

電力回路

第7回目

電気エネルギーシステムの解析法:単位法

6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

これまで、多相交流回路で構成されるシステムにおける個々の基本要素を説明してきた。ここではこれらの要素から構成される電力回路全体を考えその電力の伝送に着目した解析法を示す。次元のある物理量で記述された方程式を、無次元の変数からなる方程式に変形するための手法を用いる。

6.1 次元と単位法

基本的に三相交流電源による電力の伝送を目的とした電気回路が構成される。電気電子回路の解析において、等価回路を用いた手法がとられる。ところで、変圧器がその回路に含まれ、物理量に次元が残っているとそのインピーダンス換算が難しくなる。そこで、電力回路全体を基準値(定格)に対する比を用いた無次元量に変換した解析を行う。このような解析法を単位(PU)法と呼ぶ。

6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

6.2 単位量の導入

図1に三相電圧のベクトル図を示す. この図により, ある基準値に対して実際の三相の電圧を表すと, 相電圧, 線間電圧の区別無く一定の値で表現できる. そこで, 相電圧, 電流の定格値 E_{NS} , I_{NS} に対して, インピーダンスの基準値 Z_{NS} と定義する. この場合, 次の関係が得られる.

$$Z_{NS} = \frac{E_{NS}}{I_{NS}} = \frac{E_{NS}E_{NS}}{I_{NS}E_{NS}} = \frac{E_{NS}^2}{P_{NS}} = \frac{\sqrt{3}^2 E_{NS}^2}{3 \cdot P_{NS}} = \frac{V_{NS}^2}{W_{NS}}$$

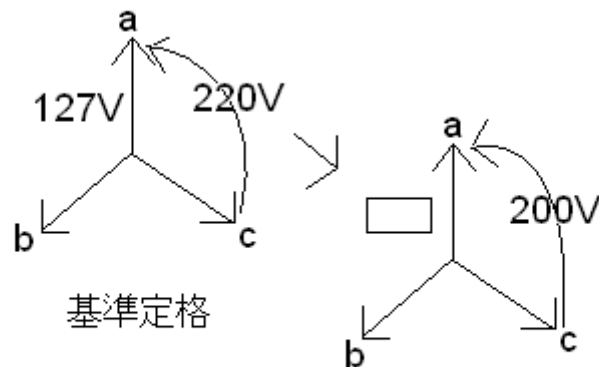


図1 基準電圧と実際の電圧による三相ベクトル図

ここで, P_{NS} は一相電力, V_{NS} は線間電圧, W_{NS} は三相電力である. この基準インピーダンスを100%インピーダンスと呼ぶことがある. 通常は比率のみの無次元量で表す.

6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

6.3 変圧器を含む電力回路への単位法の適用

図2を用いて変圧器を含む回路における基準量の考え方について説明する。次の手順で考える。

1. 基準電力を決定する。
 2. 一次側，二次側の定格電圧を基準電圧とする。
 3. 基準インピーダンスを求める。

その結果，表1に示す。

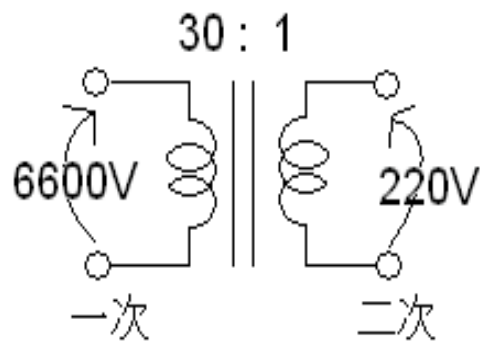


図2 変圧器を含む場合の単位量

表1 変圧器における基準値の例

	一次側	二次側
W_{NS}	33 kVA	33 kVA
V_{NS}	6600 V	220 V
Z_{NS}	1320 Ω	1.47 Ω
V	5800 V (0.879 p.u.)	193 V

6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

6.4 インピーダンス換算と単位法

変圧器が理想変圧器でない場合を考える. すなわち, 図3のように, 変圧比 $1:a$ の理想変圧器にインピーダンス Z_1, Z_2 が接続している. これらのインピーダンスは等価回路では一次側または二次側の量に換算してまとめる(図4). このとき, 二次側を一次側に換算した後の一次側インピーダンスは $Z_1 + \frac{Z_2}{a^2}$ となる. 逆に一次側を二次側に換算した後のインピーダンスは $a^2 Z_1 + Z_2$ である. このとき, 一次側, 二次側の基準値と%インピーダンスを求めると表2となる. すなわち, 単位法ではインピーダンスの換算は不要となる.

