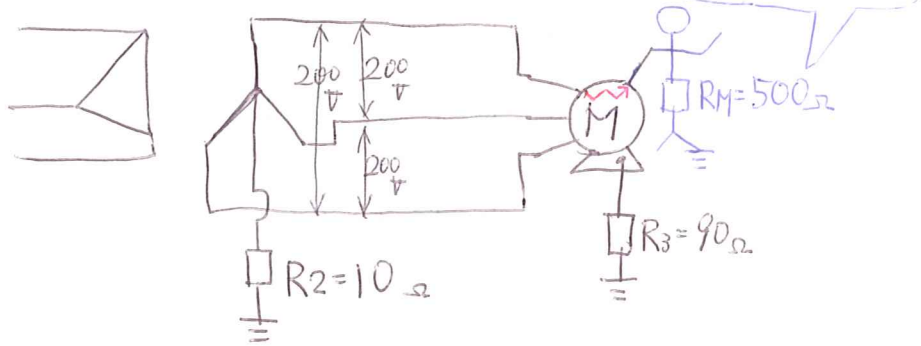


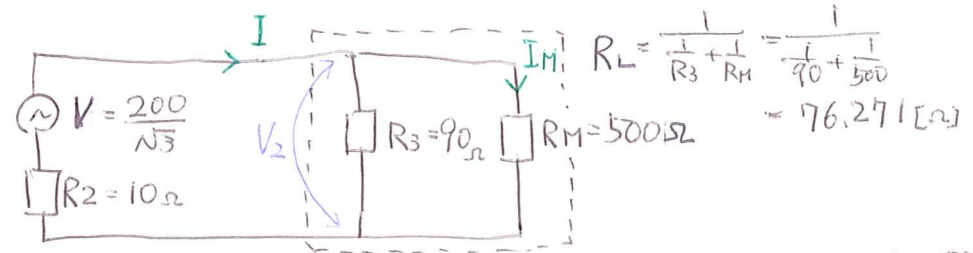
低圧電気 感電・火災事故における危険と保護

1. 200 V 電動機^カの露出た電部に接触した P.1
2. 単相 100 V 露出た電部に接触した .2
3. 配電 高压電路(柱上トランス)の1線地絡電流 .2
4. 単相 100 V 廻り込み感電 .3
5. 漏電遮断器^(4項続き)の重作 .4
6. 単相 3線式電路の機器に漏電した .5
7. 単相 3線式電路の中性線と遮断(開路)した .7
8. 送電線から誘起される電圧 .8

1. 三相200V^{事故}電動機^の露出充電部分に手が触れた時、
 人体に流れる電流値[mA]はいくらか？
 その人体への影響はどうか？



※ 事故内容: 1相の絶縁破壊により電源電圧が金属外箱に現われている。

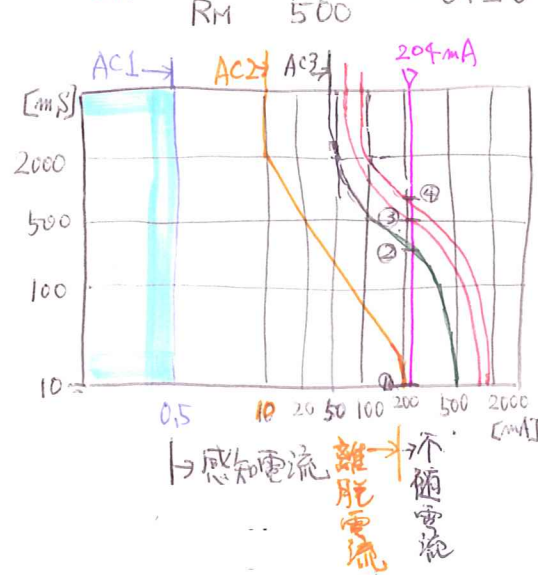


三相の1相コイルからの漏電電流値を求め、人体への影響を考える。(感電電流)

