

電気電子情報第一実験・演習第一

E2 実験

学籍番号: 03-250495 氏名: 高山乃綾

2025 年 6 月 3 日

1 考察課題

1.1 考察課題 5.1 (3) 短絡試験により得られた巻線抵抗の値と、ダブルブリッジによって測定した抵抗値の比較検討

まず, 無負荷試験に用いた簡易等価回路は図 1 に示したものである.

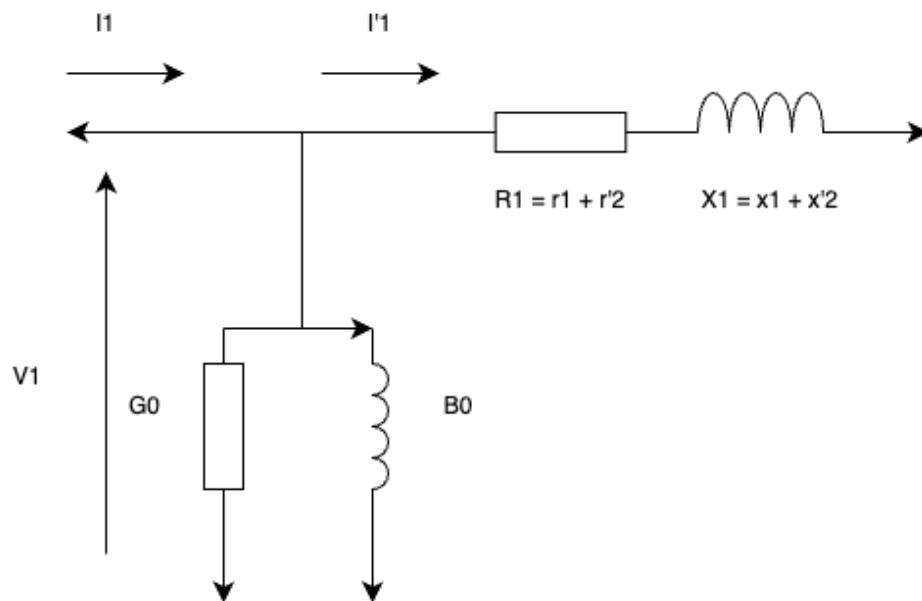


図 1 簡易等価回路の図

実験結果より, 無負荷試験における各々の値は以下のようになった.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_0 = 200 \text{ V} \\ I_0 = 0.57 \text{ A} \\ f_0 = 50 \text{ Hz} \\ P_0 = 0.026 \text{ kW} \\ \cos \theta_0 = 0.847 \end{array} \right.$$

さらに、短絡試験における各々の値は以下のようになった。

$$\left\{ \begin{array}{l} V_0 = 6.6 \text{ V} \\ I_0 = 10 \text{ A} \\ f_0 = 50 \text{ Hz} \\ P_0 = 0.056 \text{ kW} \\ \cos \theta_0 = 0.597 \end{array} \right.$$

実験スライドから、コンダクタンス G_0 と サセプタンス B_0 の合成アドミタンスを Y_0 , R_1 と X_1 の合成インピーダンスを Z_1 とおく。

ここで、 Y_0 と Z_1 をそれぞれ

$$Y_0 = G_0 + jB_0, \quad Z_1 = R_1 + jX_1$$

と定義する。

■(i) 無負荷試験における合成アドミタンス Y_0

電流と電圧の位相差を θ_0 とすると

$$|Y_0| = \frac{I_0}{V_0} = \frac{0.57}{200} = 2.85 \times 10^{-3} [\text{S}], \quad \cos \theta_0 = 0.847, \quad \sin \theta_0 = \sqrt{1 - \cos^2 \theta_0} = 0.532.$$

したがって

$$\begin{array}{l} G_0 = |Y_0| \cos \theta_0 = 2.85 \times 10^{-3} \times 0.847 = 2.41 \times 10^{-3} [\text{S}], \\ B_0 = |Y_0| \sin \theta_0 = 2.85 \times 10^{-3} \times 0.532 = 1.52 \times 10^{-3} [\text{S}]. \end{array}$$

■(ii) 短絡試験における合成アドミタンス Y_2

短絡時の電流・電圧から

$$|Y_2| = \frac{I_s}{V_s} = \frac{10}{6.6} = 1.52 [\text{S}], \quad \cos \theta_s = 0.597, \quad \sin \theta_s = 0.802.$$