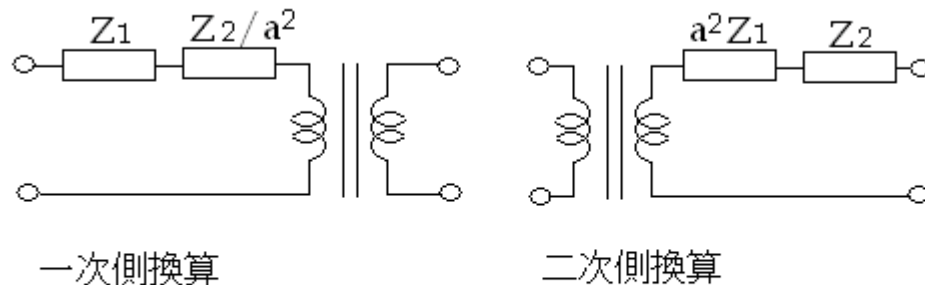


図4 変圧器におけるインピーダンスの換算

表2 変圧器の一次側・二次側の基準インピーダンス

	一次側	二次側
定格電圧	V_{NS}	aV_{NS}
定格電力	P_{NS}	P_{NS}
%Z	$\frac{V_{NS}^2}{P_{NS}}$	$\frac{(aV_{NS})^2}{P_{NS}}$
Z	$Z_1 + \frac{Z_2}{a^2}$	$a^2 Z_1 + Z_2$
p.u.	$Z \cdot \frac{P_n}{V_n^2}$	$a^2 Z \cdot \frac{P_n}{(aV_n)^2}$

6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

6.5 複数変圧器の接続と単位量

単相変圧器を介した電力回路の単位法による解析結果に基づいて、種々の変圧器の接続に対して単位量を考える。その結果を表3にまとめる。

表3 変圧器の接続と基準インピーダンス

	インピーダンスの Ω 値	定格電圧	定格電力	Z の pu 値
単相	Z	V_{NS}	P_{NS}	$Z \cdot \frac{P_{NS}}{V_{NS}^2}$
単相直列	$2Z$	$2V_{NS}$	$2P_{NS}$	$2Z \cdot \frac{2P_{NS}}{(2V_{NS})^2} = Z \cdot \frac{P_{NS}}{V_{NS}^2}$
単相並列	$Z/2$	V_{NS}	$2P_{NS}$	$\frac{Z}{2} \cdot \frac{2P_{NS}}{V_{NS}^2} = Z \cdot \frac{P_{NS}}{V_{NS}^2}$
三相 Y 結線	一相当たり Z	$\sqrt{3}V_{NS}$	$3P_{NS}$	$Z \cdot \frac{3P_{NS}}{(\sqrt{3}V_{NS})^2} = Z \cdot \frac{P_{NS}}{V_{NS}^2}$
三相 Δ 結線	一相当たり			

