 \text{ then } \lambda = \frac{3 \times 10^8}{60} = 5000\ km}$$

- The velocity of propagation of voltage and current waves along a lossless

- SURGE IMPEDANCE LOADING

اعرفنا بالأعلى إنه SURGE IMPEDANCE تعني Z_c و LOADING تعني Load

يعني شبكنا $Load$ وقيمته Z_c واحنا لسا LOSSLESS LINES

ولما إنه احنا لسا بهاي الحالة شغالين فالبور اللي راح تكون بالسلك هي Reactive power

فالبور راح تكون موجود بالمحث والمواسع ف راح يلغوا بعض لما يكون الحمل Z_c

- Surge impedance loading (SIL) is the power delivered by a lossless line to a load resistance equal to the surge impedance $\mathbf{Z_c} = \sqrt{\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{C}}}$

- Surge impedance load is the ideal load because $I(x)$ and $V(x)$ is uniform along line.

$$V(x) = \cos(\beta x)\, V_R + jZ_c I_R$$

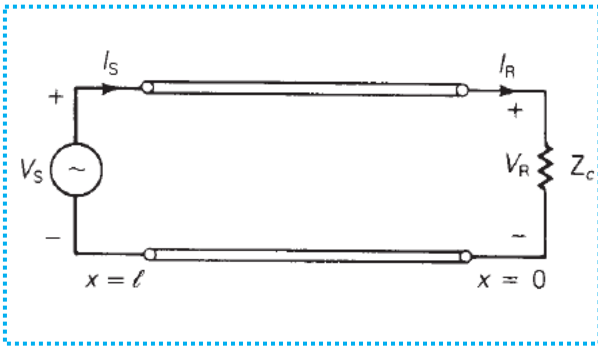
$$V(x) = \cos(\beta x)\, V_R + j\cancel{Z_c}\frac{V_R}{\cancel{Z_c}}$$

$$\mathbf{V(x) = e^{j\beta x}\, V_R}$$

$$|V(x)| = |V_R|$$

$$|V(l)| = |V_R|$$

$$\mathbf{V_S = V_R}$$



- SIL, **the voltage profile is flat**. That is, the voltage magnitude at any point x along a lossless line at SIL is constant.

$$I(x) = \frac{j\sin(\beta x)}{Z_c} V_R + \cos(\beta x)\frac{V_R}{Z_c}$$

$$\mathbf{I(x) = e^{j\beta x}\,\frac{V_R}{Z_c}}$$

$$|\mathbf{I(x)}| = \frac{|\mathbf{V_R}|}{\mathbf{Z_c}}\ (\mathbf{A})$$

$$S(x) = P(x) + jQ(x)$$

$$S(x) = \left(e^{j\beta x} V_R\right)\left(\frac{e^{j\beta x} V_R}{Z_c}\right)^*$$

$$S(x) = \frac{|V_R|^2}{Z_c}$$

- the real power flow along a lossless line at SIL remains constant from the sending end to the receiving end. The reactive power flow is zero.

$$\mathbf{SIL} = \frac{\mathbf{V_{rated}}^2}{\mathbf{Z_c}}$$

- rated voltage is used for a single-phase line and rated line-to-line voltage

is used for the total real power delivered by a three-phase line>

- VOLTAGE PROFILES

اعرفنا إنه SIL هو Ideal load لكن بالوضع العملي ما راح يكون هيك ممكن يكون أكبر أو أقل وهذا بعتمد على:

1- line length

2- line compensation

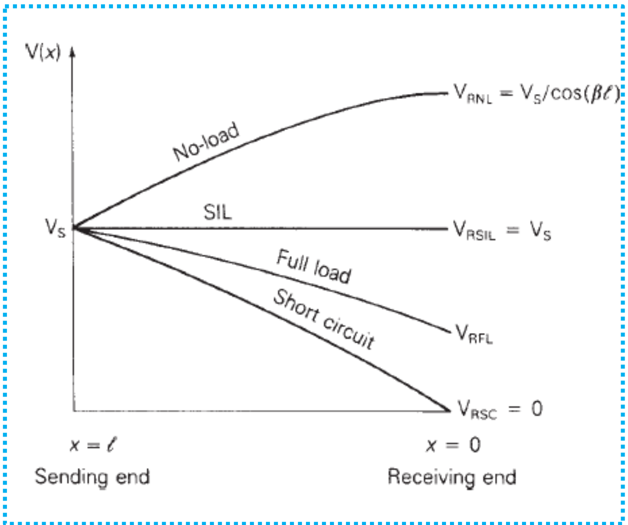
بالتالي الجهد ما راح يكون ثابت وراح يكون إله عدة حالات.

