

【問題】

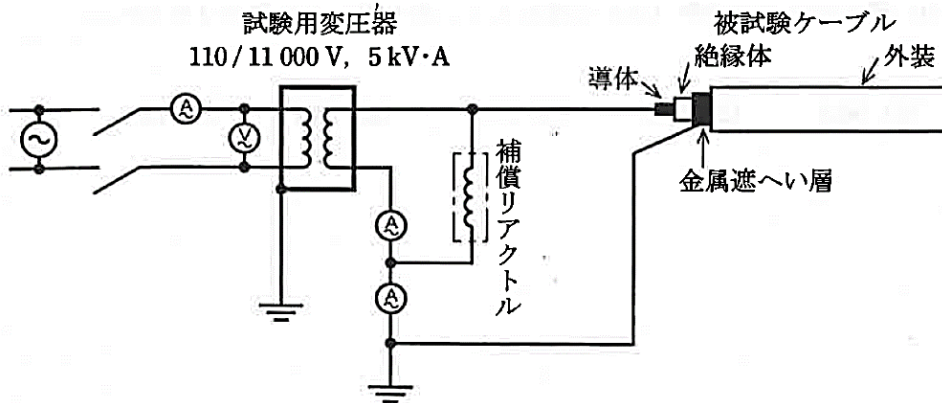
「電気設備技術基準の解釈」に基づいて、最大使用電圧が6.9kVの電路に接続する、導体断面積100mm²、長さ800mの高圧CVケーブル（単心）の絶縁耐力試験を交流で実施する場合について、次の(a)及び(b)に答えよ。

ただし、周波数は50Hz、ケーブルの対地静電容量は、1km当たり0.45μFとする。

(a) ケーブルに試験電圧を印加した場合の充電電流の値として、最も近いのは次のうちのどれか。

(b) 図のような試験回路でケーブルの絶縁耐力試験を行う場合、試験用変圧器の容量を5kV・Aとしたとき、補償リアクトルの必要最小設置台数として、正しいのは次のうちのどれか。

ただし、試験電圧を印加したとき、1台の補償リアクトルに流すことができる電流（電流容量）は270mAとする。



（出典：2007年度第3種電気主任技術者試験 法規問11）

解釈第15条（高圧又は特別高圧の電路の絶縁性能）からの出題である。

【解答】

(a) ケーブルの充電電流 I_c [A]

1. 最大使用電圧 V_m [V]

$$V_m = \text{公称電圧} \times \frac{1.15}{1.1} = 6600 \times \frac{1.15}{1.1} = 6900[\text{V}]$$

2. 試験電圧 V_t [V]

解釈第15条より、最大使用電圧の1.5倍印加すればよい。よって、試験電圧 V_t [V]は次式で示せる。

$$V_t = V_m \times 1.5 = 6900 \times 1.5 = 10350[\text{V}]$$

3. ケーブルへの充電電流 I_c [A]

題意より、ケーブルへの静電容量 C [μF]が、 $C = 0.45[\mu\text{F}/\text{km}] \times 0.8[\text{km}] = 0.36[\mu\text{F}]$ なので、周波数を f [Hz]として図1の等価回路より充電

電流 I_c [A]は次式で示せる。

$$\begin{aligned} I_c &= 2\pi f \times C \times V_t \\ &= 2\pi \times 50 \times 0.36 \times 10^{-6} \times 10350 \\ &\approx 1.17[\text{A}] \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

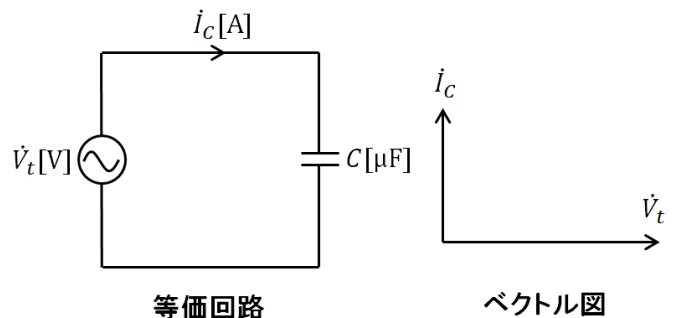


図1

(b) 試験電圧を印加した場合に、試験用変圧器5[kV・A]からケーブルに流すことができる試験電流(上限電流) I [A]は、次式から求めることができる。

$$I = \frac{\text{変圧器容量}}{\text{試験電圧}} = \frac{5000}{10350} \cong 0.483[\text{A}]$$