$$I = \frac{V}{R} = \frac{200/\sqrt{3}}{\frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_M}} + R_2} = \frac{200}{\sqrt{3}(76.271 + 10)} = \frac{2.318}{\sqrt{3}} = 1.338 \text{ [A]}$$

$$V_2 = IR_L = 1.338 \times 76.271 = 102.05 \text{ [V]}$$

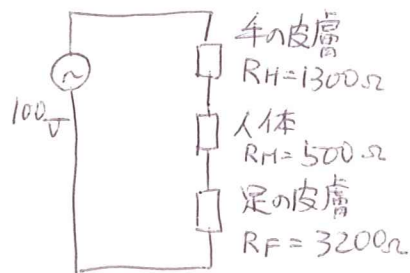
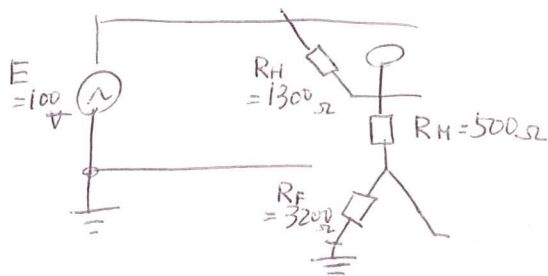
$$I_M = \frac{V_2}{R_M} = \frac{102.05}{500} = 0.204 \text{ [A]} \Rightarrow 204 \text{ [mA]}$$



人体に204mAが流れた時の影響

- ① 10ms以下で手を離れさせた
離脱電流
- ② 400ms以下は けいれん性の筋収縮、呼吸困難
- ③ 500ms以下は 心室細動の発症 50% 以下
- ④ 800ms以上は 50% 以上の発症で死亡する。

2. 単相100Vの露出充電部に手が触れたとき、人体に流れる電流値[mA]はいくらか？



$$I = \frac{E}{R} = \frac{E}{R_H + R_M + R_F}$$

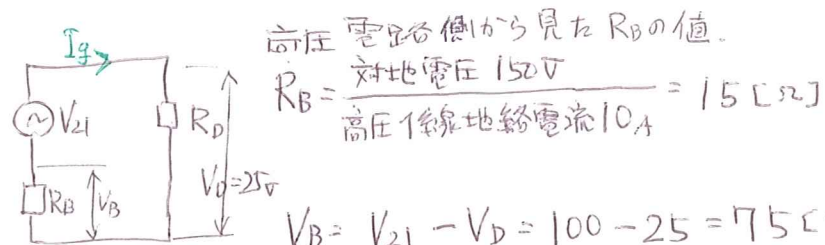
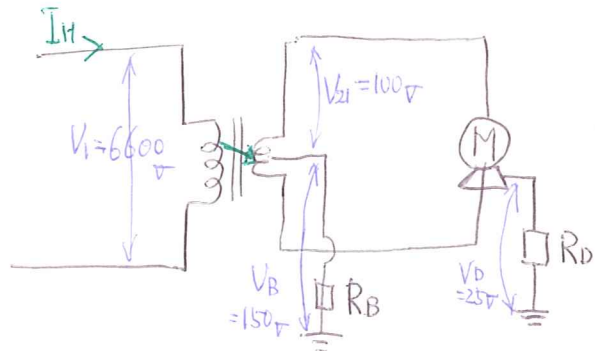
$$= \frac{100}{1300 + 500 + 3200} = \frac{100}{5000}$$

$$= 0.02 \Rightarrow 20 \text{ [mA]}$$

人体には20mAが流れ、500mAまでは充電部分から手を離すことができる。それ以後は筋収縮、呼吸困難となる。

3. 単相変圧器に施設された金属外箱の電動機がある。高圧回路の1線地絡電流 $I_H = 10 \text{ [A]}$ とし、低圧側中性点B種接地工事 V_B 値は、高圧混触時に対地電圧150[V]になる。