1- at no load

2- SIL

3- short circuit

4- full load



1- at no load

$I_{RNL} = 0, \qquad V_{NL}(x) = \cos(\beta x)V_{RNL}$

The no-load voltage increases from $V_S = \cos(\beta x)V_{RNL}$ at the sending end to VRNL at the receiving end (where x =0).

2- the voltage profile at SIL is flat $\mathbf{V_S = V_R}$

3-For a short circuit at the load

$\mathbf{V_{RSC} = 0}$

$V(x) = 0 + \sin(\beta x)Z_c I_{RSC} \rightarrow \text{The voltage decreases}$

4- The full-load voltage profile, which depends on the specification of full-load current, lies above the short-circuit voltage profile.

زي ما شفنا كل ما زاد طول السلك المشكلة بتزيد ولحل هاي المشكلة بنلجأ
ل compensation methods لتقليل تقلبات الجهد.

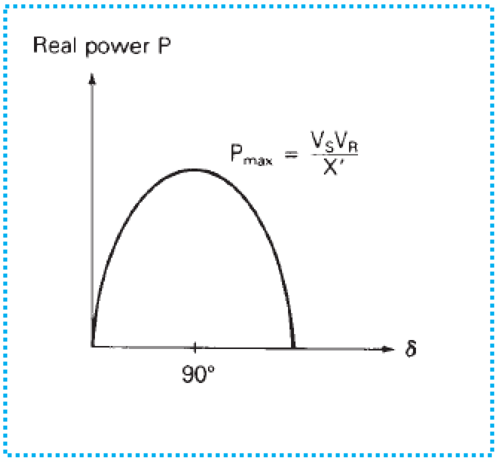
- STEADY-STATE STABILITY LIMIT

$$\mathbf{P = \frac{V_R V_S}{X'} \sin(\delta)\ (W)}$$

$\delta = \theta_{VR} - \theta_{VS}$

in $\delta = 90°$ then the power:

$$\mathbf{P_{max} = \frac{V_R V_S}{X'}\ (W)}$$



In per unit:

$$\mathbf{P = V_{R.p.u} V_{S.p.u} (SIL) \frac{\sin(\delta)}{\sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} \ (W)}$$

in $\delta = 90°$ then the power:

$$\mathbf{P_{max} = V_{R.p.u} V_{S,p,u} \frac{(SIL)}{\sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} \ (W)}$$

Example 5.4

Neglecting line losses, find the theoretical steady-state stability limit for the 300-km line in Example 5.2. Assume a 266.1-Ω surge impedance, a 5000-km wavelength, and $V_S = V_R = 765$ kV.

Sol:

1- surge impedance

$$SIL = \frac{{V_{rated}}^2}{Z_c}$$

$$SIL = \frac{765 \text{ k}^2}{266.1} = 2199 \text{ MW}$$

اخترت هذا القانون لأنه $V_S = V_R$
ويعني هذا أن $\text{Load} = Z_C$

2- the theoretical steady-state stability limit for the 300-km line

$$P_{max} = V_{R.p.u} V_{S,p,u} \frac{(SIL)}{\sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)}$$

$$P_{max} = 1 \times 1 \frac{2199 \text{ M}}{\sin\left(\frac{2\pi \times 300}{5000\text{k}}\right)} = 5974 \text{ MW}$$

$$V_{p.u} = \frac{V_{actual}}{V_{base}}$$

$$V_{p.u} = \frac{765}{765} = 1 \text{ per unit}$$

5.5 MAXIMUM POWER FLOW

Maximum power flow for lossless lines, is derived here in terms of the ABCD parameters for lossy lines. The following notation is used:

$$\mathbf{A = \cosh(\gamma l) = A\angle\theta_A}$$

$$\mathbf{B = Z' = Z'\angle\theta_Z}$$

$$\mathbf{V_S = V_S\angle\delta,\ \ V_R = V_R\angle 0°}$$

$$\mathbf{P_R = \frac{V_R V_S}{Z'}\cos(\theta_Z - \delta) - \frac{A{V_R}^2}{Z'}\cos(\theta_Z - \theta_A)}$$

$$\mathbf{Q_R = \frac{V_R V_S}{Z'}\sin(\theta_Z - \delta) - \frac{A{V_R}^2}{Z'}\sin(\theta_Z - \theta_A)}$$

