

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： 邢毅诚

学号： 3190105197

日期： 2021-10-22

地点： 教二-116

课程名称： 电机与拖动

指导老师： 史婷娜

成绩：

实验名称： 单相变压器和三相变压器

实验类型： 验证实验

同组学生姓名： 无

一、 实验目的

1. 通过空载和短路实验测定变压器的变比和参数。
2. 通过负载实验测取变压器的运行特性。

二、 实验设备

1. 三相芯式和组式变压器 (DT41 和 DT40)
2. 单项变压器 (DT41)

$$P_N = 76W, U_{1N}/U_{2N} = 220V/55V, I_{1N}/I_{2N} = 0.345A/1.38A$$

3. 负载电阻 (DT21) 限流 1.5A 阻值 0-90Ω
4. 三相交流可调电源
5. 交流表

三、 实验项目

1. 空载实验：测取空载特性 $U_o = f(I_o), P_o = f(U_o)$
2. 短路实验：测取短路特性 $U_K = f(I_K), P_K = f(U_K)$
3. 负载实验 (纯电阻负载)：测取 $U_2 = f(I_2)$

四、 实验内容

1. 空载实验

按照下图连接电路图：

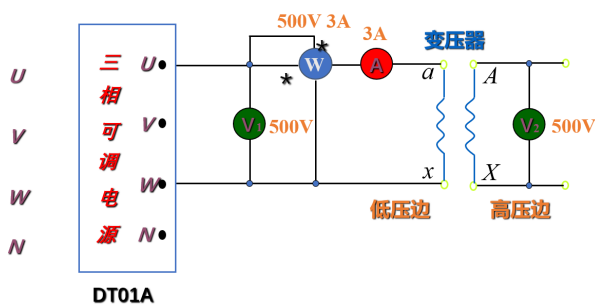


图 1: 空载实验接线图

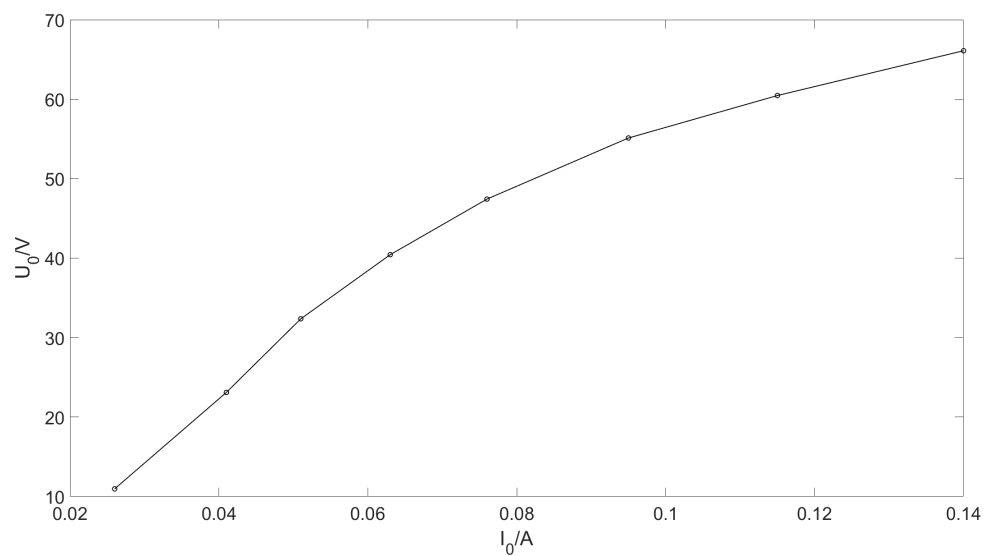
被试变压器选用 DT40 三相组式变压器,实验用其中的一相,其额定容量 $P_N=76\text{W}$, $U_{1N}/U_{2N}=220/55\text{V}$, $I_{1N}/I_{2N}=0.345/1.38\text{A}$ 。变压器的低压线圈接电源,高压线圈开路。接通电源前,将交流电源调压旋钮调到输出电压为零的位置,然后合上空气开关,按下面板上绿色的“ON”按钮,此时变压器接入交流电源,调节交流电源调压旋钮,使变压器空载电压 $U_0=1.2 U_N$,然后,逐次降低电源电压,在 $1.2\sim 0.5U_N$ 的范围内,测取变压器的 U_0 、 I_0 、 P_0 共取 6 7 组数据,其中 $U = U_N$ 的点必测,并在该点附近测的点应密些。为了计算变压器的变比,在 U_{2N} 以下测取原边电压的同时,测出副边电压,并计算出功率,如下表所示:

