

(3) 変圧器の%Z(パーセントインピーダンス)と試験法

重要事項(これを理解します)

- 1, の%Z定義と公式について理解します。
- 2, 短絡電流や短絡容量の計算法を学びます。
- 3, 変圧器の試験法について学びます。

【例題(よく出る問題)】:

三相短絡容量[VA]をパーセントインピーダンス%Z[%]を用いて表した式は。

ただし、V=基準線間電圧[V]、I=基準電流[A]とする。

$$\begin{array}{ll} \text{イ} \cdot \frac{VI}{\%Z} \times 100 & \text{ロ} \cdot \frac{\sqrt{3}VI}{\%Z} \times 100 \\ \text{ハ} \cdot \frac{2VI}{\%Z} \times 100 & \text{ニ} \cdot \frac{3VI}{\%Z} \times 100 \end{array}$$

【例題(よく出る問題)の解答】ロ

【例題(よく出る問題)の模範解答】

まず、%Z(パーセントインピーダンス)は、次のように表されます。

$$\%Z = \frac{Z \cdot I}{E_n} \times 100 \quad [\%]$$

ここで、Z[]は、考えている回路のインピーダンス、I[A]は、基準電流、 E_n [V]は、基準相電圧です。

この式をZ[]について解くと、

$$Z = \frac{\%Z \cdot E_n}{100I} \quad [] \text{-----}(1)$$

となります。

さて、法で解いた場合の短絡電流 I_s [A]は、

$$I_s = \frac{E_n}{Z} \quad [A] \text{-----}(2)$$

です。(法とは、オームの法則を使って解く普通の解き方です)

さて、三相短絡容量 P_s [VA]は、

$$P_s = 3E_n I_s \quad [VA]$$

となります。

この式に、(2)式を代入すると

$$P_s = 3E_n I_s = 3E_n \frac{E_n}{Z} = \frac{3E_n^2}{Z} \quad [\text{VA}]$$

さらに、(1)式を代入すると

$$P_s = \frac{3E_n^2}{Z} = \frac{3E_n^2}{\%Z \cdot E_n} = \frac{3E_n \cdot I}{\%Z} \times 100 \quad [\text{VA}]$$

また、基準線間電圧 V [V]と基準相電圧 E_n [V]は、

$$V = \sqrt{3}E_n \quad [\text{V}]$$

ですから、三相短絡容量 P_s [VA]は、

$$P_s = \frac{3E_n \cdot I}{\%Z} \times 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot (\sqrt{3}E_n) \cdot I}{\%Z} \times 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I}{\%Z} \times 100 \quad [\text{VA}]$$

となります。

ゆえに、選択肢は、口となります。

【解法の準備】

例題を解くために次のことを学びます。

1 , パーセントインピーダンス $\%Z$ [%]とは

パーセントインピーダンス $\%Z$ [%]は、次式で表されます。

$$\%Z = \frac{Z \cdot I}{E_n} \times 100 \quad [\%] \quad (\text{重要公式})$$

ここで、 Z []は、考えている回路のインピーダンス、 I [A]は、基準電流、 E_n [V]は、基準相電圧です。

この式の意味は、基準電流 I [A]が流れたときに基準相電圧 E_n [V]に対して、何 [%]電圧降下するかを計算したものです。

ここで注意しなければならないのは、相電圧 E_n [V]と一相当たりのインピーダンス Z []に対して計算していることです。多くの場合、相電圧 E_n [V]と線間電圧 V [V]を混同しても運良く正解を導けますが、時として、正解にたどり着けないこともあります。

念のため、基準線間電圧 V [V]と基準相電圧 E_n [V]の関係は、

$$V = \sqrt{3}E_n \quad [V]$$

であることを覚えておきましょう。

2 , 短絡電流とは

短絡点での三相短絡電流の値 $I_s[A]$ は

$$I_s = \frac{100P_n}{\%Z \cdot \sqrt{3}V} \quad [A] \quad (\text{重要公式})$$

となります。

ここで、 $V[V]$ は、基準線間電圧です。

重要公式として、覚えましょう。

3 , 短絡容量とは

三相短絡容量 $P_s[VA]$ は、

$$P_s = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I}{\%Z} \times 100 \quad [VA]$$

