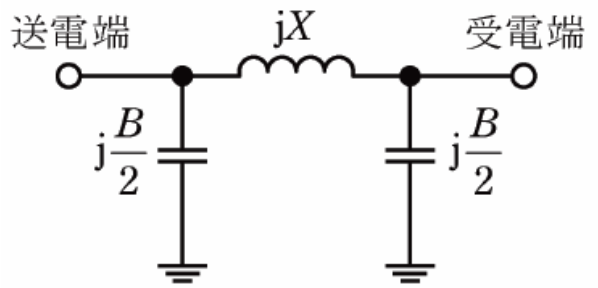
送電線のフェランチ現象に関する問である。

三相 3 線式 1 回線送電線の一相が図のπ形等価回路で表され，送電線路のインピーダンス jX = j200 [Ω]，アドミタンス jB = j0.800 [mS] とし，送電端の線間電圧が 66.0 [kV] であり，受電端が無負荷のとき，次の(a)及び(b)の問に答えよ。



(a)　受電端の線間電圧の値 [kV] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(1)　66.0　　(2)　71.7　　(3)　78.6　　(4)　114　　(5)　132

(b)　1 線当たりの送電端電流の値 [A] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(1)　15.2　　(2)　16.6　　(3)　28.7　　(4)　31.8　　(5)　55.1

フェランチ現象では、送電端より受電端のほうが電圧が高くなるので、受電端電圧は 66.0 [kV] よりも大きくなります。

解 説

問題を解く前に、アドミタンスについて説明します。

インピーダンスの逆数のことを**アドミタンス**と言い、

アドミタンスを表す記号は **Y**、単位は[S]ジーメンス になります。

インピーダンス Z と アドミタンス Y の関係を表す式は次のようになります。

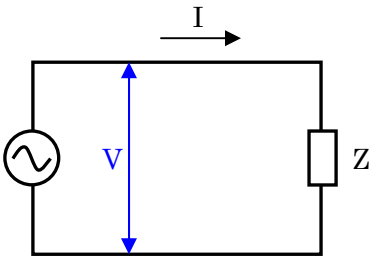
インピーダンス Z と アドミタンス Y の関係式

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

インピーダンスZの逆数がアドミタンスYになる

Y[S]：アドミタンス

Z[Ω]：インピーダンス（インピーダンスは 抵抗R と リアクタンスX の合成抵抗）



オームの法則 $V = IZ$ を「I =」にすると、$I = \frac{V}{Z}$ → $I = \frac{1}{Z} \times V$ となります。

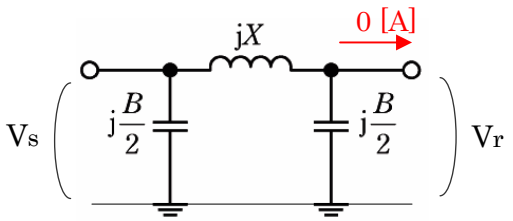
そして、$I = \frac{1}{Z} \times V$ を、Z の代わりに Y を使って表すと $I = Y \cdot V$ になります。

では、解いていきます。

(a)

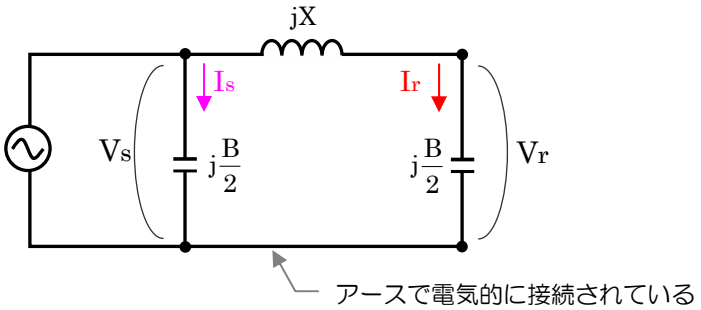
この回路は受電端が無負荷なので、受電端に電流は流れない（0[A]になる）。

そして、送電端電圧を Vs、受電端電圧を Vr とします。



この形の回路を「π形等価回路」と言い、送電線の 1 相分を簡易的な等価回路で表したものです。

問題中の図をわかり易く置き換えると、次のような回路図になります。



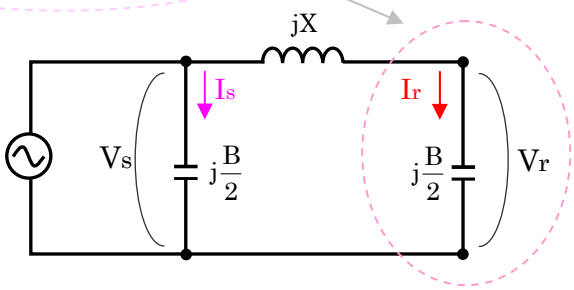
・電流を求める式 $\boxed{I = V \cdot Y}$ を使って Ir を求める （Y： アドミタンス）