Note that for a lossless line:

$\mathbf{\theta_A = 0°,\ B = Z' = jX',\ \ Z' = X',\ \ \theta_Z = 90°}$ then the power:

$$P_R = \frac{V_R V_S}{X'}\cos(90 - \delta) - \frac{A{V_R}^2}{X'}\cos(90°)$$

$$\mathbf{P_R = \frac{V_R V_S}{X'}\sin(\delta)}$$

$$\mathbf{P_{Rmax} = \frac{V_R V_S}{Z'} - \frac{A{V_R}^2}{Z'}\cos(\theta_Z - \theta_A)}$$

Example 5.5

Determine the theoretical maximum power, in MW and in per-unit of SIL, that the line in Example 5.2 can deliver. Assume $V_S = V_R = 765\ \text{kV}$.

Sol:

$$A = 0.9313\angle 0.209°$$

$$B = Z' = 97.0\angle 87.2°\ \Omega$$

$$Z_C = 266.1\ \Omega$$

$$P_{Rmax} = \frac{V_R V_S}{Z'} - \frac{A{V_R}^2}{Z'}\cos(\theta_Z - \theta_A)$$

$$P_{Rmax} = \frac{765\ \text{k}^2}{97} - \frac{0.9313 \times 765\ \text{k}^2}{97}\cos(87.2° - 0.209°) = 5738\ \text{MW}$$

$$\text{SIL} = \frac{{V_{rated}}^2}{Z_c} = \frac{765\ \text{k}^2}{266.1} = 2199\ \text{MW}$$

$$P_{Rmax} = \frac{5738}{2199} = 2.61\ \text{per unit}$$

This value is about 4% less than that found in Example 5.4, where losses were neglected.

Problems Ch5

5.1) A 25-km, 34.5-kV, 60-Hz three-phase line has a positive-sequence series impedance$z = 0.19 + j0.34\ \Omega/\text{km}$. The load at the receiving end absorbs 10 MVA at 33 kV. Assuming a short line, calculate: (a) the ABCD parameters, (b) the sending-end voltage for a load power factor of 0.9 lagging, (c) the sending-end voltage for a load power factor of 0.9 leading.

Sol:

$$Z = zl = 0.19 + j0.34\ \Omega/\text{km} \times 25\ (\text{km}) = 9.737\angle 60.8°\ \Omega$$

a) the ABCD parameters

$$A = 1\ , \qquad B = 9.737\angle 60.8°\ \Omega, \qquad C = 0\ \text{S}, \qquad D = 1$$

b) the sending-end voltage for a load power factor of 0.9 lagging

$$V_R = \frac{33\ \text{k}}{\sqrt{3}} = 19.05\ \text{k Line} - \text{neutral}$$

$$S = 3V_R I_R^{\ *} \rightarrow I_R = \frac{S^*}{3V}$$

$$I_R = \frac{S^*}{3V_R} = \frac{10 \times 10^6 \angle - \cos^{-1}(0.9)}{3 \times 19.05\ \text{k}} = 0.175\ \text{k}\angle - 25.84$$

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$V_S = 1 \times 19.05\ \text{k} + (9.737\angle 60.8°) \times (0.175\ \text{k}\angle - 25.84°)$$

$$V_S = 20.47\ \angle 2.73°\ \text{kV}$$

$$V_{S\ L-L} = 20.47 \times \sqrt{3} = 35.45\ \text{kV}$$

c) the sending-end voltage for a load power factor of 0.9 leading.

$$V_R = \frac{33\ k}{\sqrt{3}} = 19.05\ k\ \text{Line} - \text{neutral}$$

$$S = 3V_R I_R^{\ *} \rightarrow I_R = \frac{S^*}{3V}$$

$$I_R = \frac{S^*}{3V_R} = \frac{10 \times 10^6 \angle \cos^{-1}(0.9)}{3 \times 19.05\ k} = 0.175\ k\angle 25.84$$

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$V_S = 1 \times 19.05\ k + (9.737\angle 60.8°) \times (0.175\angle 25.84°)$$

$$V_S = 19.23\ \angle 5.076°\ kV$$

$$V_{S\ L-L} = 19.23\ \times \sqrt{3} = 33.3\ kV$$

5.31) A 500-kV, 300-km, 60-Hz three-phase overhead transmission line, assumed to be lossless, has a series inductance of 0.97 mH/km per phase and a shunt capacitance of 0.0115 μF/km per phase. (a) Determine the phase constant β, the surge impedance Z_C, velocity of propagation n, and the wavelength λ of the line. (b) Determine the voltage, current, real and reactive power at the sending end, and the percent voltage regulation of the line if the receiving-end load is 800 MW at 0.8 power factor lagging and at 500 kV.

