

変圧器の%Zと並列運転 (タップ差がない場合)

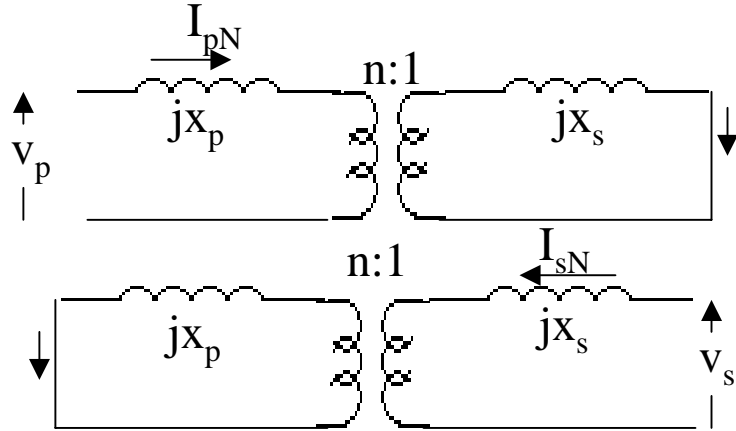
各変圧器に分流する電力は基準容量に換算した
% X=%Z の逆数に比例して分流する。

容量 P_i MVAから基準容量 P_0 MVAに換算するには、
%X(P_0)= %X(P_i) × P_0 / P_i とする。

(以上は各変圧器のタップ(変圧比)が等しい場合のことで、もしタップ差がある場合は負荷電流に加えてタップ差に相当する電圧を一回りのインピーダンス(2台のときは2台の合計、3台以上の時は重ね合わせで算出)で割った横流(循環する無効電力)が流れる。タップ差がある場合の別資料参照)

変圧器のインピーダンスの測定

相手端を短絡して定格電流を流しその時の電圧を測定し、定格電圧に対する比率を求める。
 タップ比 n は各基準電圧ベースの変圧比。
 基準電圧/基準電圧 のとき $n = 1$



p : 一次、 s : 二次、 N : 定格、 P : 機器容量

$$Z_p = v_p / I_{pN}$$

$$\%Z_p = \frac{v_p}{V_{pN}} \times 100 = \frac{v_p \times V_{pN}}{V_{pN} \times V_{pN}} \times 100$$

$$= \frac{Z_p \times I_{pN} \times V_{pN}}{V_{pN}^2} \times 100 = Z_p \times \frac{P[\text{MVA}]}{V_{pN}[\text{kV}]^2} \times 100$$

$$Z_s = v_s / I_{sN}$$

$$\%Z_s = \frac{v_s}{V_{sN}} \times 100 = \frac{v_s \times V_{sN}}{V_{sN} \times V_{sN}} \times 100$$

$$= \frac{Z_s \times I_{sN} \times V_{sN}}{V_{sN}^2} \times 100 = Z_s \times \frac{P[\text{MVA}]}{V_{sN}[\text{kV}]^2} \times 100$$

$$Z_p = jX_p + jX_s \times n^2, Z_s = jX_s + jX_p / n^2$$

$$\therefore Z_p = Z_s \times n^2$$

$$\%Z_p = Z_p \times \frac{P}{V_{pN}^2} \times 100 = Z_s \times n^2 \times \frac{P}{V_{pN}^2} \times 100$$

$$= Z_s \times \frac{P}{V_{sN}^2} \times 100 = \%Z_s$$

すなわち、 $\%Z$ は一次側から見ても、
 二次側から見ても同じ 値になる。
 また、 $\%Z$ は、三相回路でも、

$$\%Z = v_p / (V_{pN} / \sqrt{3}) \times 100 = \frac{Z_p \times I_{pN}}{V_{pN} / \sqrt{3}} \times 100$$

$$= \frac{Z_p \times \sqrt{3} V_{pN} I_{pN}}{V_{pN}^2} \times 100 = \frac{Z_p \times P}{V_{pN}^2} \times 100、\text{と同形となる。}$$

基準容量 $P_0[\text{MVA}]$ ベースで表せば、

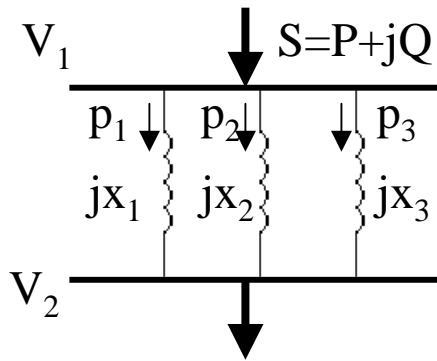
$$\%Z(P_0) = \%Z(P) \times \frac{P_0}{P} \text{ であるが}$$

$$= Z_p \times \frac{P_0}{V_{pN}^2} \times 100 = Z_s \times \frac{P_0[\text{MVA}]}{V_{sN}^2[\text{kV}]^2} \times 100、$$