序号	实验数据				计算数据	
	低压侧电压/V	高压侧电压/V	空载电流/A	空载功率/W	角度 $\cos\phi$	变压器变比 K
1	66.10	263.8	0.140	3.814	0.412	3.991
2	60.46	242.2	0.115	3.181	0.458	4.006
3	55.12	219.8	0.095	2.615	0.499	3.988
4	47.43	189.3	0.076	1.967	0.546	3.991
5	40.43	161.3	0.063	1.482	0.582	3.990
6	32.36	129.4	0.051	0.994	0.602	3.999
7	23.10	91.89	0.041	0.537	0.567	3.978
8	10.96	43.98	0.026	0.133	0.467	4.013

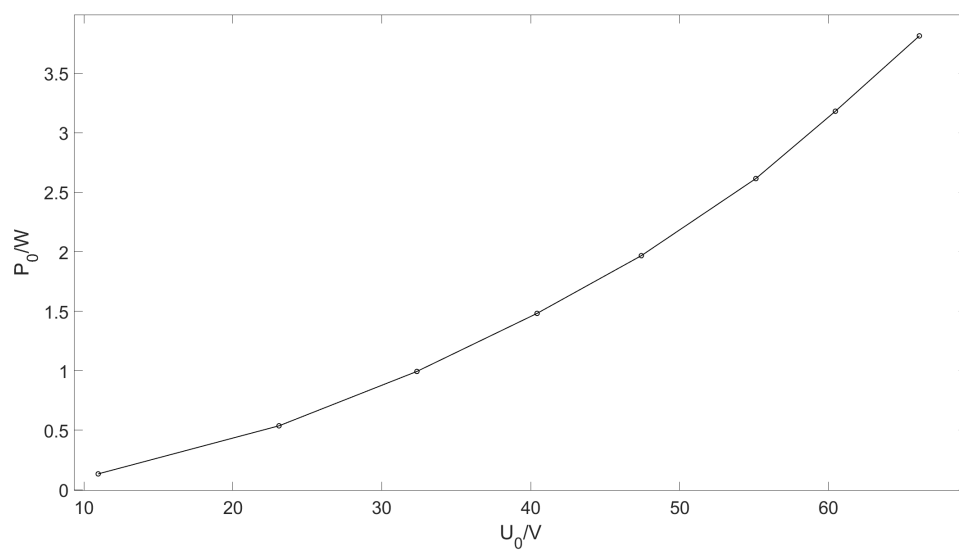
表 1: 实验一实验数据

计算得变压器变比的平均值为 3.996。

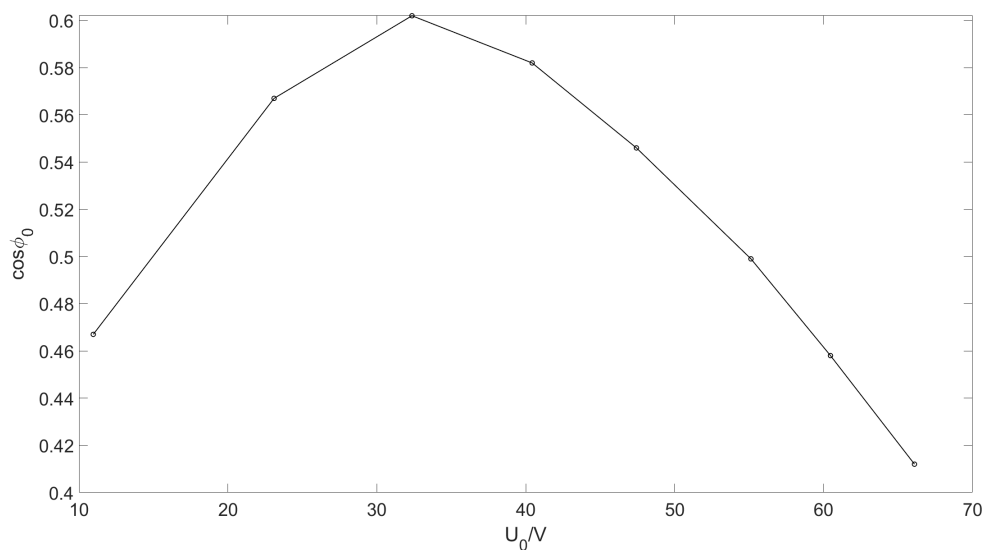
绘制空载特性曲线 $U_0 = f(I_0)$:

图 2: $U_o = f(I_0)$ 曲线

绘制空载特性曲线 $P_0 = f(U_o)$:

图 3: $P_0 = f(U_0)$ 曲线

绘制空载特性曲线 $\cos\phi_k = f(I_k)$

图 4: $\cos \phi_k = f(I_k)$ 曲线

根据空载特性曲线可以得出，当 $U_0 = U_N$ 时，有 $I_o = 0.14A$, $P_0 = 3.814W$ ，由于之前已经计算得 $K = 3.996$ 。计算得：

$$|Z_0| = \left| \frac{U_0}{I_0} \right| = |Z_{2m}| = 471.43\Omega \quad (1)$$

$$R_{2m} = \frac{p_0}{I_0^2} = 194.59\Omega \quad (2)$$

$$X_{2m} = \sqrt{|Z_{2m}|^2 - R_{2m}^2} = 429.40\Omega \quad (3)$$

$$Z_{2m} = R_{2m} + jX_{2m} = 194.59 + j471.43 \quad (4)$$

由公式：

$$Z_{2m} = \frac{Z_m}{k^2} \quad (5)$$

可得： $Z_m = Z_{2m}k^2 = 3107.22 + 7527.80j(\Omega)$

2. 短路实验

短路电路图如下图所示：

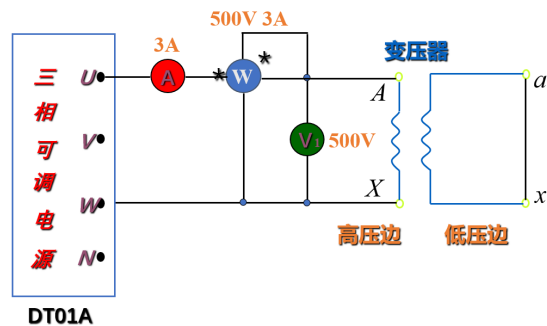


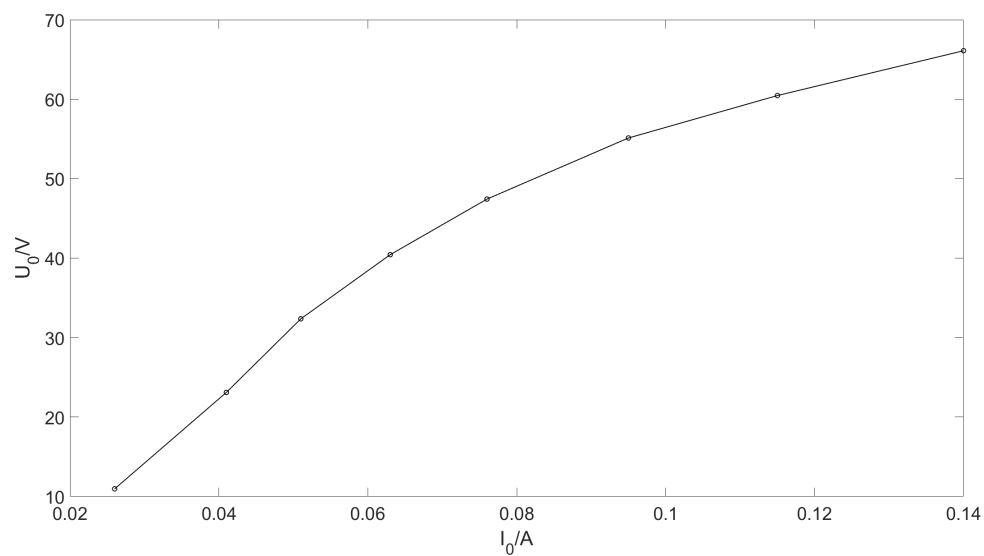
图 5: 短路实验接线图

变压器的高压线圈接电源，低压线圈直接短路。接通电源前，先将交流调压旋钮调到输出电压为零的位置，选好所有电表量程，按上述方法接通交流电源，逐次增加输入电压，直至短路电流等于 $1.1 I_N$ 为止，在 $0.5 I_N \sim 1.1 I_N$ 范围内测取变压器的 U_k 、 I_k 、 P_k 。并记下实验时周围环境温度 $\theta(^{\circ}C) = 22.5^{\circ}$ ，测得数据如下表所示：