Sol:

a) Determine the phase constant β, the surge impedance Z_C, velocity of propagation n, and the wavelength λ of the line

$$\beta = \omega\sqrt{LC} = 2\pi \times 60\sqrt{0.97\ \times 0.0115 \times 10^{-9}} = 0.001259\ \text{rad/km}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.97 \times 10^{-3}}{0.0115 \times 10^{-6}}} = 290.43\ \Omega$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0.97 \times 0.0115 \times 10^{-9}}} = 2.994 \times 10^5\ \text{km/s}$$

$$\lambda f = V \rightarrow \lambda = \frac{V}{f} = \frac{2.994 \times 10^5}{60} = 4990\ \text{km}$$

b) Determine the voltage, current, real and reactive power at the sending end, and the percent voltage regulation of the line if the receiving-end load is 800 MW at 0.8 power factor lagging and at 500 kV.

$$V_R = \frac{500\ \text{k}}{\sqrt{3}} = 288.657\ \text{kV}$$

$$P = 3V_{R\,L-N}\, I_R \cos(\theta_V - \theta_I)$$

$$I_R = \frac{800\ \text{M} \angle \cos^{-1}(0.8)}{3 \times 288.657\ \text{k} \times 0.8} = 1154.7\angle -36.87°$$

$$V_S = \cos(\beta l)\, V_R + jZ_c \sin(Bl) I_R \longrightarrow$$

$$\boxed{\begin{aligned} &\beta = 0.001259\ \text{rad/km} \\ &\beta l = 0.001259\ \text{rad/km} \times 300\text{km} \\ &\beta l = 0.3777\ \text{rad} \rightarrow \text{degree} \\ &\beta l = 0.3777 \times \frac{180}{\pi} = 21.641° \end{aligned}}$$

$$V_S = \cos(21.641) \times 288.657\ \text{k} + j290.43 \times \sin(21.641) \times 1154.7\angle -36.87°$$

$$V_S = 356.53\angle 16.1°\ \text{kV}$$

$$V_{S\,L-L} = 356.53 \times \sqrt{3} = 617.53\ \text{kV}$$

$$I_S = j\frac{1}{Z_c}\sin(Bl)\,V_R + \cos(\beta l)I_R$$

$$I_S = j\frac{1}{290.43}\times\sin(21.641)\ \times 288.657\ k + \cos(21.641)\times 1154.7\angle-36.87°$$

$$I_S = 902.3\angle-17.9°\ A$$

$$S = 3V_S I_S^*$$

$$S = 3\times 356.53\angle 16.1°\ k\times 902.3\angle+17.9° = 800\ MW + j539.672\ MVAR$$

$$\text{Voltage regulation} = \frac{\frac{|V_S|}{A}-|V_R|}{|V_R|}\times 100\% \longrightarrow$$

In lossless line

$$A = \cos(\beta l)$$

$$A = \cos(21.641) = 0.9295$$

$$\text{Voltage regulation} = \frac{\frac{356.53\ k}{0.9295}-288.657\ k}{288.657\ k}\times 100\% = 32.87\%$$