すなわち、 Ω 値に比例となる。

以下、数値は%値または%値を100で割った値(単位法表示 p.u = per unit.)を用いる。

変圧器の並列運転



ここでは簡略計算として PX法で解説するが、「変圧器の並列運転その2タップ差がある場合」に示すように、正確には負荷電流がXの逆数に比例して分流するのである。

V_2 を基準ベクトルとし、各変圧器の基準容量ベースまたは Ω 値のリアクタンスを x_1, x_2, x_3 , 合成のリアクタンスを X とすれば、

$$I = \frac{V_1 \varepsilon^{j\theta} - V_2}{jX}$$

$$S = P + jQ = V_1 I^* = V_1 \varepsilon^{-j\theta} \times \frac{(V_1 \varepsilon^{-j\theta} - V_2)}{-jX} = j \frac{V_1^2 - V_1 V_2 \varepsilon^{j\theta}}{X}$$

$$= \frac{V_1 V_2}{X} \sin \theta + j \frac{V_1^2 - V_1 V_2 \cos \theta}{X}$$

$$\therefore P = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \theta \approx \frac{V_1 V_2}{X} \theta$$

V_1, V_2 はほぼ定格電圧で運転されるから一定と見なせば(100% = 1.0 per unit),

$XP = \theta$ となる。

V_1, V_2 間の位相差 θ は x_1, x_2, x_3 のどのルートでも同じであるから

$$\theta = x_1 p_1 = x_2 p_2 = x_3 p_3 = XP \text{ が成り立つ。}$$

これから、

$$p_1 = \frac{X}{x_1} P, \quad p_2 = \frac{X}{x_2} P, \quad p_3 = \frac{X}{x_3} P$$

$$X = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3}} \text{ であるから、}$$

$$p_1 = \frac{\frac{P}{x_1}}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3}}, \quad p_2 = \frac{\frac{P}{x_2}}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3}}, \quad p_3 = \frac{\frac{P}{x_3}}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3}}$$

すなわち、電力は基準容量に換算した x の逆数に比例して分流する。
この関係は変圧器に限らず、並列送電線の分流にも適用できる。

一般に変圧器のインピーダンスは抵抗分が無視できるほど小さいので、 $\%Z = \%X$ としてよい。また、通常、変圧器のインピーダンスは機器容量(自己の通過容量)ベースで表し、銘板にもその値が記載される。

例題1. 容量が、それぞれ 100, 150, 200MVAの
変圧器が並列され、各 変圧器のインピーダ
ンスは、それぞれ 10, 12, 12%である。

全負荷が 400MWのとき、各変圧器には それ
ぞれ何MWが流れるか。

解

各変圧器のインピーダ ンスを、基準容量
(100MVAに設定)ベースに換算すると

$$x_1 = 10 \times \frac{100}{100} = 10\%,$$

$$x_2 = 12 \times \frac{100}{150} = 8\%,$$

$$x_3 = 12 \times \frac{100}{200} = 6\%$$

である。

$$X = 1 / (1/10 + 1/8 + 1/6) = 120 / (12 + 15 + 20) = 120 / 47\%,$$

$$p_1 = (1/10) / (47/120) \times 400 = 102.1[\text{MW}]$$

$$p_2 = (1/8) / (47/120) \times 400 = 127.7[\text{MW}]$$

$$p_3 = (1/6) / (47/120) \times 400 = 170.2[\text{MW}]$$

となる。100MVA機は、若干過負荷にな っている。

例題2. 容量が、それぞれ 10, 15, 15MVAの
変圧器が並列され、各 変圧器のインピーダ
ンスは、それぞれ 10, 12, 12%である。

全負荷が 30MWのとき、各変圧器には それ
ぞれ何MWが流れるか。

解

各変圧器のインピーダ ンスを、基準容量
(10MVAに設定)ベースに換算すると

$$x_1 = 10 \times \frac{10}{10} = 10\%,$$

$$x_2 = 12 \times \frac{10}{15} = 8\%,$$

$$x_3 = 12 \times \frac{10}{15} = 8\%$$

である。

$$X = 1 / (1/10 + 1/8 + 1/8) = 80 / (8 + 10 + 10) = 80 / 28\%,$$

$$p_1 = (1/10) / (28/80) \times 30 = 8.6[\text{MW}]$$

$$p_2 = (1/8) / (28/80) \times 30 = 10.7[\text{MW}]$$

$$p_3 = (1/8) / (28/80) \times 30 = 10.7[\text{MW}]$$

となる。