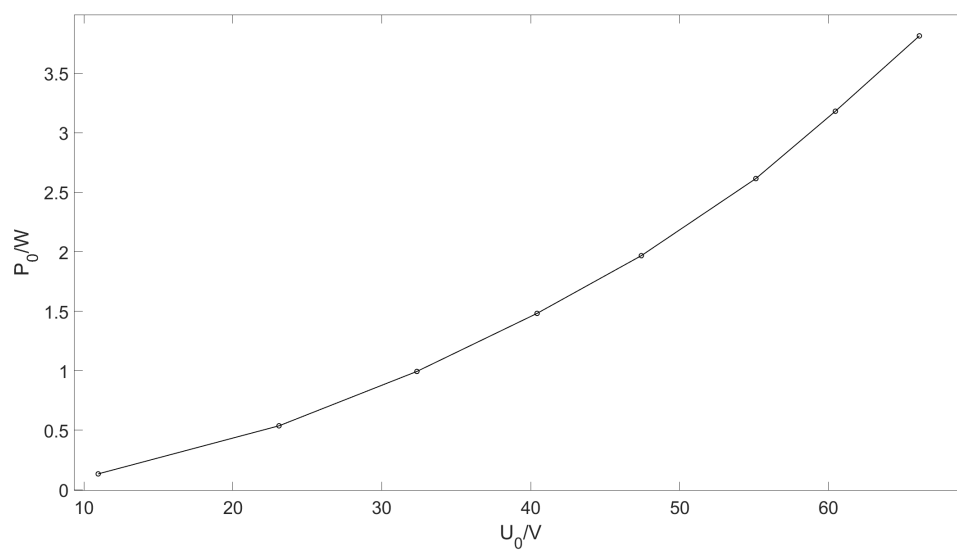
序号	实验数据			计算数据
	短路电压/V	短路电流/A	短路功率/W	角度 $\cos\phi$
1	28.77	0.379	4.679	0.429
2	26.20	0.345	3.891	0.430
3	21.73	0.286	2.690	0.433
4	17.47	0.230	1.755	0.437
5	12.84	0.169	0.946	0.436
6	7.62	0.103	0.335	0.427

表 2: 实验二实验数据

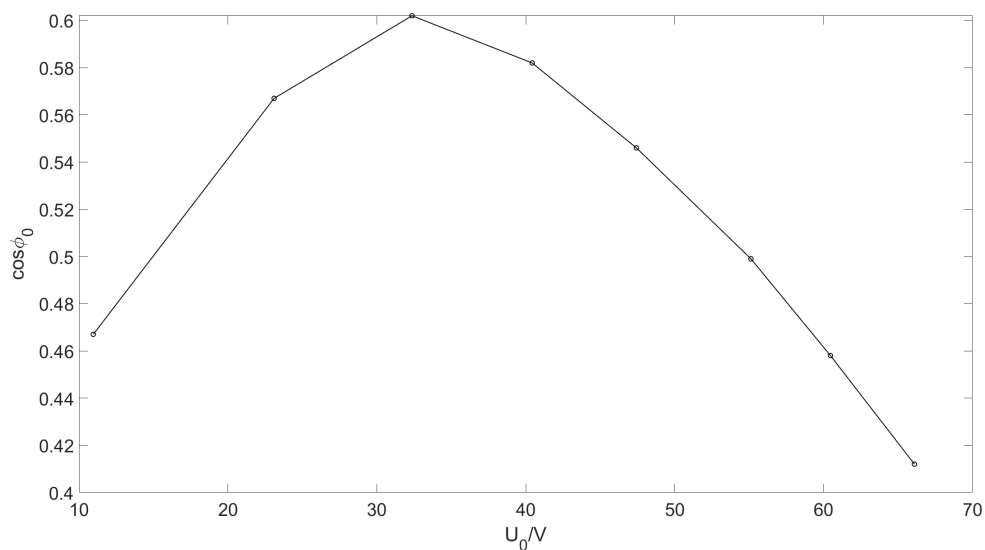
绘制短路特性曲线 $U_o = f(I_0)$:

图 6: $U_k = f(I_k)$ 曲线

绘制短路特性曲线 $P_k = f(I_k)$:

图 7: $P_k = f(I_k)$ 曲线

绘制短路特性曲线 $\cos\phi_k = f(I_k)$

图 8: $\cos \phi_k = f(I_k)$ 曲线

根据短路特性曲线可知，当 $I_k = I_N$ 时， $U_k = 26.2V$, $P_k = 3.891W$ 可以计算出短路参数：

$$R_k = \frac{p_k}{I_k^2} = 32.69\Omega \quad (6)$$

$$|Z_k| = \frac{U_k}{I_k} = \frac{U_k}{I_{1N}} = 74.94\Omega \quad (7)$$

$$X_k = \sqrt{|Z_k|^2 - R_k^2} = 67.43\Omega \quad (8)$$

$$Z_K = 32.69 + 67.43j(\Omega) \quad (9)$$

假设为铝线，可计算得：

$$R_{k75^\circ C} = \frac{R_{k\theta}(\alpha + 75)}{\alpha + \theta} = 39.37\Omega \quad (10)$$

根据空载实验和短路实验结果绘制得到的参数，可以分别画出高压边和低压边的 τ 型的等效电路：

$$Z_{k75^\circ C} = 39.37 + 67.43j(\Omega) \quad (11)$$

3. 负载实验

负载实验的电路图如下图所示：

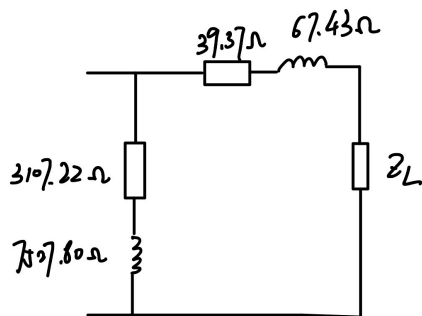


图 9: 低压边向高压边折算

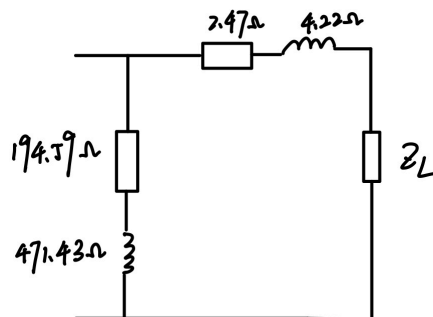


图 10: 高压边向低压边折算

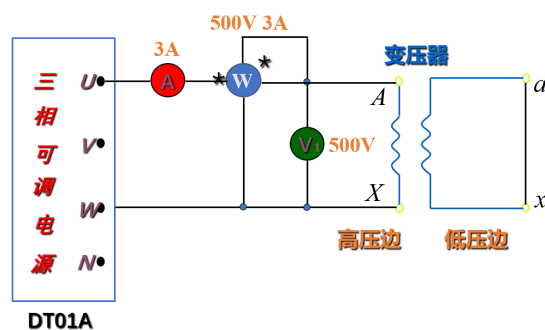


图 11: 纯电阻负载实验接线图

变压器高压线圈接电源，低压线圈经过开关 S1，接到负载电阻 RL。RL 选用 DT21，开关 S1 选用 DT26。

接通电源前，将交流电源调节旋钮调到输出电压为零的位置，负载电阻调至最大，然后合上 S1，按下接通交流电源的按钮，逐渐升高电源电压，使变压器输出电压 $U_1 = U_N = 220V$ ，在保持 $U_1 = U_N = 220V$ 的条件下，逐渐增加负载电流，即减少负载电阻 RL 的阻值，从空载到额定负载的范围内，测取变压器的输出电压 U_2 和电流 I_2 ，测量得到数据如下表所示：

序号	输入电压 U_1/V	输入电流 I_1/A	输出电压 U_2/V	输出电流 I_2/A
1	220	0.074	54.4	0.238
2	220	0.122	53.89	0.437
3	220	0.173	53.53	0.639
4	220	0.221	52.85	0.833
5	220	0.272	52.34	1.035
6	220	0.36	51.48	1.387
7	220	0.023	54.89	0