APPENDIX

TABLE A.3 Characteristics of copper conductors, hard drawn, 97.3% conductivity

Size of Conductor: Circular Mils	Size of Conductor: A.W.G. or B. & S.	Number of Strands	Diameter of Individual Strands (inches)	Outside Diameter (inches)	Breaking Strength (pounds)	Weight (pounds per mile)	Approx. Current Carrying Capacity* (amps)	Geometric Mean Radius at 60 Hz (feet)	r_a Resistance (Ohms per Conductor per Mile) 25°C (77°F) dc	25°C 25 Hz	25°C 50 Hz	25°C 60 Hz	50°C (122°F) dc	50°C 25 Hz	50°C 50 Hz	50°C 60 Hz	x_a Inductive Reactance (ohms per conductor per mile at 1 ft spacing) 25 Hz	x_a 50 Hz	x_a 60 Hz	x'_a Shunt Capacitive Reactance (megohms per conductor per mile at 1 ft spacing) 25 Hz	x'_a 50 Hz	x'_a 60 Hz
1 000 000	...	37	0.1644	1.151	43 830	16 300	1 300	0.0368	0.0585	0.0594	0.0620	0.0634	0.0640	0.0648	0.0672	0.0685	0.1666	0.333	0.400	0.216	0.1081	0.0901
900 000	...	37	0.1560	1.092	39 510	14 670	1 220	0.0349	0.0650	0.0658	0.0682	0.0695	0.0711	0.0718	0.0740	0.0752	0.1693	0.339	0.406	0.220	0.1100	0.0916
800 000	...	37	0.1470	1.029	35 120	13 040	1 130	0.0329	0.0731	0.0739	0.0760	0.0772	0.0800	0.0806	0.0826	0.0837	0.1722	0.344	0.413	0.224	0.1121	0.0934
750 000	...	37	0.1424	0.997	33 400	12 230	1 090	0.0319	0.0780	0.0787	0.0807	0.0818	0.0853	0.0859	0.0878	0.0888	0.1739	0.348	0.417	0.226	0.1132	0.0943
700 000	...	37	0.1375	0.963	31 170	11 410	1 040	0.0308	0.0836	0.0842	0.0861	0.0871	0.0914	0.0920	0.0937	0.0947	0.1759	0.352	0.422	0.229	0.1145	0.0954
600 000	...	37	0.1273	0.891	27 020	9 781	940	0.0285	0.0975	0.0981	0.0997	0.1006	0.1066	0.1071	0.1086	0.1095	0.1799	0.360	0.432	0.235	0.1173	0.0977
500 000	...	37	0.1162	0.814	22 610	8 151	840	0.0260	0.1170	0.1175	0.1188	0.1196	0.1280	0.1283	0.1296	0.1303	0.1845	0.369	0.443	0.241	0.1205	0.1004
500 000	...	19	0.1622	0.811	21 590	8 151	840	0.0256	0.1170	0.1175	0.1188	0.1196	0.1280	0.1283	0.1296	0.1303	0.1853	0.371	0.445	0.241	0.1206	0.1005
450 000	...	19	0.1539	0.770	19 750	7 336	780	0.0243	0.1300	0.1304	0.1316	0.1323	0.1422	0.1426	0.1437	0.1443	0.1879	0.376	0.451	0.245	0.1224	0.1020
400 000	...	19	0.1451	0.726	17 560	6 521	730	0.0229	0.1462	0.1466	0.1477	0.1484	0.1600	0.1603	0.1613	0.1619	0.1909	0.382	0.458	0.249	0.1245	0.1038
350 000	...	19	0.1357	0.679	15 590	5 706	670	0.0214	0.1671	0.1675	0.1684	0.1690	0.1828	0.1831	0.1840	0.1845	0.1943	0.389	0.466	0.254	0.1269	0.1058
350 000	...	12	0.1708	0.710	15 140	5 706	670	0.0225	0.1671	0.1675	0.1684	0.1690	0.1828	0.1831	0.1840	0.1845	0.1918	0.384	0.460	0.251	0.1253	0.1044
300 000	...	19	0.1257	0.629	13 510	4 891	610	0.01987	0.1950	0.1953	0.1961	0.1966	0.213	0.214	0.214	0.215	0.1982	0.396	0.476	0.259	0.1296	0.1080
300 000	...	12	0.1581	0.657	13 170	4 891	610	0.0208	0.1950	0.1953	0.1961	0.1966	0.213	0.214	0.214	0.215	0.1957	0.392	0.470	0.256	0.1281	0.1068