電動機の充電部が外箱と接触して完全地絡した時、外箱の対地電圧は25[V]である。変圧器側のB種接地阻抗 R_B の値はいくらか？



高圧電路側から見た R_B の値。

$$R_B = \frac{\text{対地電圧 } 150\text{V}}{\text{高圧1線地絡電流 } 10\text{A}} = 15 \text{ [}\Omega\text{]}$$

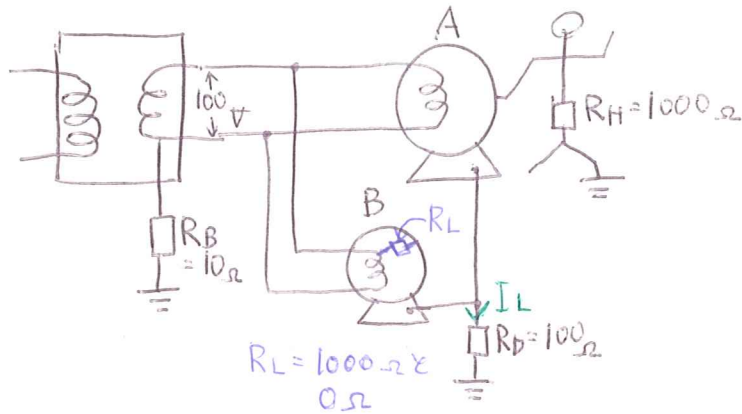
$$V_B = V_{21} - V_D = 100 - 25 = 75 \text{ [V]}$$

$$I_g = \frac{V_B}{R_B} = \frac{75}{15} = 5 \text{ [A]}$$

$$R_D = \frac{V_D}{I_g} = \frac{25}{5} = 5 \text{ [}\Omega\text{]}$$

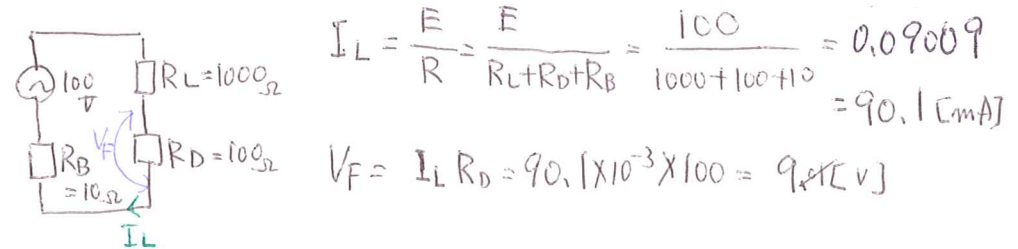
4. 変圧器の低圧側で B種接地 $R_B=10[\Omega]$ された低圧
 電路に電動機 A・Bが 並列接続され、共同接地
 系統で D種接地 $R_D=100[\Omega]$ されている。

(1) 電動機 B で 2つの場合の 絶縁抵抗値 R_L ($1000, 0\Omega$)
 における 対地電圧 V_F と 地絡電流 I_L を求めよ。

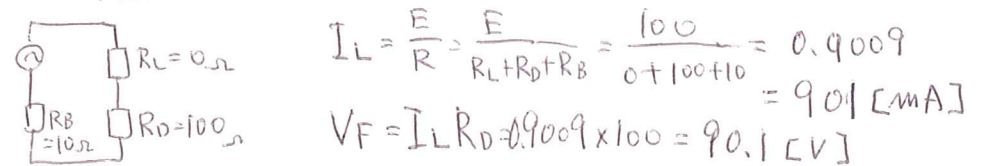


(2) 作業者が 電動機 A に触れた場合の 作業者に
 流れる 地絡電流 I_H 及び 全地絡電流 I_T を求めよ。

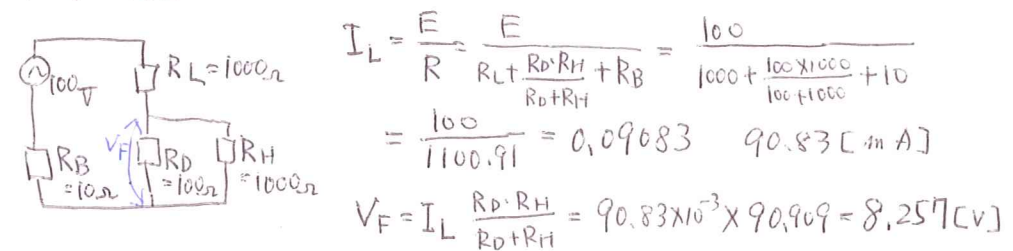
(1)-1 $R_L=1000\Omega$ の場合.