となります。

ここで、 $V[V]$ は、基準線間電圧、 $I[A]$ は、基準電流です。

この式も重要公式として、覚えましょう。

【確認問題 1】

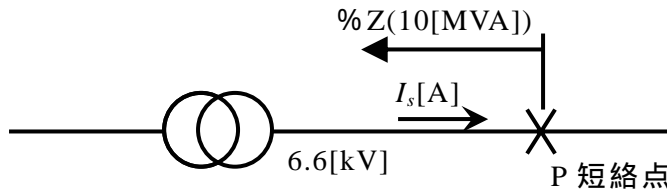
6.6[kV]配電線路で短絡点から電源側を見たパーセントインピーダンスが $Z[\%]$ (基準容量 10[MVA])であった。短絡点での三相短絡電流の値[kA]は。

$$\text{イ} \cdot \frac{1000}{6.6\sqrt{3}Z} \quad \text{ロ} \cdot \frac{1000}{6.6Z} \quad \text{ハ} \cdot \frac{10\sqrt{3}Z}{6.6} \quad \text{ニ} \cdot \frac{10Z}{6.6}$$

【確認問題 1 の回答】イ

【確認問題 1 の解説】

問題を図で表すと、下図のようになります。



まず、%Z (パーセントインピーダンス) は、次のように表されました。

$$\%Z = \frac{Z \cdot I}{E_n} \times 100 \quad [\%]$$

ここで、Z[]は、考えている回路のインピーダンス、I[A]は、基準電流、 $E_n[V]$ は、基準相電圧でした。

この式を Z[]について解くと、

$$Z = \frac{\%Z \cdot E_n}{100I} \quad [] \text{-----(1)}$$

となりました。

さて、法で解いた場合の短絡電流 $I_s[A]$ は、

$$I_s = \frac{E_n}{Z} \quad [A] \text{-----(2)}$$

でした。(法とは、オームの法則を使って解く普通の解き方です)

(2)式に(1)式を代入すると

$$I_s = \frac{E_n}{Z} = \frac{E_n}{\frac{\%Z \cdot E_n}{100I}} = \frac{100I \cdot E_n}{\%Z \cdot E_n} \quad [A] \text{-----(3)}$$

また、基準線間電圧 $V[V]$ と基準相電圧 $E_n[V]$ は、

$$V = \sqrt{3}E_n \quad [V]$$

でしたから、(3)式の分母分子に $\sqrt{3}$ を掛けると

$$I_s = \frac{100I \cdot E_n}{\%Z \cdot E_n} = \frac{100I \cdot \sqrt{3}E_n}{\%Z \cdot \sqrt{3}E_n} = \frac{100I \cdot V}{\%Z \cdot V} \quad [A] \text{-----(4)}$$

となります。

さらに、(4)式の分母分子に $\sqrt{3}$ を掛けると

$$I_s = \frac{100I \cdot V}{\%Z \cdot V} = \frac{100I \cdot \sqrt{3}V}{\%Z \cdot \sqrt{3}V} = \frac{100P_n}{\%Z \cdot \sqrt{3}V} \quad [A] \text{-----}(5)$$

となります。

(5)式に各値を代入すると、短絡点での三相短絡電流の値[kA]は

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{100P_n}{\%Z \cdot \sqrt{3}V} = \frac{100 \times 10 \times 10^6}{\%Z \cdot \sqrt{3} \times 6.6 \times 10^3} = \frac{10^6}{6.6\sqrt{3}\%Z} \quad [A] \\ &= \frac{1000}{6.6\sqrt{3}\%Z} \quad [kA] \end{aligned}$$

となります。

ゆえに、選択肢は、イとなります。

【確認問題 2】

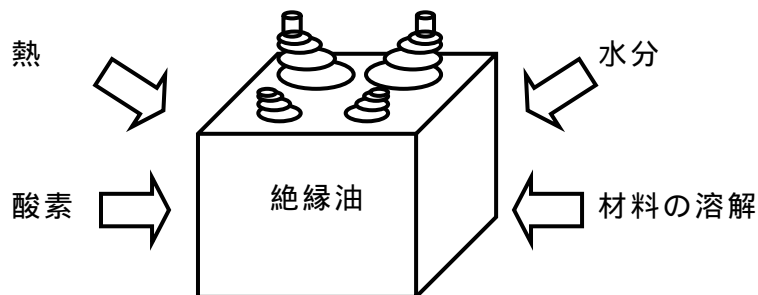
変圧器などの絶縁油の劣化診断に直接関係ない試験(測定)は。

- イ．絶縁破壊電圧試験
- ロ．酸価測定(酸価度試験)
- ハ．真空度測定
- ニ．外観試験(にごり・ごみ等)