250 000	...	19	0.1147	0.574	11 380	4 076	540	0.01813	0.234	0.234	0.235	0.235	0.256	0.256	0.257	0.257	0.203	0.406	0.487	0.266	0.1329	0.1108
250 000	...	12	0.1443	0.600	11 130	4 076	540	0.01902	0.234	0.234	0.235	0.235	0.256	0.256	0.257	0.257	0.200	0.401	0.481	0.263	0.1313	0.1094
211 600	4/0	19	0.1055	0.528	9 617	3 450	480	0.01668	0.276	0.277	0.277	0.278	0.302	0.303	0.303	0.303	0.207	0.414	0.497	0.272	0.1359	0.1132
211 600	4/0	12	0.1328	0.552	9 483	3 450	490	0.01750	0.276	0.277	0.277	0.278	0.302	0.303	0.303	0.303	0.205	0.409	0.491	0.269	0.1343	0.1119
211 600	4/0	7	0.1739	0.522	9 154	3 450	480	0.01579	0.276	0.277	0.277	0.278	0.302	0.303	0.303	0.303	0.210	0.420	0.503	0.273	0.1363	0.1136
167 800	3/0	12	0.1183	0.492	7 556	2 736	420	0.01559	0.349	0.349	0.349	0.350	0.381	0.381	0.382	0.382	0.210	0.421	0.505	0.277	0.1384	0.1153
167 800	3/0	7	0.1548	0.464	7 366	2 736	420	0.01404	0.349	0.349	0.349	0.350	0.381	0.381	0.382	0.382	0.216	0.431	0.518	0.281	0.1405	0.1171
133 100	2/0	7	0.1379	0.414	5 926	2 170	360	0.01252	0.440	0.440	0.440	0.440	0.481	0.481	0.481	0.481	0.222	0.443	0.532	0.289	0.1445	0.1205
105 500	1/0	7	0.1228	0.368	4 752	1 720	310	0.01113	0.555	0.555	0.555	0.555	0.606	0.607	0.607	0.607	0.227	0.455	0.546	0.298	0.1488	0.1240
83 690	1	7	0.1093	0.328	3 804	1 364	270	0.00992	0.699	0.699	0.699	0.699	0.765				0.233	0.467	0.560	0.306	0.1528	0.1274
83 690	1	3	0.1670	0.360	3 620	1 351	270	0.01016	0.692	0.692	0.692	0.692	0.757				0.232	0.464	0.557	0.299	0.1495	0.1246
66 370	2	7	0.0974	0.292	3 045	1 082	230	0.00883	0.881	0.882	0.882	0.882	0.964				0.239	0.478	0.574	0.314	0.1570	0.1308
66 370	2	3	0.1487	0.320	2 913	1 071	240	0.00903	0.873				0.955				0.238	0.476	0.571	0.307	0.1537	0.1281
66 370	2	1	....	0.258	3 003	1 061	220	0.00836	0.864				0.945				0.242	0.484	0.581	0.323	0.1614	0.1345
52 630	3	7	0.0867	0.260	2 433	858	200	0.00787	1.112				1.216				0.245	0.490	0.588	0.322	0.1611	0.1343
52 630	3	3	0.1325	0.285	2 359	850	200	0.00805	1.101				1.204				0.244	0.488	0.585	0.316	0.1578	0.1315
52 630	3	1	....	0.229	2 439	841	190	0.00745	1.090		Same as dc		1.192		Same as dc		0.248	0.496	0.595	0.331	0.1656	0.1380
41 740	4	3	0.1180	0.254	1 879	674	180	0.00717	1.388				1.518				0.250	0.499	0.599	0.324	0.1619	0.1349
41 740	4	1	....	0.204	1 970	667	170	0.00663	1.374				1.503				0.254	0.507	0.609	0.339	0.1697	0.1415
33 100	5	3	0.1050	0.226	1 505	534	150	0.00638	1.750				1.914				0.256	0.511	0.613	0.332	0.1661	0.1384
33 100	5	1	....	0.1819	1 591	529	140	0.00590	1.733				1.895				0.260	0.519	0.623	0.348	0.1738	0.1449
26 250	6	3	0.0935	0.201	1 205	424	130	0.00568	2.21				2.41				0.262	0.523	0.628	0.341	0.1703	0.1419
26 250	6	1	....	0.1620	1 280	420	120	0.00526	2.18				2.39				0.265	0.531	0.637	0.356	0.1779	0.1483
20 820	7	1	....	0.1443	1 030	333	110	0.00468	2.75				3.01				0.271	0.542	0.651	0.364	0.1821	0.1517
16 510	8	1	....	0.1285	826	264	90	0.00417	3.47				3.80				0.277	0.554	0.665	0.372	0.1862	0.1552