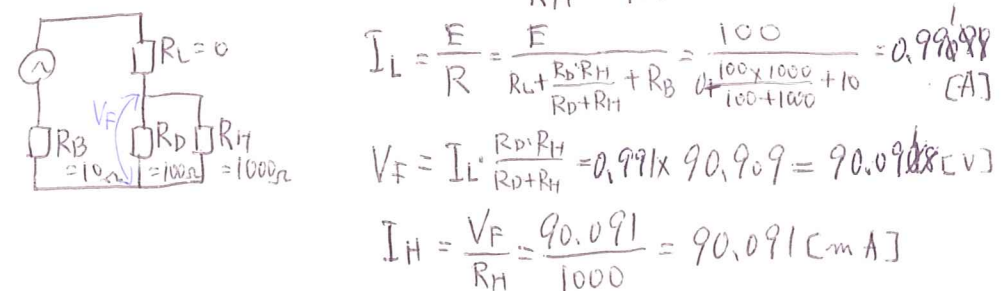
(1)-2 $R_L=0\Omega$ の場合



(2)-1 $R_L=1000\Omega$ の場合.

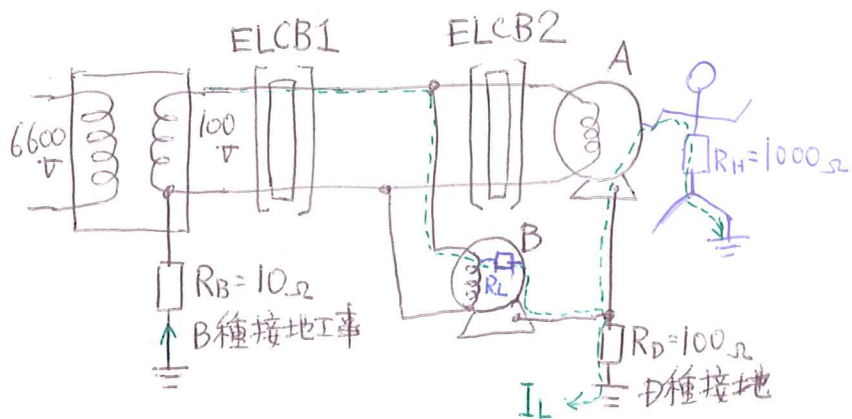


(2)-2 $R_L=0\Omega$ の場合 $I_H = \frac{V_F}{R_H} = \frac{8.257}{1000} = 8.257 \text{ [mA]}$



問4の結果から、

5. 低圧電路に漏電遮断器(ELCB 1, 2)が図の様に取付けられている時、作業者が電動機Aに接触した。ELCBの動作の有無及び作業者の感電に対する危険性を説明せよ。



漏電遮断器	感度電流	動作時間	用途	動作の有無	
				$R_L=1000\Omega$	$R_L=0\Omega$
ELCB1	500mA	0.2秒			
ELCB2	30mA	0.1秒			

人体反応

内1の図参照のこと。

$R_L=1000\Omega$ の場合、感電電流 $I_H=8.257\text{mA}$ で苦痛を伴うショックを受け、手を離すことができる。(離脱電流) AC-2

$R_L=0\Omega$ の場合、感電電流 $I_H=90.09\text{mA}$ で、筋肉の収縮や呼吸困難が起ち、接触部分から自力で離れることができない。(不随電流) AC-3
心室細動はたいてい一時的な心停止が起ち、500msを超すと心室細動可能性が5%以下となる。1秒を超すと50%以下、2秒を超すと50%以上となる。