【確認問題 2 の回答】ハ

【確認問題 2 の解説】

電力系統には、変圧器など絶縁油を内蔵した電気機器が多く存在します。



そして、絶縁油は油入電気機器の絶縁と冷却を受け持つ重要な材料です。しかしながら熱あるいは酸素などの影響により長年月の使用の間にその性能は徐々に低下します。

それらの絶縁油の性能劣化は、電力の安定供給に大きく影響します。

油入電気機器の運転を継続する上で絶縁油の電氣的、物理・化学的性状の測定は欠かすことはできません。絶縁油の劣化の程度を評価するため、JIS 規格に従った絶縁油特性試験のほか各種試験により信頼性の高い絶縁油の特性評価を行います。

評価試験としては、次の物があります。

1) 絶縁油特性試験 (JIS C 2101 準拠)

密度試験

動粘度試験

引火点試験

全酸価試験

絶縁破壊電圧試験

体積抵抗率試験

2) 水分量試験

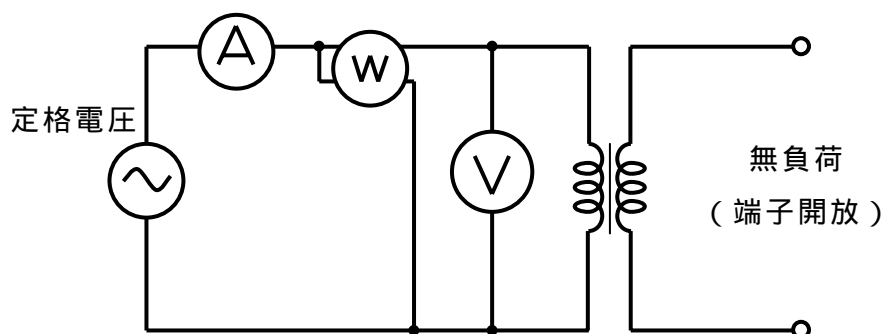
3) その他、 $\tan \delta$ ・色相・界面張力などの測定。

4. 無負荷試験とは

無負荷試験とは、変圧器の無負荷損を測定するのが、主な目的です。

無負荷損は、前節で説明したように、無負荷損 ヒステリシス損 + うず電流損です。

測定回路は、下図のようで、二次側に定格電圧を印加して、一次側を開放して、入力電力を測定します。

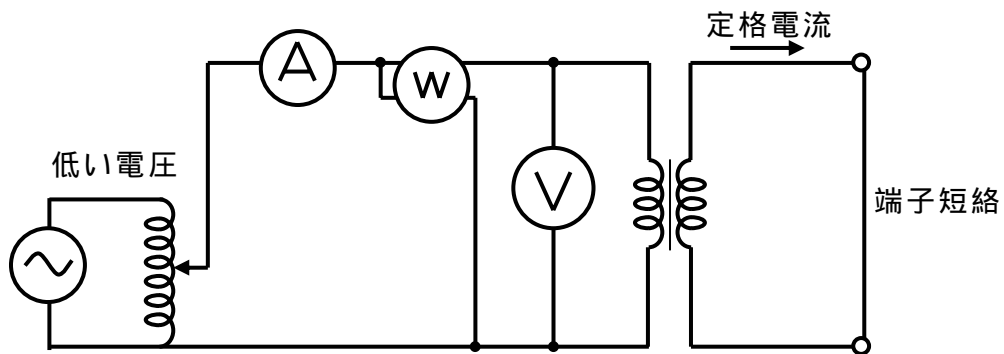


5. 短絡試験とは

短絡試験とは、負荷電流を測定するのが、主な目的です。

回路図は、下図のようになります。

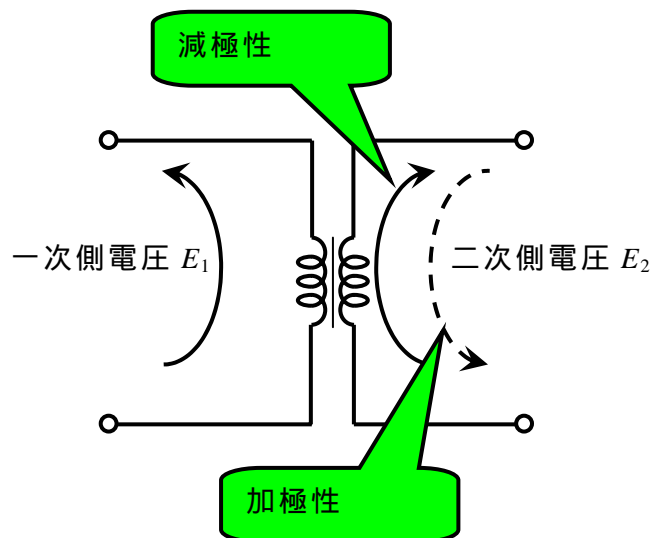
まず、低圧側の端子を短絡し、高圧側（一次側）に低い電圧を加えます。そして、低圧側(二次側)に定格電流が流れるまで、印加電圧を徐々に昇圧していきます。そして、低圧側(二次側)に定格電流が流れたときの高圧側（一次側）電力が負荷損（=銅損）です。この負荷損をインピーダンスワットとも言います。そして、低圧側(二次側)に定格電流が流れたときの高圧側（一次側）電圧をインピーダンス電圧と言います。