受電側の $j\frac{B}{2}$ に流れる電流を Ir とする。

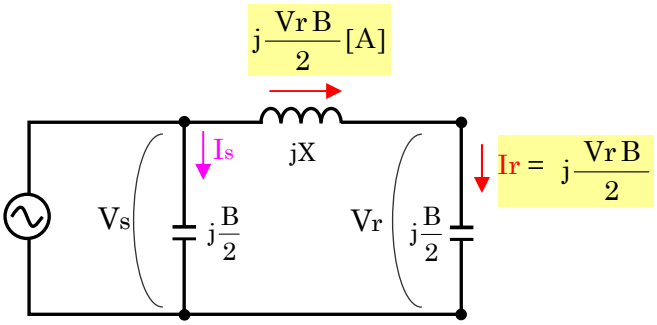
$\boxed{I = V \cdot Y}$ に $I = Ir$ ， $V = Vr$ ， $Y = j\frac{B}{2}$ を代入する。

$$\dot{I}r = Vr \times j\frac{B}{2}$$

$$\dot{I}r = j\frac{VrB}{2}$$



右側の $j\frac{B}{2}$ に流れる電流と、インピーダンス jX に流れる電流は同じ $j\frac{VrB}{2}$ [A] になる。



・線路リアクタンス jX における電圧降下[V]を求める

電圧降下を求める式 V = IX で、リアクタンス jX における電圧降下 Vx[V] を求める。

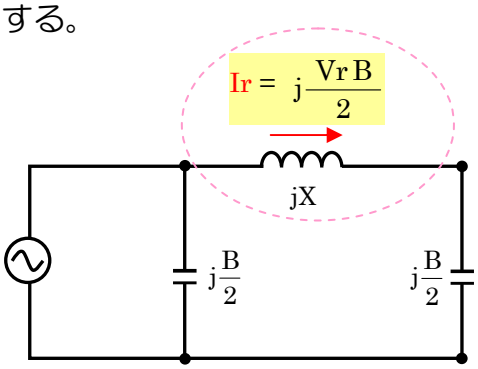
（＊1）

$\dot{V}x = \dot{I}r \cdot \dot{X}$ に $\dot{I}r = j\frac{VrB}{2}$ ， $\dot{X} = jX$ を代入する。

$$\dot{V}x = j\frac{VrB}{2} \times jX$$

$j^2 = -1$ になる

$$Vx = -\frac{VrBX}{2}$$



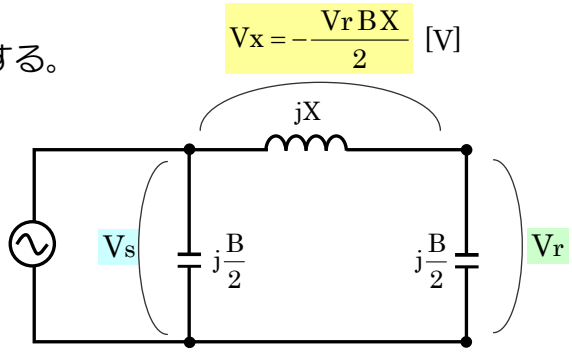
この回路では、Vs = Vr + Vx が 成り立つので、

$Vs = Vr + Vx$ に $Vx = -\dfrac{VrBX}{2}$ を代入する。

$$Vs = Vr + \left(-\frac{VrBX}{2}\right)$$

Vr で括る

$$Vs = Vr\left(1 - \frac{BX}{2}\right)$$



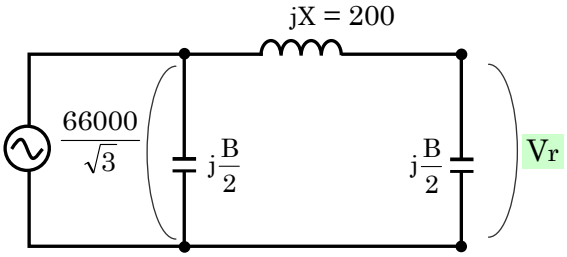
Vs = Vr + Vx

(Vr と Vx を足した電圧が Vs になる)

$Vs = Vr\left(1 - \dfrac{BX}{2}\right)$ に、問題中に示されている値、

$Vs = \dfrac{66000}{\sqrt{3}}$, $B = 0.8 \times 10^{-3}$, $X = 200$ を代入する。(＊2)

$$Vs = Vr\left(1 - \frac{BX}{2}\right)$$



$$\frac{66000}{\sqrt{3}} = Vr\left(1 - \frac{0.8\times10^{-3} \times 200}{2}\right)$$

$$\frac{66000}{\sqrt{3}} = Vr\,(1 - 0.08)$$

$$\frac{66000}{\sqrt{3}} = 0.92Vr$$

$Vr = \dfrac{71739}{\sqrt{3}}$ ← この値は一相分の値なので、三相の値に直すため $\sqrt{3}$ をかける

$$\frac{71739}{\sqrt{3}} \times \sqrt{3} = 71739\ [V] \quad \rightarrow \quad 71.7\ [kV]$$