ELCBの動作の有無

漏電遮断器	用途	$R_L=1000\Omega$	$R_L=0\Omega$
ELCB1	機器、電路の保護	$I_L=90.83\text{mA}$ で動作無し	$I_L=991\text{mA}$ で動作有り
ELCB2	感電(死)保護	ELCB2に漏電流は流れ動作無し	$I_H=90.09\text{mA}$ がELCB2に漏電電流は流れないので動作無し

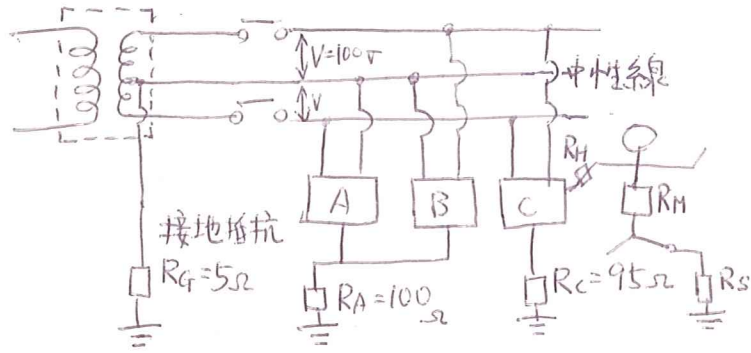
※ ELCB2の感度電流30mAと動作時間0.1秒について、

- 1) 保護電路 漏れ電流 I_g (低圧は最大供給電流の $\frac{1}{2000}$ を超えない) 以上で、
- 2) 感度電流が心室細動を発生せたりは発生確立5%以下になる値であること。変圧器容量と電路の最大供給電流 $I = \frac{5\text{kVA}}{100\text{V}} = 50\text{A}$

$$I_g = I \times \frac{1}{2000} = 50 \times \frac{1}{2000} = 0.025 = 25\text{mA}$$

(設備標準の22条より)

6. 単相3線式電路(交流100/200V)に電気機器A, B, Cが接続されている。



(1) 機器Cの絶縁抵抗が0Ωとなり金属ケースに漏電した。

① Cの故障電圧(大地と外箱に現われる電圧) V_c [V] 及び漏電電流 I_c [mA] を求めよ。

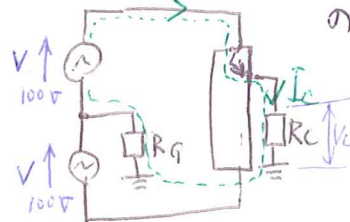
② 漏電したCに濡れた手が触れた時、人への電撃電流 I_M [mA] 及び接触電圧 V_M [V] を求めよ。

手の皮膚抵抗を R_H Ω, 人体を R_M Ω, 足と大地を R_S Ω

③ ②の電撃電流 I_M が2秒間流れたらどうなるか。

(1) ①

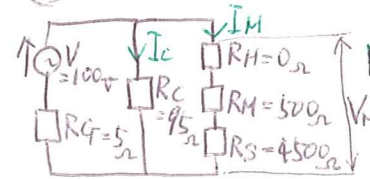
接地線により漏電電流が流れるのは電圧100Vの回路となる。



$$V_c = \frac{R_c}{R_G + R_c} V = \frac{95}{5 + 95} \times 100 = 95 \text{ [V]}$$

$$I_c = \frac{V_c}{R_c} = \frac{95}{95} = 1 \Rightarrow 1000 \text{ [mA]}$$

②



$$R_0 = R_G + \frac{R_c(R_H + R_M + R_S)}{R_c + R_H + R_M + R_S} = 5 + \frac{95(0 + 500 + 4500)}{95 + 0 + 500 + 4500}$$