ここで、試験電流に対し(a)で求めた充電電流の大きさが上回っていることから、試験用変圧器の容量が足りず、このままでは絶縁耐力試験を行うことができない。

補償リアクトルを問題図のように回路に並列に接続した場合の等価回路を図2に示す。補償リアクトルに流れる電流 I_L [A]は、試験電圧 V_t [V]に対して90°遅れの電流となるので、ケーブルの充電電流 I_C [A](90°進みの電流)を相殺することができる。

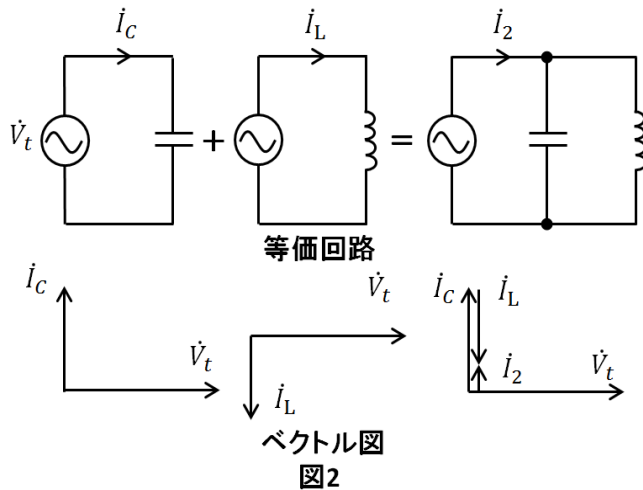


図2

補償リアクトルを1台のみ設置した場合の試験電流 I_2 [A]は、図2のベクトル図より次式で示せる。

$$I_2 = I_C - I_L = 1.17 - 0.27 = 0.9[\text{A}]$$

ゆえに補償リアクトル1台では、試験電流 I_2 [A]が試験用変圧器の上限電流0.483[A]を上回ることから絶縁耐力試験を行うことができない。

充電電流 I_C [A]とリアクトル電流 I_L [A]のベクトル和が上限電流0.483[A]を下回らなければ試験できないので、補償リアクトルにより補償が必要な電流=充電電流 I_C - 試験用変圧器の上限

電流 I となることから、以下の式で示せる。

$$1.17 - 0.483 = 0.687[\text{A}]$$

1台の補償リアクトルに流すことのできる電流は題意より270[mA]であるから、補償リアクトルの必要最小設置台数は、

$$\frac{0.687}{0.270} \cong 2.54 \rightarrow 3 \text{ 台}$$

よって補償リアクトルを3台必要となる。(答)

<ポイント>

1. 実際の現場では、施工業者(電気工事会社など)から試験業者がケーブルの絶縁試験の依頼を受けて、事前に確認することは以下2点である。

- ・ケーブルサイズ[mm²]
- ・ケーブルこう長[m]

〔例〕試験業者が所有する試験器具と試験用変圧器の容量を2[kV・A]とする。

試験電圧が10350[V]なので、試験電流 I_C [A]の上限は、 $I_C = \frac{2000}{10350} \cong 0.193[\text{A}]$ となる。

CVT38mm²のケーブルを3線一括して絶縁耐力試験をする場合、CVT38mm²の3線一括の充電電流が1mあたり2.04[mA]なので試験用変圧器の容量では、 $\frac{0.193}{2.04 \times 10^{-3}} \cong 94.6[\text{m}]$ までしか理論上絶縁耐力試験を行うことができない。

ケーブルが94.6[m]を超えた場合、3線一括ではなく1線ずつ絶縁耐力試験を行う方法もあるが、1回あたり試験時間が10分間かかることから3線では合計30分必要となり、作業時間の制約から現場で行われることはほとんどない。

ケーブルの絶縁耐力試験を行う場合は、あらかじめ想定したケーブルの充電電流から本問のような補償リアクトルで充電電流を補償する方法を検討する必要がある。

2. ベクトル図については、本連載の「交流回路」(6月1日付掲載)において述べたとおり、電圧と電流の位相関係を明確に表現できることから、交流回路を解くうえで非常に重要となる。本問においても、図2の等価回路からキルヒ