6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

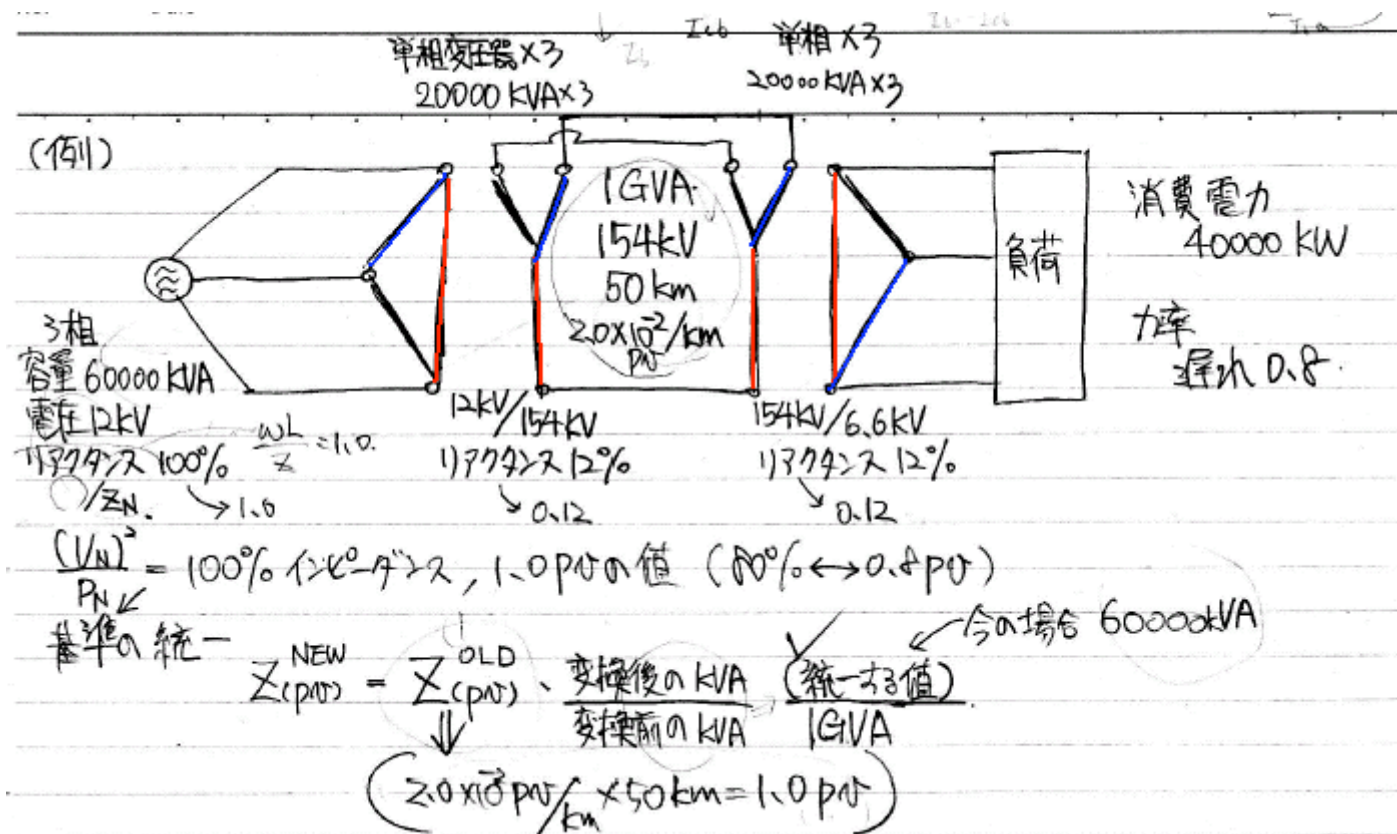
6.6 電気エネルギーシステムの単位法による解析

現実の電気エネルギーシステムに現れる定数などを用いた演習を行う.

[例題] 同期発電機は定格容量60,000kVA, 定格電圧12kV, リアクタンス100%とする. また, 変圧器は単相変圧器をそれぞれ3台三相結線し, 各々の定格容量は20,000kVAで発電機側の変圧器は12kV/152kV, 負荷側の変圧器は154kV/6.6kVの定格電圧変圧比を有している. 送電線は容量1GVA, 154kVを基準値として0.02pu/kmの値を有し, 亘長50kmとしている. さらに負荷は遅れ力率0.8, 消費電力40,000kWである.

6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

6.6 電気エネルギーシステムの単位法による解析(ある学生さんの答え)



6. 電気エネルギーシステムの解析法:単位法

6.6 電気エネルギーシステムの単位法による解析(ある学生さんの答え)