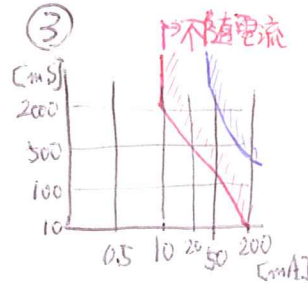
$$= 5 + \frac{475000}{5095} = 5 + 93.2287 = 98.2287 \text{ [Ω]}$$

$$I_G = I_c + I_M = \frac{V}{R_0} = \frac{100}{98.2287} = 1.018 \text{ [A]}$$

$$V_M = V - I_G R_G = 100 - 1.018 \times 5 = 94.91 \text{ [V]}$$

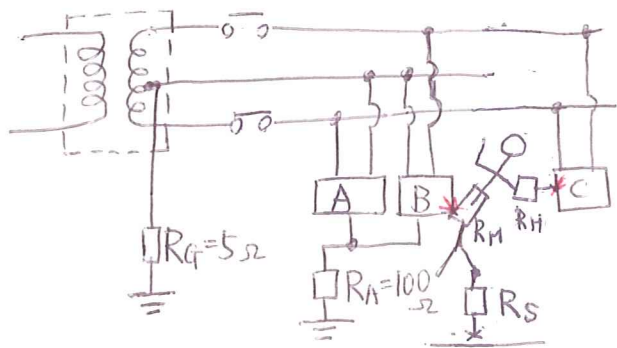
$$I_M = \frac{V_M}{R_H + R_M + R_S} = \frac{94.91}{0 + 500 + 4500} = \frac{94.91}{5000} = 0.01898 \text{ [A]} \Rightarrow 19 \text{ [mA]}$$

③



図より $I_M = 19 \text{ mA}$ が 0.5秒間流れると体が重たくなる不随電流域に入り2秒間でけいれん性の筋収縮や呼吸困難となる。しかし、心室細動には至らない。
AC-3Vベル

6. 続き.

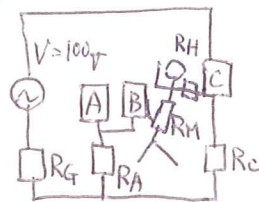


④ 作業者が絶縁シートに立ち、背中が機器Bに触れたまま片手が機器Cに触れたときの人体に流れる電流(電撃電流) I_M [mA] 及び人体に加わる接触電圧 [V] を求めよ。

手から背中は R_M [Ω], 手の接触抵抗は 0 [Ω]

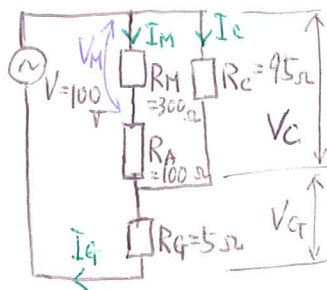
⑤ ④の電撃電流 I_M が 2秒間流れたらどうなるか。

④



$$I_G = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_G + \frac{R_C(R_M + R_A)}{R_C + R_M + R_A}} = \frac{100}{5 + \frac{95(300 + 100)}{95 + 300 + 100}}$$

$$= \frac{100}{5 + 76.767\%} = 1.2239\% \text{ [A]}$$



$$V_C = V - V_G = V - I_G R_G = 100 - 1.223 \times 5 = 93.885 \text{ [V]}$$

$$I_M = \frac{V_M}{R_M + R_A} = \frac{93.885}{300 + 100} = 0.2347\% \text{ [A]}$$

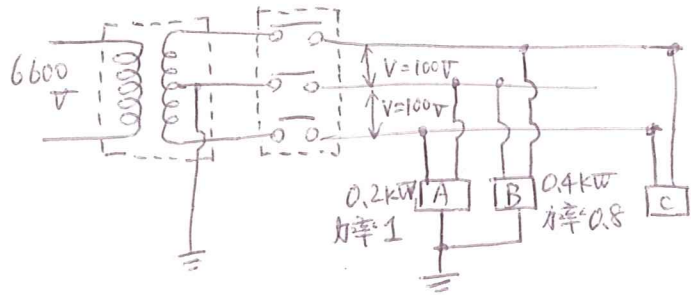
⇨ 234.7 [mA]

$$V_M = V_C \cdot \frac{R_M}{R_A + R_M} = 93.885 \times \frac{300}{100 + 300} = 70.41\% \text{ [V]}$$