ホッフの電流則を立式することでベクトル図を描くことができ、充電電流と補償リアクトルに流れる電流との位相関係が明確になることで、絶縁耐力試験における補償リアクトルの意味合いがより明確になる。

本問題の類題が2016年度、法規問12に出題されたため、前問との類似点、相違点に留意してご理解いただきたい。

問12 「電気設備技術基準の解釈」に基づいて、使用電圧6600V、周波数50Hzの電路に接続する高圧ケーブルの交流絶縁耐力試験を実施する。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

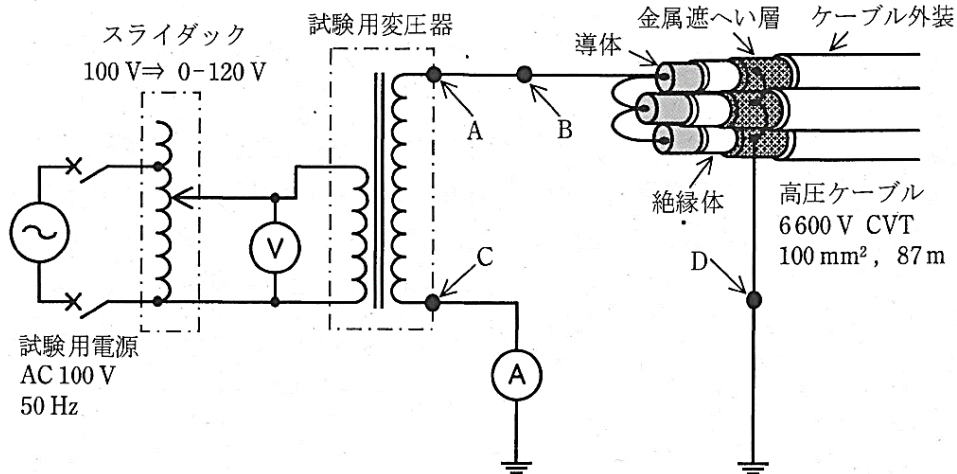
ただし、試験回路は図のとおりとする。高圧ケーブルは3線一括で試験電圧を印加するものとし、各試験機器の損失は無視する。また、被試験体の高圧ケーブルと試験用変圧器の仕様は次のとおりとする。

【高圧ケーブルの仕様】

ケーブルの種類：6600Vトリプレックス形架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル (CVT)
 公称断面積：100mm²、ケーブルの亘長：87m
 1線の対地静電容量：0.45μF/km

【試験用変圧器の仕様】

定格入力電圧：AC 0-120V、定格出力電圧：AC 0-12000V
 入力電源周波数：50Hz



(a) この交流絶縁耐力試験に必要な皮相電力(以下、試験容量という。)の値[kV・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) 1.4 (2) 3.0 (3) 4.0 (4) 4.8 (5) 7.0

(b) 上記(a)の計算の結果、試験容量が使用する試験用変圧器の容量よりも大きいことがわかった。そこで、この試験回路に高圧補償リアクトルを接続し、試験容量を試験用変圧器の容量より小さくすることができた。

このとき、同リアクトルの接続位置（図中のA～Dのうちの2点間）と、試験用変圧器の容量の値[kV・A]の組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、接続する高圧補償リアクトルの仕様は次のとおりとし、接続する台数は1台とする。また、同リアクトルによる損失は無視し、A－B間に同リアクトルを接続する場合は、図中のA－B間の電線を取り除くものとする。

【高圧補償リアクトルの仕様】

定格容量：3.5kvar、定格周波数：50Hz、定格電圧：12,000V

電流：292mA（12000V 50Hz印加時）

高圧補償リアクトル接続位置	試験用変圧器の容量[kV・A]
(1) A-B間	1
(2) A-C間	1
(3) C-D間	2
(4) A-C間	2
(5) A-B間	3

（出典：2016年度 第3種電気主任技術者試験 問12）

本問は、解釈第15条（高圧又は特別高圧の電路の絶縁性能）からの出題である。

【解答】

(a) 交流絶縁耐力試験に必要な皮相電力（以下試験容量）の値[kV・A]

