

浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：潘谷雨

学号：3220102382

日期：2024.12.6

地点：教二 116

课程名称：电机学 指导老师：史涔澂 成绩：_____

实验名称：三相异步电动机实验

一、实验目的和要求

1、实物实验

- (1) 判别三相异步电动机定子绕组的首末端；
- (2) 测定三相鼠笼式异步电动机的参数；
- (3) 测取三相鼠笼式异步电动机的工作特性；
- (4) 通过实验掌握异步电动机的起动方法。

2、仿真实验

- (1) 初步掌握 Mworks syslab、sysplorer 软件的使用方法；
- (2) 掌握使用 sysplorer 软件进行异步电机性能仿真实验方法；
- (3) 掌握使用 sysplorer 软件进行异步电机变频调速仿真实验方法；
- (4) 通过对比、分析，总结仿真实验相比实物实验的优点和不足。

二、实验内容和原理

I、实物实验

1、三相异步电动机参数测定和工作特性

- ①空载实验
- ②短路实验
- ③负载实验

2、三相感应电动机 Y/Δ 起动

II、仿真实验

- 1、直接起动实验
- 2、变频起动实验
- 3、变频调速实验

三、主要仪器设备（系统、软件或平台）

- 1、DSX-1 电机实验系统
- 2、三相鼠笼式异步电动机： $P_N=100W$, $U_N=220V(\Delta)$, $I_N=0.48A$, $n_N=1420r/min$
- 3、三相交流可调电源
- 4、DT11/DT12/DT13 交流电压/电流/功率表
- 5、PC 电脑、syslab、sysplorer 软件

四、操作方法与实验步骤

I、实物实验

1、三相异步电动机参数测定和工作特性

三相异步电动机接线如图 1.1 所示。

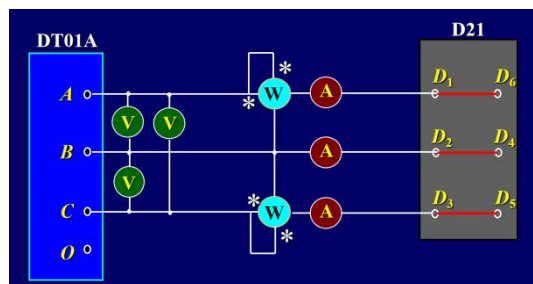


图 1.1 三相异步电动机接线图

①空载实验

- (1) 将三相交流电压调到输出为“0”伏，将电机与测功机脱开，选择正确的电压、电流量程；
- (2) 缓慢起动电机并观察电动机的旋转方向是否符合要求，否则应切断电源，调整三相电源相序；
- (3) 测取三相鼠笼式异步电动机空载特性， $U=1.2U_N\sim 0.3U_N$ ，测取电动机的空载电压、空载电流、输入功率，共测取 7-8 组数据；注意：其中额定电压 $U=U_N$ 点必测；
- (4) 将三相交流电压调到输出为“0”伏。

②短路实验

- (1) 安装电机：将电机与测功机同轴联接，旋紧低脚固定螺钉，并用销钉（黄铜棒）把测功机的定子和电机转子销住。此时电机的旋转方向应正确；
- (2) 选择正确的交流电表量程；
- (3) 测取三相鼠笼式异步电动机短路特性， $I=1.2I_N\sim 0.3I_N$ （此时电源输出低电压），测取电动机的短路电压、短路电流、输入功率共 4-5 组数据；注意：其中短路电流等于额定电流 $I=I_N$ 的点为必测点；
- (4) 将三相交流电压调到输出为“0”伏。

③负载实验

- (1) 拆除安装在测功机上的销钉；
- (2) 选择交流电表量程；
- (3) 测取三相鼠笼式异步电动机工作特性；接通电源，起动电机，注意电机旋转方向；逐渐升高三相交流电源电压至额定电压（220V），并在整个实验中保持不变；调测功机加载旋钮，从 $I=1.5I_N$ 至空载，测取异步电动机的定子电流、输入功率、转速、输出转矩共 5-6 组数据；注意：其中电流等于额定电流 $I=I_N$ 的点为必测点；
- (4) 将三相交流电压调到输出为“0”伏。