表 3: 实验 3 实验数据

此时 $\cos\phi_2 = 1$ 。

绘制 $\cos\phi_2 = 1$ 的外特性曲线 $U_2 = f(I_2)$ ，如下图所示：

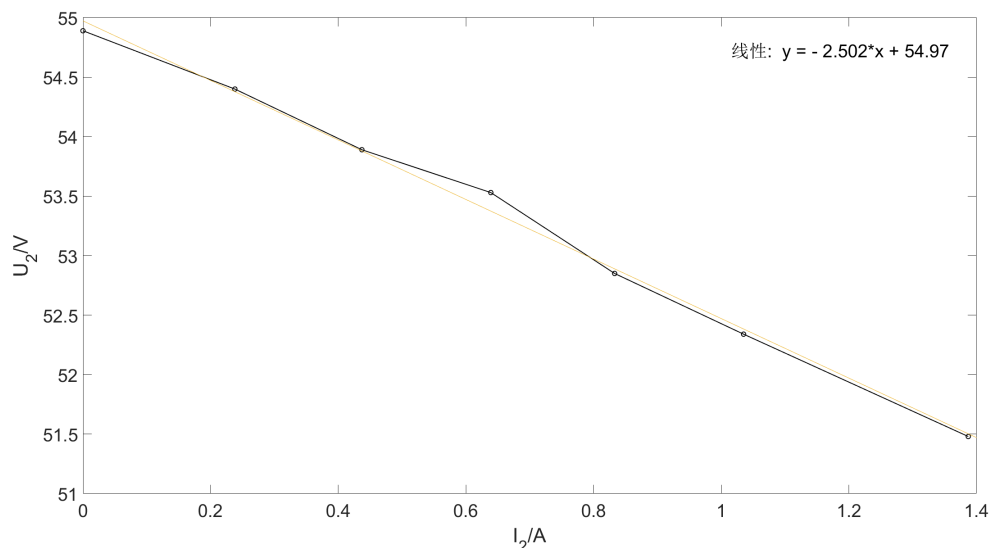


图 12: $U_2 = f(I_2)$

使用最小二乘法对曲线进行线性拟合，可以得到其表达式为：

$$U_2 = -2.502I_2 + 54.97 \quad (12)$$

将 $I_2 = I_{2N} = 1.38$ 代入，可以得到 $U_2 = 51.52V$ ，进而可以计算得到电压变化率：

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\% = 6.28\% \quad (13)$$

另外，当 $I_2 = I_{2N}$, $\cos\phi_2 = 1$ 时，可以计算得到电压变化率 Δu ：

$$R_k^* = \frac{R_k}{Z_{1N}} = 0.0513 \quad (14)$$

$$X_k^* = \frac{X_k}{Z_{1N}} = 0.106 \quad (15)$$

故：

$$\Delta u = (R_k^* \cos\phi_2 + X_k^* \sin\phi_2) \times 100\% = 5.13\% \quad (16)$$

可以看出，二者计算出的结果相差不大，但在使用第二种方法进行计算的时候，由于对 U_{1N} 进行了近似，因此结果并不是十分准确，会比第一种方式计算出的结果略小。根据电压变化率的表达式： $\Delta u = (R_k^* \cos\phi_2 + X_k^* \sin\phi_2)$ 可以得知：当负载为感性负载亦或是阻性负载时，特性曲线的斜率为负，而当负载为容性负载时，如 $|R_k^* \cos\phi_2| > |X_k^* \sin\phi_2|$ ，则负载曲线的斜率为负，反之为正。