⑤ 電撃電流 $I_M = 234.7 \text{ mA}$ が 2秒間流れたら 50%以上の確率で心室細動に至り死亡する危険性が有る

AC-4-3VIL

7. 単相3線式電路の遮断器において、中性線に接続された接点が開路する故障が起きた。



① 電気機器A・Bの容量が、0.2kWと0.4kWであるとき、それぞれのインピーダンス Z_A, Z_B を求めよ。
 力率は1と0.8である。

② 故障によってA及びBに加わる電路電圧[V]と、その電流[A]を求めよ。

③ 中性線の断路故障時のA及びBの消費電力量[kWh]を求めよ。

④ 単相3線式の中性線が断線した時の危険性を述べよ。

$$\textcircled{1} Z_A = \frac{V^2}{P_A} \cos\theta = \frac{100^2}{0.2 \times 10^3} \times 1 = \frac{10^4}{0.2 \times 10^3} = 50 \text{ } [\Omega]$$

$$Z_B = \frac{V^2}{P_B} \cos\theta = \frac{100^2}{0.4 \times 10^3} \times 0.8 = \frac{8 \times 10^3}{0.4 \times 10^3} = 20 \text{ } [\Omega] \quad \sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$$

$$\textcircled{2} \dot{Z}_B = 16 + j12 \text{ } [\Omega] \quad I = \frac{V'}{|\dot{Z}_A + \dot{Z}_B|} = \frac{200}{|50 + 16 + j12|} = \frac{200}{67.082} = 2.9814 \text{ } [A]$$

$$V_B = V' \frac{Z_B}{Z_A + Z_B} = 200 \times \frac{20}{|50 + 16 + j12|} = 59.6288 \text{ } [V]$$

$$V_A = V' \frac{Z_A}{Z_A + Z_B} = 200 \times \frac{50}{|50 + 16 + j12|} = 149.0712 \text{ } [V]$$

$$\textcircled{3} P_A' = \frac{V_A^2}{Z_A} \cos\theta = \frac{149.0712^2}{50} \times 1 = 444.4432 \text{ } [W]$$

$$P_B' = \frac{V_B^2}{Z_B} \cos\theta = \frac{59.6288^2}{20} \times 0.8 = 142.2224 \text{ } [W]$$

以下下記

④ 機器Aには^{実効値}100Vを超え^約149Vが印加され、消費電力量も444Whと^約2倍になり、過熱し絶縁が破壊し、漏電又は短絡が起きて機器損傷さらには過熱で火災に至る可能性が有り。
 保護装置が動作しなければ、

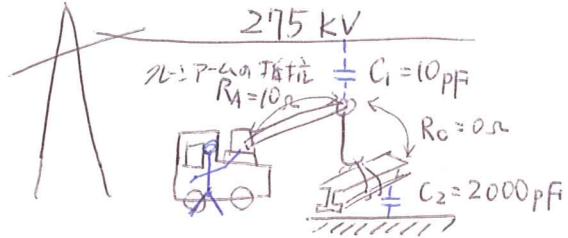
③追記. 出題は「kWh」であった。

$$P_A' \times 1 \text{ 時間} = 444.4 \times 1 = 444.4 \Rightarrow 0.444 \text{ } [kWh]$$

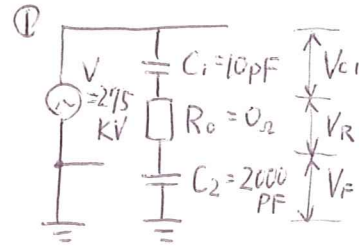
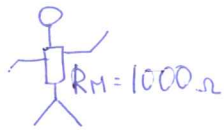
$$P_B' \times 1 \text{ 時間} = 142.2 \times 1 = 142.2 \Rightarrow 0.142 \text{ } [kWh]$$