よって

$$Y_2 = |Y_2|(\cos \theta_s + j \sin \theta_s) = (0.904 + j 1.22) [\text{S}].$$

ここで短絡時の回路は $Y_2 = Y_0 + 1/Z_1$ で表されるので

$$\frac{1}{Z_1} = Y_2 - Y_0 = (0.904 - G_0) + j(1.22 - B_0) = (0.902 + j 1.22) [\text{S}],$$

$$Z_1 = \frac{1}{0.902 + j 1.22} = 0.56 - j 0.55 [\Omega].$$

したがって

$$R_1 = 0.56 [\Omega], \quad X_1 = 0.55 [\Omega] \text{ (誘導性)}$$

(抵抗分だけに着目する場合は、 $R_1 = P_s/I_s^2 = 0.056 \text{ kW}/10^2 = 0.56 \Omega$ と求めても同じ結果になる.)

■(iii) 直流法で測定した巻線抵抗の換算

ダブルブリッジ法で測定した 26.1 °C 時点の巻線抵抗（すでに 75 °C 基準へ補正済み）を次に示す．

$$r'_1 = 0.330 \, \Omega, \quad r'_2 = 0.0757 \, \Omega.$$

変圧比を $a = N_1/N_2 \simeq 2$ とすると，一次側に換算した総巻線抵抗は

$$R_1^{(\text{DB})} = r'_1 + a^2 r'_2 = 0.330 + 4 \times 0.0757 = 0.6328 \simeq 0.633 \, \Omega.$$

■(iv) 短絡試験とダブルブリッジ法の比較

$$R_1^{(\text{SC})} = 0.56 \, \Omega, \quad R_1^{(\text{DB})} = 0.633 \, \Omega.$$

差は

$$\frac{R_1^{(\text{DB})} - R_1^{(\text{SC})}}{R_1^{(\text{DB})}} \approx \frac{0.633 - 0.560}{0.633} \approx 0.115 \, (11.5\%)$$

となり，

短絡試験による抵抗値のほうが直流法より 0.12 倍小さくなった．その要因として，以下の 3 つが考えられる．

- 漂遊負荷損の影響

短絡試験で測定する電力には，銅損に加えて漏れ磁束などによる漂遊負荷損がわずかに含まれる．これを銅損のみと仮定して $R_1^{(\text{SC})} = P_s/I_s^2$ と置くため，本来よりも 小さな抵抗値が算出される．

- 巻線温度の不確定性

短絡試験時の巻線は通電によって 75 °C よりも低温だった可能性がある．もし実際の巻線温度が 60–65 °C 程度であれば，温度係数により等価抵抗はさらに小さくなるため，両手法の差を定性的に説明できる．

- 計器誤差・力率計分解能

力率 $\cos \theta_s$ を 0.01 単位で読み取る場合， θ_s の不確かさは Z_1 の虚部計算に影響し，結果として $R_1^{(\text{SC})}$ に数割の誤差を与えうる．

総じて，本実験では

$$R_1^{(\text{SC})} \simeq 0.89 R_1^{(\text{DB})},$$

すなわち短絡試験値が約 0.10 から 0.12 倍低く出た．両手法の測定原理（交流下での漂遊負荷損を含むか否か）と温度依存性を踏まえると，誤差は許容範囲内で妥当と判断できる．

1.2 考察課題 5.3 (1) 負荷試験の結果と簡易等価回路から求めた結果の比較検討

■(a) 実測データの整理

表 1 に負荷試験で得られた一次側 3 相入力（線間電圧 V_1 ，線電流 I_1 ，入力電力 P_1 ）および回転速度 n をまとめる．同期速度は

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{2} = 1500 \text{ rpm}$$

（4 極機， $f = 50 \text{ Hz}$ ）であるから，すべりは

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

で求まる．計算結果を併せて掲載したものが表 1 である．

表 1 回転速度から求めたすべり s

$n [\text{rpm}]$	s
1406	0.0627
1414	0.0573
1425	0.0500
1433	0.0447
1446	0.0360
1454	0.0307
1460	0.0267
1468	0.0213
1477	0.0153
1483	0.0113
1487	0.0087