6. 極性試験とは

極性試験とは、変圧器の極性を調べる試験です。

では、変圧器の極性とは何でしょうか。それを説明したのが、下図です。

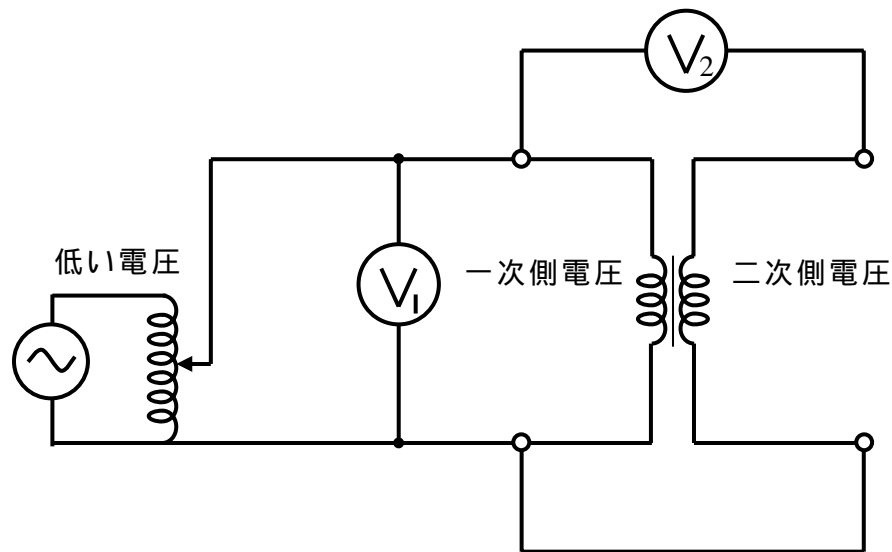


すなわち、一次側の電圧と二次側の電圧の高くなる方向が、同じ変圧器を減極性、逆方向の変圧器を加極性と言います。

試験の配線図は、下図となります。

図において、電圧計 V_1 と V_2 の読みが、 $V_1 > V_2$ の時を減極性といい、 $V_1 < V_2$ の時を加極性と言います。

なお、日本での標準は、減極性です。



キーワード

%Z、短絡電流、短絡容量、基準電流、基準相電圧、基準線間電圧、基準線間電圧と基準相電圧の関係、絶縁破壊電圧試験、酸価測定(酸価度試験)、外観試験(にごり・ごみ等)、無負荷試験、短絡試験、極性試験

これがポイント

- コツ1、%Zの定義式を覚えること。
- コツ2、短絡電流の計算式を覚えること。
- コツ3、短絡容量の計算式を思えること。
- コツ4、変圧器や絶縁油の試験法を覚えること。

「電気と資格の広場」

<http://cgi.din.or.jp/~goukaku/>

復習

- 1 , %Z の定義式は、何も見ずに書くことができますか。
- 2 , 絶縁油の試験法を覚えましたか。
- 3 , 変圧器の試験法を説明できますか。

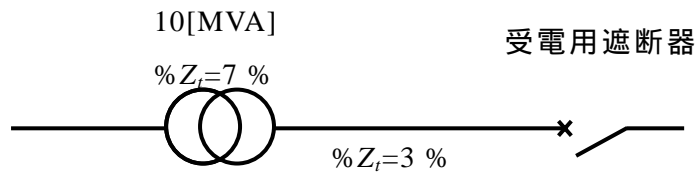
アドバイス

%Z を使った計算は、この本にあるように、理屈を考えて計算するか、公式を丸暗記するか、自分にあった方法を選んでください。

練習問題

【問 1】

出力 10[MVA]、パーセントインピーダンス 7[%]の変圧器から合成インピーダンス 3[%](10[MVA]基準)の線路で供給される需要家の受電用遮断器の遮断容量の最小値[MVA]は。