1. 試験電圧 V_t [V]

解釈第15条より最大使用電圧の1.5倍を印加すればよい。よって、

$$V_t = 6900 \times 1.5 = 10350[V]$$

2. ケーブルの充電電流 I_C [A]

1線の対地静電容量を C [μ F/km]とすると、題意より3線一括で試験電圧を印加するので、

$$\begin{aligned} I_C &= 2\pi f 3CV_t \\ &= 2\pi \times 50 \times 3 \times 0.45 \times 10^{-6} \\ &\quad \times 87 \times 10^{-3} \times 10350 \end{aligned}$$

$$\cong 0.382[A]$$

3. 試験容量 S [kV・A]

$$\begin{aligned} S &= V_t \times I_C \\ &= 10350 \times 0.382 \\ &\cong 3954[V \cdot A] \cong 3.95[kV \cdot A] \end{aligned}$$

したがって、答えは(3)となる。

(b) 試験用変圧器の容量の値[kV・A]

1. 試験電流 I [A]

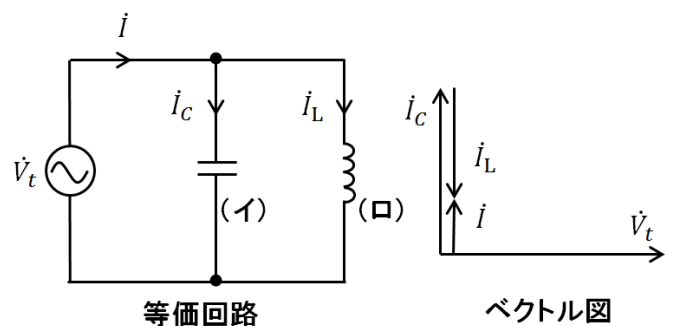


図3

- 図3(イ)：被試験ケーブル
- 図3(ロ)：補償リアクトル
- I_C ：ケーブルの充電電流[A]
- I_L ：補償リアクトル電流[A]

I_L は題意より

$$12000 : 10350 = 0.292 : I_L$$

$$I_L = \frac{10350 \times 0.292}{12000} \cong 0.252[A]$$

よって、試験電流 I [A]は

$$I = I_C - I_L = 0.382 - 0.252 = 0.13[A]$$

2. 試験容量 S' [kV・A]

$$\begin{aligned} S' &= V_t \times I \\ &= 10350 \times 0.13 \\ &= 1346[\text{VA}] \approx 1.35[\text{kV} \cdot \text{A}] \end{aligned}$$

よって、試験用変圧器の容量としては、2[kV・A] また補償リアクトルの接続位置は、A-C間である。したがって答えは(4)となる。

<ポイント>

- 2007年度の問題は、単心ケーブルの絶縁耐力試験が出題されたが、本年度は3線一括で試験電圧を印加する問題が出題された。
1線あたりの対地静電容量の値が与えられているので、3線一括した時、静電容量が3倍になるということを理解しているかどうか重要となる。
- 絶縁耐力試験の問題に限っても、2007年度、2012年度、2016年度と類似した問題が出題されている。
基本的な事柄を繰り返し深く学習することで応用力も身につけ、電験3種合格へとつながる。

<参考事例>

ある工場で、構内ケーブルの劣化に伴うケーブル張替えを行い、工事後に絶縁耐力試験を実施した。ところが当該ケーブルの巨長が約200mと長いため、持参した試験器ではケーブルの充電電流が試験器の上限電流を上回り、試験を行うことができなかった。そこで一旦試験を中断し、試験業者が補償リアクトルを取りに行き、ようやく試験を行うことができた。

当該事例の主任技術者と試験業者が、本紙「奮闘講座」掲載のポイントにも記載しているケーブルサイズ・ケーブル巨長を予め確認せず試験を行おうとしたのか、本問のような理論を理解しておらず、何となく試験を行い、状態によってリアクトルを取りに行けば良いという考えだったのか不明であるが、どちらにしても理論の理解が不十分だと考えられる。

電気主任技術者においては、理論と実務経験を兼ねそなえることにより、よりの確で安全な業務遂行が可能となる。