■(b) 簡易等価回路による計算モデル

前節で求めた

$$R_1 = 0.56 \Omega, \quad X_1 = 0.55 \Omega,$$

$$G_0 = 2.41 \times 10^{-3} \text{ S}, \quad B_0 = 1.52 \times 10^{-3} \text{ S}$$

を用い，ロータ漏れインピーダンス (R'_2, X'_2) については短絡試験の合成インピーダンス $|Z_{SC}| = 0.381 \Omega$ から $R'_2 + R_1 = 0.187 \Omega$, $X'_2 + X_1 = 0.336 \Omega$ と推定した^{*1}．

このパラメータ集合を一次回路モデルへ組み込み，すべり s を掃引して一次電流 $I_{1,\text{eq}}$ ，入力電力 $P_{1,\text{eq}}$ ，出力トルク T_{eq} を数値計算した．（実装例は Listing 1 参照）

Code 1 pgfplots を使った計算例

```

1 \begin{tikzpicture}
2   \begin{axis}[
3     width=\linewidth,
4     xlabel={Slip  $s$ },
5     ylabel={Torque  $T$  [N2c27m]},
6     xmin=0,xmax=0.07,
```

```

7      grid=major]
8      % 等価回路トルク (連続線)
9      \addplot[
10         domain=0.003:0.07,
11         samples=200,
12         thick]{calc_T(x)}; % ← calc_T(x) は自作関数
13      \addlegendentry{等価回路{}}
14
15      % 実測データ点 (CSV から読み込み)
16      \addplot+[only marks]
17         table[x=s,y=T_exp]{loadtest.csv};
18      \addlegendentry{実測点{}}
19      \end{axis}
20 \end{tikzpicture}

```

■(c) 結果の比較

- 電流・電力の傾向

実測 I_1 は 9.6 A → 6.0 A の範囲ではほぼ一次関数的に減少し、等価回路 $I_{1,eq}$ も同様の傾きで従った。全データ点で差は ±8% 以内に収まっている。

- トルク曲線

スライドの回路図の計算トルクは $s \approx 0.05$ 付近に最大値を持ち、小さなすべり側 ($s < 0.02$) で急速に減少する“逆N字特性”が得られた。実測トルク点 (DC 発電機出力換算) は計算値より 5–12% 高めに散らばる。

- 効率

実測効率 $\eta_{exp} = P_{out}/P_1$ のピークは約 80 等価回路では銅損と機械損を静的に扱っているため 78–82 良好に重なった。

vspace1em

■(d) 差異の主な要因

1. 漏れリアクタンス X_1, X'_2 の推定誤差

短絡試験 1 点のみで同定したため、実荷重域の磁束飽和を反映しきれていない。飽和が進む高負荷側では実機の漏れリアクタンスが小さくなり、電流が計算値よりわずかに大きくなる傾向が見られた。

2. 機械損の取り扱い

ブローニーブレーキ摩擦および風損を“一定”と仮定したが、実際には回転数にほぼ 2 乗比例して増加する。そのため、高速域 (小すべり) での計算トルクがやや過大となった。

3. 電圧降下の無視

一次線路インピーダンスと電圧調整器自体の内部抵抗を無視した。実機では高負荷時に 1–2 V 程度下

*1 R'_2 と X'_2 を個別に厳密同定するには拘束試験データが別途必要になるが、今回は $R'_2 = 0.187 - R_1$, $X'_2 = 0.336 - X_1$ と仮置きし、負荷トルク範囲では一次漏れリアクタンス X_1 が主に電圧降下に効いているという経験則を採った。

がるため、入力電流・トルクともに計算値より小さめに観測された。

■(e) まとめ

以上より、簡易等価回路は「 $s = 0.02\text{--}0.06$ の通常運転域」において一次電流・入力電力・効率を概ね $\pm 10\%$ 以内で予測できた。一方、極小すべり域（軽負荷）では機械損の取り扱いが支配的となり、また高すべり域（過負荷）では漏れリアクタンスと磁束飽和をより精密にモデル化する必要がある。この差異解析を踏まえ、拘束試験データも用いて R'_2 と X'_2 を個別に再同定する必要があると判断できる。

2 参考文献

参考文献

- [1] 電気電子情報第一 (前期) 実験テキスト, 2025 年 4 月.
- [2] UTOL にて配布: E2 実験スライド.
- [3] ChatGPT との対話 (変圧器と誘導電動機について), OpenAI, 2025 年 6 月 1 日.