2、三相异步电动机的 Y/Δ 起动

三相异步电动机 Y/Δ 起动接线如图 1.2 所示。

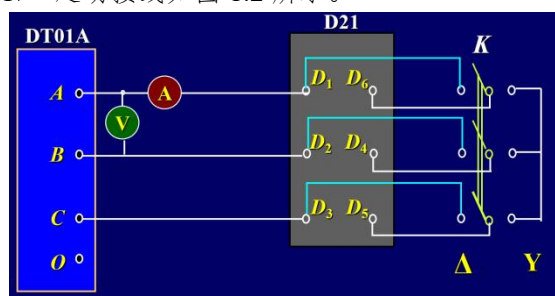


图 1.2 Y/Δ 起动接线图

-

II、仿真实验

搭建 sysplorer 仿真模型并调试通过，图 2.1 为总体仿真电路结构。

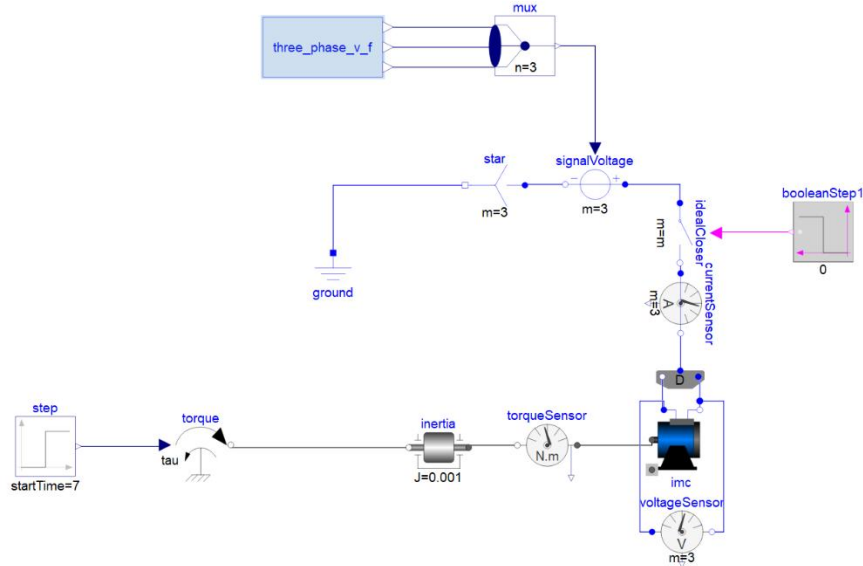


图 2.1 仿真实验电路

其中子系统“three phase yf”为一台变频电源，其具体结构如图 2.2 所示。

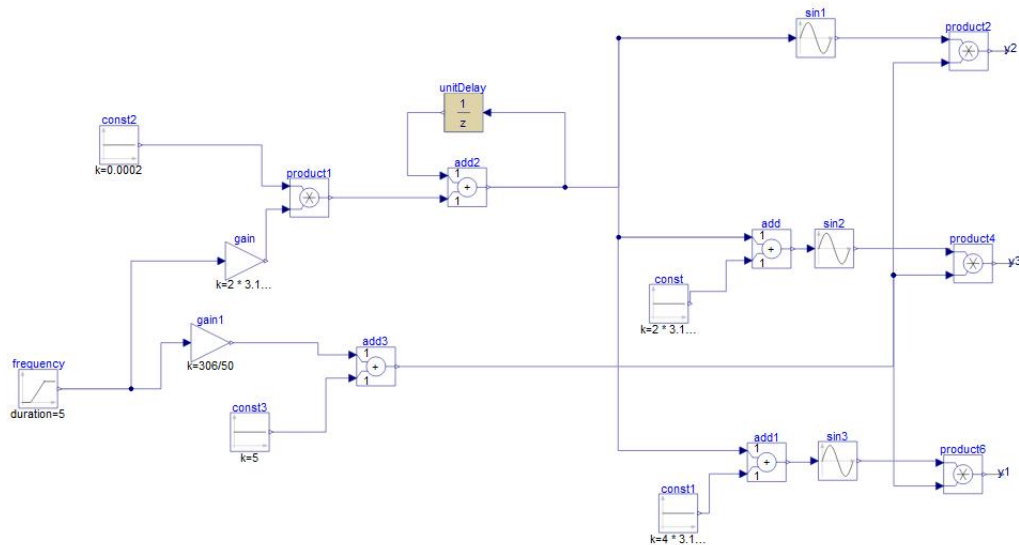


图 2.2 变频电源发生电路

根据实物实验结果设置电机参数，如图 2.3 所示。

组件参数				
常规	Losses	Nominal resistances and inductances		
参数				
Rs	40	定子电阻	Ohm	Stator resistance per phase at TRef
TsRef	25		degC	Reference temperature of stator resistance
alpha20s	0		1/K	Temperature coefficient of stator resistance at 20 degC
Lszero	Lssigm	定子漏抗	H	Stator zero sequence inductance
Lssigma	109.1 / (2 * pi * fsNominal)		H	Stator stray inductance per phase
Lm	1270 / (2 * pi * fsNominal)	主电抗	H	Stator main field inductance per phase
Lrsigma	109.1 / (2 * pi * fsNominal)	转子漏抗	H	Rotor stray inductance per phase (equivalent three-phase winding)
Rr	53	转子折算电阻	Ohm	Rotor resistance per phase (equivalent three-phase winding) at TRef
TrRef	25		degC	Reference temperature of rotor resistance
alpha20r	0		1/K	Temperature coefficient of rotor resistance at 20 degC

图 2.3 异步电机参数

1、直接起动实验

设置三相电源为额定输出电压，即相电压为 220V，频率 50Hz，设置主开关接通时间，使电机直接起动。观察电机转速（可选择 `imc.wMechanical` 变量）、转矩（`imc.tauShaft`）波形、电流（可选择 `currentSensor.i[1]-i[3]`）波形。

2、变频起动实验

设置三相电源为恒 v/f 变频起动，即设置频率为 0-50Hz 斜坡上升，电压幅值为 0-220V 斜坡上升（一般需加入低频补偿，设置合理的偏置电压）。设置不同的上升时间（可自行选取，如 1s、3s、5s 等），观察电机转速（可选择 `imc.wMechanical` 变量）、转矩（`imc.tauMechanical`）波形、电流（可选择 `currentSensor.i[1]-i[3]`）波形。