TABLE A.4 Characteristics of aluminum cable, steel, reinforced (Aluminum Company of America)—ACSR

Code Word	Circular Mils Aluminum	Aluminum	Aluminum	Aluminum Strand Diameter (inches)	Steel	Steel Strand Diameter (inches)	Outside Diameter (inches)	Copper Equivalent* Circular Mils or A.W.G.	Ultimate Strength (pounds)	Weight (pounds per mile)	Geometric Mean Radius at 60 Hz (feet)	Approx. Current Carrying Capacity† (amps)	r_a Resistance (Ohms per Conductor per Mile) 25°C (77°F) Small Currents dc	25°C 25 Hz	25°C 50 Hz	25°C 60 Hz	50°C (122°F) Current Approx. 75% Capacity‡ dc	50°C 25 Hz	50°C 50 Hz	50°C 60 Hz	x_a Inductive Reactance (ohms per conductor per mile at 1 ft spacing all currents) 60 Hz	x'_a Shunt Capacitive Reactance (megohms per conductor per mile at 1 ft spacing) 60 Hz
Joree	2 515 000	76	...	0.1819	19	0.0849	1.880		61 700		0.0621									0.0450	0.337	0.0755
Thrasher	2 312 000	76	..	0.1744	19	0.0814	1.802		57 300		0.0595									0.0482	0.342	0.0767
Kiwi	2 167 000	72	4	0.1735	7	0.1157	1.735		49 800		0.0570									0.0511	0.348	0.0778
Bluebird	2 156 000	84	4	0.1602	19	0.0961	1.762		60 300		0.0588									0.0505	0.344	0.0774
Chukar	1 781 000	84	4	0.1456	19	0.0874	1.602		51 000		0.0534									0.0598	0.355	0.0802
Falcon	1 590 000	54	3	0.1716	19	0.1030	1.545	1 000 000	56 000	10 777	0.0520	1 380	0.0587	0.0588	0.0590	0.0591	0.0646	0.0656	0.0675	0.0684	0.359	0.0814
Parrot	1 510 500	54	3	0.1673	19	0.1004	1.506	950 000	53 200	10 237	0.0507	1 340	0.0618	0.0619	0.0621	0.0622	0.0680	0.0690	0.0710	0.0720	0.362	0.0821
Plover	1 431 000	54	3	0.1628	19	0.0977	1.465	900 000	50 400	9 699	0.0493	1 300	0.0652	0.0653	0.0655	0.0656	0.0718	0.0729	0.0749	0.0760	0.365	0.0830
Martin	1 351 000	54	3	0.1582	19	0.0949	1.424	850 000	47 600	9 160	0.0479	1 250	0.0691	0.0692	0.0694	0.0695	0.0761	0.0771	0.0792	0.0803	0.369	0.0838
Pheasant	1 272 000	54	3	0.1535	19	0.0921	1.382	800 000	44 800	8 621	0.0465	1 200	0.0734	0.0735	0.0737	0.0738	0.0808	0.0819	0.0840	0.0851	0.372	0.0847
Grackle	1 192 500	54	3	0.1486	19	0.0892	1.338	750 000	43 100	8 082	0.0450	1 160	0.0783	0.0784	0.0786	0.0788	0.0862	0.0872	0.0894	0.0906	0.376	0.0857
Finch	1 113 000	54	3	0.1436	19	0.0862	1.293	700 000	40 200	7 544	0.0435	1 110	0.0839	0.0840	0.0842	0.0844	0.0924	0.0935	0.0957	0.0969	0.380	0.0867
Curlew	1 033 500	54	3	0.1384	7	0.1384	1.246	650 000	37 100	7 019	0.0420	1 060	0.0903	0.0905	0.0907	0.0909	0.0994	0.1005	0.1025	0.1035	0.385	0.0878
Cardinal	954 000	54	3	0.1329	7	0.1329	1.196	600 000	34 200	6 479	0.0403	1 010	0.0979	0.0980	0.0981	0.0982	0.1078	0.1088	0.1118	0.1128	0.390	0.0890
Canary	900 000	54	3	0.1291	7	0.1291	1.162	566 000	32 300	6 112	0.0391	970	0.104	0.104	0.104	0.104	0.1145	0.1155	0.1175	0.1185	0.393	0.0898
Crane	874 500	54	3	0.1273	7	0.1273	1.146	550 000	31 400	5 940	0.0386	950	0.107	0.107	0.107	0.108	0.1178	0.1188	0.1218	0.1228	0.395	0.0903