8. クレーン車で鋼材を吊り上げた。

① 公称電圧275kVの送電線直下で地切りを行なった時、フックに誘起される電圧 V_F [V]を求めよ。



② この時、作業者が帯電したクレーンの操作レバーに触れた。人体に流れる電流値 I_M [mA]はいくらか。人体抵抗(手-足-大地間)を1000[ohm]とする。



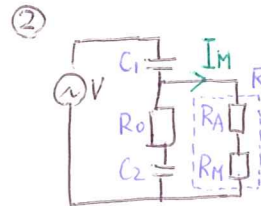
直列は比例分圧のため

$$V_F = V \cdot \frac{X_{C2}}{R_0 + X_{C1} + X_{C2}} = V \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{R_0 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}}$$

$$= \frac{V}{j\omega C_2 (R_0 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2})} = \frac{V}{j\omega C_2 R_0 + \frac{C_2}{C_1} + 1}$$

$R_0 = 0 \Omega$ のため

$$V_F = \frac{V}{\frac{C_2}{C_1} + 1} = \frac{275 \times 10^3}{\frac{2000 \times 10^{-12}}{10 \times 10^{-12}} + 1} = \frac{275 \times 10^3}{200 + 1} = 1.368 \times 10^3 \text{ [V]}$$



$R = R_A + R_M$ 電流を求めるので抵抗を合せる。

$$Z = X_{C1} + \frac{R(R_0 + X_{C2})}{R + (R_0 + X_{C2})} \quad R_0 = 0 \Omega \text{のため} \quad Z = X_{C1} + \frac{R X_{C2}}{R + X_{C2}}$$

$$I_M = \frac{V}{Z} \times \frac{X_{C2}}{R + X_{C2}} = \frac{V}{X_{C1} + \frac{R X_{C2}}{R + X_{C2}}} \times \frac{X_{C2}}{R + X_{C2}} = \frac{V}{\frac{X_{C1}(R + X_{C2}) + R X_{C2}}{R + X_{C2}}}$$

$$= \frac{V}{R} \times \frac{R + X_{C2}}{X_{C1}(R + X_{C2}) + R X_{C2}} = \frac{V}{R} \times \frac{1}{\frac{X_{C1}}{C_1} + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + \frac{R}{X_{C2}}}$$

$$\frac{C_2}{C_1} + 1 \text{ を } C_1 \text{ に置き換えて } I_M = \frac{V}{R} \cdot \frac{j\omega C_1 R}{j\omega C_1 R C_2 + 1}$$

$$I_M = V \cdot \frac{j\omega C_1}{j\omega C_1 R C_2 + 1} = V \cdot \frac{j\omega C_1 (-j\omega C_1 R C_2 + 1)}{(j\omega C_1 R C_2 + 1)(-j\omega C_1 R C_2 + 1)} = V \cdot \frac{\omega^2 C_1^2 R C_2 + j\omega C_1}{\omega^2 C_1^2 R^2 C_2^2 + 1}$$

$$\frac{C_2}{C_1} + 1 = \frac{2000 \times 10^{-12}}{10 \times 10^{-12}} + 1 = 200 + 1 = 201 \quad R = R_A + R_M = 10 + 1000 = 1010 \Omega$$

$$I_M = V \cdot \left| \frac{j\omega C_1}{j\omega C_1 R C_2 + 1} \right| = V \cdot \frac{\sqrt{\omega^2 C_1^2}}{\sqrt{(\omega C_1 R C_2)^2 + 1}} = V \cdot \frac{\omega C_1}{\sqrt{\omega^2 C_1^2 R^2 C_2^2 + 1}}$$

$$= 275 \times 10^3 \times \frac{2 \times 3.1416 \times 50 \times 10 \times 10^{-12}}{\sqrt{(2 \times 3.1416 \times 50 \times 10 \times 10^{-12} \times 1010 \times 201)^2 + 1}} = \frac{275 \times 10^3 \times 3141.6 \times 10^{-12}}{\sqrt{4067.58 \times 10^{-12} + 1}}$$

$$= \frac{863.94 \times 10^3}{1} = 863.94 \text{ [mA]}$$

$I_M = V \omega C_1$ と仮定