3、变频调速实验

修改变频电源的频率变化曲线，记录电机在恒定负载时，不同频率（如 50Hz、40Hz、30Hz 等若干组）驱动的电 流、转速、电磁转矩的变化情况。可使用 `timeTable`（`Modelica.Blocks.Sources.TimeTable`）组件编辑频率给定曲线，实现变频调速。

五、实验数据记录和处理

I、实物实验

1、三相异步电动机参数测定和工作特性

①空载试验

数据记录如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 三相异步电动机空载实验

U (V)				I (A)				P (W)			cosφ
Uab	Ubc	Uca	U0	Ia	Ib	Ic	I0	P1	P2	P0	cosφ0
265.5	262.6	264.7	264.3	0.373	0.371	0.359	0.212	-38.2	58.24	20.04	11.9%
236.9	236.1	236.7	236.6	0.319	0.320	0.314	0.183	-28.4	45.89	17.49	13.4%
220.6	219.2	220.4	220.1	0.294	0.290	0.287	0.168	-23.7	39.47	15.77	14.2%
189.2	188.7	189.6	189.2	0.247	0.241	0.242	0.140	-16.3	30.02	13.72	17.2%
152.7	152.2	153.2	152.7	0.198	0.191	0.193	0.112	-9.12	20.58	11.46	22.3%
119.4	119.4	120.6	119.8	0.159	0.154	0.158	0.091	-4.33	14.34	10.01	30.7%
86.05	86.61	86.9	86.5	0.130	0.128	0.133	0.075	-0.84	9.916	9.076	46.5%
64.87	65.08	66.84	65.6	0.131	0.123	0.137	0.075	0.381	8.314	8.695	58.7%

②短路实验

数据记录如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 三相异步电动机短路实验

U (V)				I (A)				P (W)			cosφ
Uab	Ubc	Uca	Uk	Ia	Ib	Ic	Ik	P1	P2	Pk	cosφk
74.45	73.73	76.14	74.77	0.588	0.564	0.579	0.333	-5.72	34.63	28.91	38.7%
65.03	65.42	67.40	65.95	0.485	0.471	0.488	0.278	-4.39	24.95	20.56	37.4%
62.69	62.46	64.71	63.29	0.463	0.445	0.463	0.264	-4.23	22.57	18.34	36.6%
53.11	53.22	55.53	53.95	0.367	0.352	0.366	0.209	-3.39	15.02	11.63	34.4%
41.13	42.34	44.22	42.56	0.254	0.241	0.262	0.146	-2.38	8.211	5.831	31.3%
29.21	29.98	31.97	30.39	0.148	0.136	0.152	0.084	-1.21	3.203	1.993	26.1%