答　(a)—(2)

注釈

(＊1)

電圧降下を求める式は「V = IR」だが、この回路では抵抗 R の代わりに jX があるので、「V = IX」になる。

(＊2)

この回路は一相分を抜き出したものなので、線間電圧 66000[V]を$\sqrt{3}$で割った 66000／$\sqrt{3}$を一相分の電圧として使用する。相電圧 ＝ 線間電圧／$\sqrt{3}$

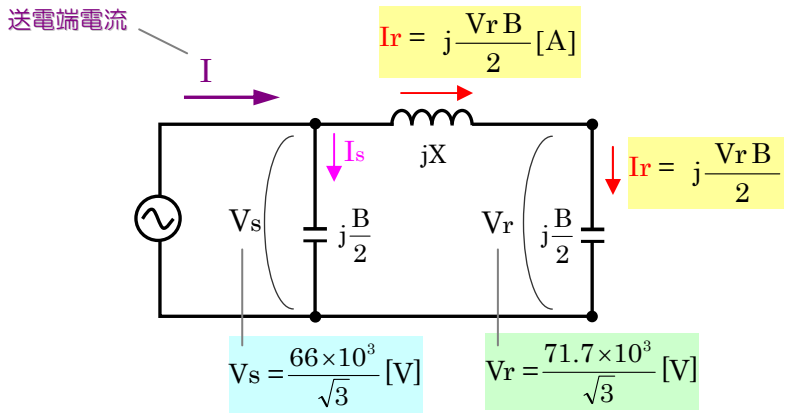
66[kV] = 66000[V] ， 0.8[mS] = 0.8 × 10^{-3}[S]

(b)

「1 線当たりの送電端電流を求めよ」という問題ですが、以下の回路の電流 I が送電端電流になります。

I は $\dot{I} = \dot{I}r + \dot{I}s$ で求められる。

したがって、 $\dot{I}r$ と $\dot{I}s$ を求めて足せば良いということです。



$\dot{I}r$ を求める

$\dot{I}r = j\dfrac{VrB}{2}$ に、$Vr = \dfrac{71.7\times10^3}{\sqrt{3}}$ [V] ， $B = 0.8\times10^{-3}$ を代入する

$$\dot{I}r = j\frac{\dfrac{71.7\times10^3}{\sqrt{3}} \times 0.8\times10^{-3}}{2} = j\frac{\dfrac{71.7}{\sqrt{3}}\times0.8}{2} = j\frac{28.68}{\sqrt{3}}$$

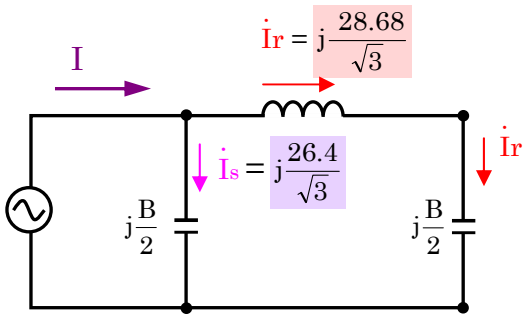
$$\dot{I}r = j\frac{28.68}{\sqrt{3}}$$

$\dot{I}s$ を求める （ $\boxed{I = V\cdot Y}$ を使って$\dot{I}s$を求める ）

$\dot{I}s = Vs\times j\dfrac{B}{2} = j\dfrac{VsB}{2}$ に、$Vs = \dfrac{66\times10^3}{\sqrt{3}}$[V] ， $B = 0.8\times10^{-3}$ を代入する

$$\dot{I}s = j\frac{\dfrac{66\times10^3}{\sqrt{3}} \times 0.8\times10^{-3}}{2} = j\frac{\dfrac{66}{\sqrt{3}}\times0.8}{2} = j\frac{26.4}{\sqrt{3}}$$

$\dot{I}s = j\dfrac{26.4}{\sqrt{3}}$



$$\dot{I} = \dot{I}r + \dot{I}s = j\frac{28.68}{\sqrt{3}} + j\frac{26.4}{\sqrt{3}} = j\frac{55.08}{\sqrt{3}} \fallingdotseq j31.8$$

$|I| = |31.8|$

1 線当たりの送電端電流の値は、31.8 A になります。

答　(b)—(4)