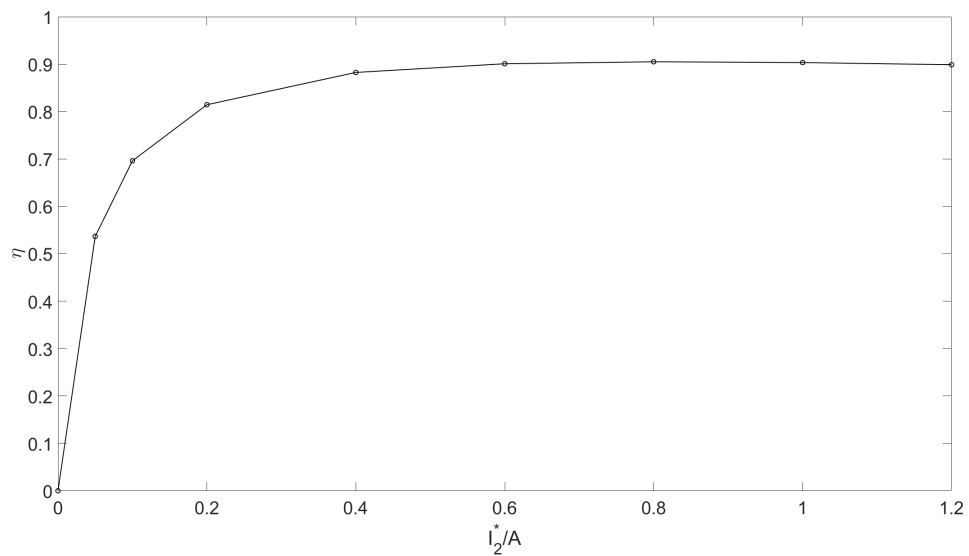
使用间接法，可以测得 $\cos\phi_2 = 0.8$ 不同负载电流时的变压器效率，可以得到： $\cos\phi_2 = 0.8$, $P_0 = 2.615$, $P_{KN} = 3.891W$ ，根据公式 $P_2 = I_2^2 \cos\phi_2$, $\eta = (1 - \frac{P_0 + I_2^{*2} p_k}{I_2^* S_N \cos\phi_2 + P_0 + I_2^{*2} p_k}) \times 100\%$

可以得到下列数据：

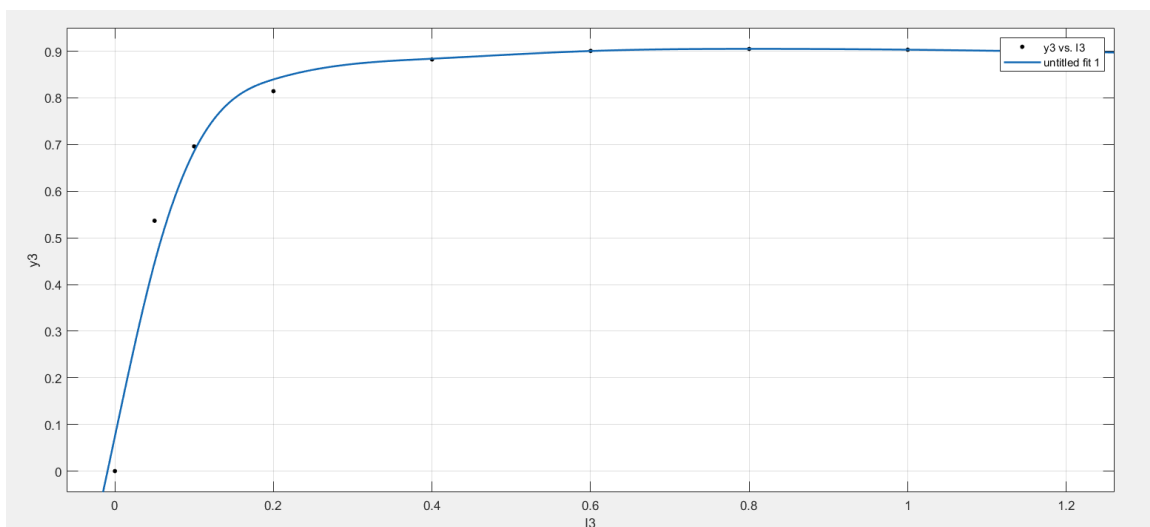
I_2^* (A)	P2 (W)	
0.00	0.00	0.00%
0.05	3.04	53.67%
0.10	6.08	69.61%
0.20	12.16	81.44%
0.40	24.32	88.25%
0.60	36.48	90.08%
0.80	48.64	90.50%
1.00	60.80	90.33%
1.20	72.96	89.88%

表 4: 不同负载电流时的变压器效率

可以绘制处变压器的效率曲线 $\eta = f(I_2^*)$ ，如下图所示：

图 13: $\eta = f(I_2^*)$

使用 cftools 对其进行拟合，如下图所示：

图 14: $\eta = f(I_2^*)$ 拟合曲线

当 $\eta = \eta_{max}$ 时，有：

$$\frac{d\eta}{dI_2^*} = 0 \quad (17)$$

即 $I_2^* = 0.8$, $\eta_{max} = 90.8\%$ ，可以计算得到 $\beta_m = I_2^* = 0.8$

五、心得与体会

在进行短路实验的时候，需要尽快进行实验，否则可能造成线圈发热进而影响电阻的变化。