Condor	795 000	54	3	0.1214	7	0.1214	1.093	500 000	28 500	5 399	0.0368	900	0.117	0.118	0.118	0.119	0.1288	0.1308	0.1358	0.1378	0.401	0.0917
Drake	795 000	26	2	0.1749	7	0.1360	1.108	500 000	31 200	5 770	0.0375	900	0.117	0.117	0.117	0.117	0.1288	0.1288	0.1288	0.1288	0.399	0.0912
Mallard	795 000	30	2	0.1628	19	0.0977	1.140	500 000	38 400	6 517	0.0393	910	0.117	0.117	0.117	0.117	0.1288	0.1288	0.1288	0.1288	0.393	0.0904
Crow	715 500	54	3	0.1151	7	0.1151	1.036	450 000	26 300	4 859	0.0349	830	0.131	0.131	0.131	0.132	0.1442	0.1452	0.1472	0.1482	0.407	0.0932
Starling	715 500	26	2	0.1659	7	0.1290	1.051	450 000	28 100	5 193	0.0355	840	0.131	0.131	0.131	0.131	0.1442	0.1442	0.1442	0.1442	0.405	0.0928
Redwing	715 500	30	2	0.1544	19	0.0926	1.081	450 000	34 600	5 865	0.0372	840	0.131	0.131	0.131	0.131	0.1442	0.1442	0.1442	0.1442	0.399	0.0920
Flamingo	666 600	54	3	0.1111	7	0.1111	1.000	419 000	24 500	4 527	0.0337	800	0.140	0.140	0.141	0.141	0.1541	0.1571	0.1591	0.1601	0.412	0.0943
Rook	636 000	54	3	0.1085	7	0.1085	0.977	400 000	23 600	4 319	0.0329	770	0.147	0.147	0.148	0.148	0.1618	0.1638	0.1678	0.1688	0.414	0.0950
Grosbeak	636 000	26	2	0.1564	7	0.1216	0.990	400 000	25 000	4 616	0.0335	780	0.147	0.147	0.147	0.147	0.1618	0.1618	0.1618	0.1618	0.412	0.0946
Egret	636 000	30	2	0.1456	19	0.0874	1.019	400 000	31 500	5 213	0.0351	780	0.147	0.147	0.147	0.147	0.1618	0.1618	0.1618	0.1618	0.406	0.0937
Peacock	605 000	54	3	0.1059	7	0.1059	0.953	380 500	22 500	4 109	0.0321	750	0.154	0.155	0.155	0.155	0.1695	0.1715	0.1755	0.1775	0.417	0.0957
Squab	605 000	26	2	0.1525	7	0.1186	0.966	380 500	24 100	4 391	0.0327	760	0.154	0.154	0.154	0.154	0.1700	0.1720	0.1720	0.1720	0.415	0.0953
Dove	556 500	26	2	0.1463	7	0.1138	0.927	350 000	22 400	4 039	0.0313	730	0.168	0.168	0.168	0.168	0.1849	0.1859	0.1859	0.1859	0.420	0.0965
Eagle	556 500	30	2	0.1362	7	0.1362	0.953	350 000	27 200	4 588	0.0328	730	0.168	0.168	0.168	0.168	0.1849	0.1859	0.1859	0.1859	0.415	0.0957
Hawk	477 000	26	2	0.1355	7	0.1054	0.858	300 000	19 430	3 462	0.0290	670	0.196	0.196	0.196	0.196	0.216				0.430	0.0988
Hen	477 000	30	2	0.1261	7	0.1261	0.883	300 000	23 300	3 933	0.0304	670	0.196	0.196	0.196	0.196	0.216				0.424	0.0980
Ibis	397 500	26	2	0.1236	7	0.0961	0.783	250 000	16 190	2 885	0.0265	590	0.235				0.259				0.441	0.1015
Lark	397 500	30	2	0.1151	7	0.1151	0.806	250 000	19 980	3 277	0.0278	600	0.235		Same as dc		0.259		Same as dc		0.435	0.1006
Linnet	336 400	26	2	0.1138	7	0.0855	0.721	4/0	14 050	2 442	0.0244	530	0.278				0.306				0.451	0.1039
Oriole	336 400	30	2	0.1059	7	0.1059	0.741	4/0	17 040	2 774	0.0255	530	0.278				0.306				0.445	0.1032
Ostrich	300 000	26	2	0.1074	7	0.0835	0.680	188 700	12 650	2 178	0.0230	490	0.311				0.342				0.458	0.1057
Piper	300 000	30	2	0.1000	7	0.1000	0.700	188 700	15 430	2 473	0.0241	500	0.311				0.342				0.462	0.1049
Partridge	266 800	26	2	0.1013	7	0.0788	0.642	3/0	11 250	1 936	0.0217	460	0.350				0.385				0.465	0.1074