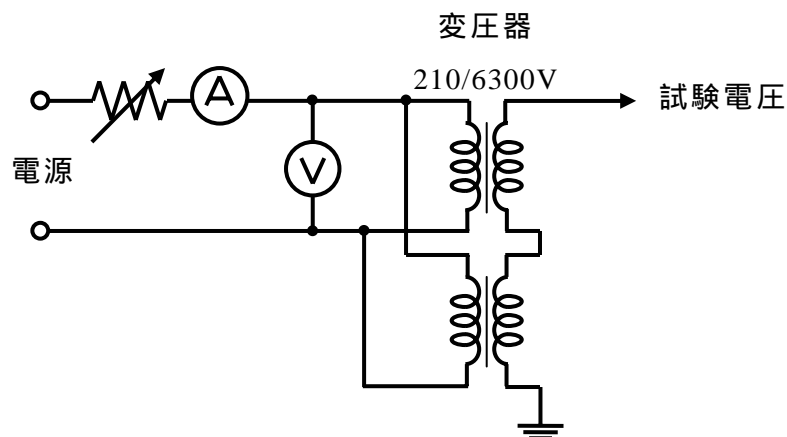
- イ . 70 ロ . 100 ハ . 210 ニ . 300

ヒント %Z といっても普通のインピーダンスと考えて直列接続として、計算してください。

【回答】 : ロ

【問 2】

6300/210[V]の単相変圧器 2 台を図のように接続し、最大使用電圧 6900[V]の電路の絶縁耐力試験を行う場合、試験電圧を発生させるために変圧器の低圧側に加える電圧[V]は。



- イ . 110.0 ロ . 115.0 ハ . 165.5 ニ . 172.5

ヒント 変圧器の二次側で電圧が、加算されます。

【回答】 : ニ

【問 3】

三相短絡容量[VA]をパーセントインピーダンス%Z[%]を用いて表した式は。

ただし、V=基準線間電圧[V]、I=基準電流[A]とする。

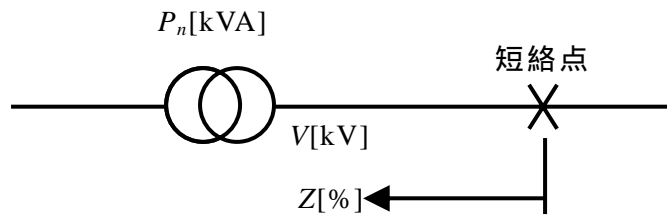
$$\text{イ} \cdot \frac{VI}{\%Z} \times 100 \quad \text{ロ} \cdot \frac{\sqrt{3}VI}{\%Z} \times 100 \quad \text{ハ} \cdot \frac{2VI}{\%Z} \times 100 \quad \text{ニ} \cdot \frac{3VI}{\%Z} \times 100$$

ヒント 公式 $\frac{\sqrt{3}VI}{\%Z} \times 100$ を覚えてれば、答えられます。

【回答】：ロ

【問 4】

線間電圧 V[kV]、電源容量 P_n [kVA]、短絡点より電源側を見たパーセントインピーダンスが、 P_n [kVA]を基準として Z[%]であるとき、短絡点における三相短絡電流[A]を示す式は。



$$\text{イ} \cdot \frac{100P_n}{\sqrt{3}VZ} \quad \text{ロ} \cdot \frac{100P_n}{VZ} \quad \text{ハ} \cdot \frac{100\sqrt{3}P_n}{VZ} \quad \text{ニ} \cdot \frac{300P_n}{VZ}$$

ヒント この問題の解答 $\frac{100P_n}{\sqrt{3}VZ}$ も公式として覚えての方がよいでしょう。

【回答】：イ

【問 5】

変圧器の絶縁油の劣化診断に直接関係のない試験は。

- イ．温度上昇試験
- ロ．外観試験（にがり・ごみ等）
- ハ．絶縁破壊電圧試験
- ニ．酸価度(酸価測定)試験

ヒント 温度上昇試験は、絶縁油に適用されません。

【回答】：イ