③负载实验（纯电阻负载实验）

数据记录如表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 三相异步电动机负载实验

I (A)				P (W)			U1=UN=220.4V	
Ia	Ib	Ic	Il	PI	PII	P1	T2/(N·m)	n
0.724	0.714	0.719	0.415	55.18	155.1	210.28	1.20	1370
0.611	0.596	0.605	0.349	41.93	129.6	171.53	1.02	1398
0.508	0.493	0.503	0.289	27.03	106.2	133.23	0.80	1426
0.485	0.478	0.478	0.277	24.68	100.6	125.28	0.76	1430
0.364	0.361	0.356	0.208	2.436	68.54	70.976	0.43	1465
0.293	0.290	0.287	0.167	-23.9	39.78	15.88	0.04	1496
P2	η	S	cosφ1					
172.62	82.1%	8.7%	76.6%					
149.73	87.3%	6.8%	74.4%					
119.78	89.9%	4.9%	69.6%					
114.11	91.1%	4.7%	68.3%					
66.14	93.2%	2.3%	51.6%					
6.28	39.6%	0.3%	14.3%					

2、三相异步电动机的 Y/Δ 起动

记录直接起动波形如图 1.2.1、Y/Δ 起动波形如图 1.2.2 所示。

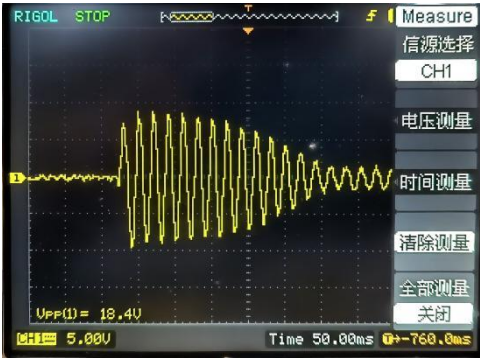


图 1.2.1 直接起动波形



图 1.2.2 Y/Δ 起动波形

数据记录如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 三相异步电动机 Y/Δ 起动实验

起动方式	直接起动	Y/Δ 起动
V _{pp}	18.4	6.2
I _{pp} (折算得到)	5.52	1.86

II、仿真实验

1、直接起动实验

设置三相电源为额定输出电压，即相电压为 220V，频率 50Hz，设置主开关接通时间为 0，使电机直接起动。在 7s 时施加负载转矩由-0.2 跃变为-2.2，电机转速、转矩和电流波形如图 2.1.1 所示。

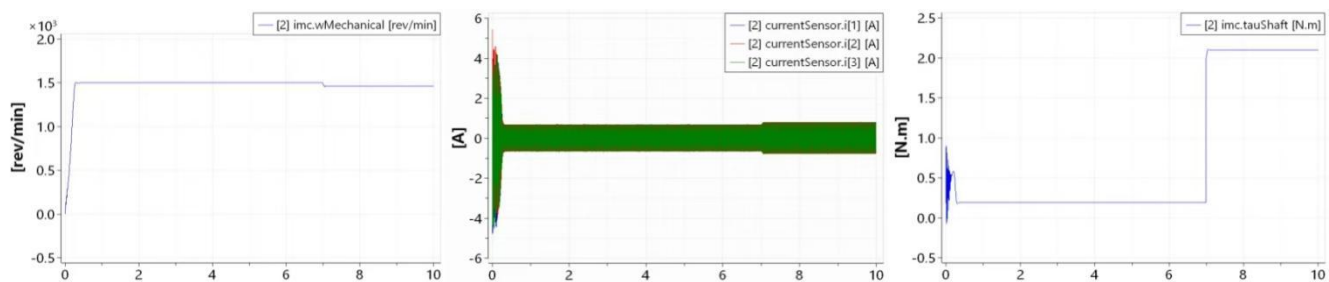


图 2.1.1 直接起动转速、电流与转矩波形

2、变频起动实验

设置频率为 0-50Hz 斜坡上升，电压幅值为 0-220V 斜坡上升。设置上升时间 1s，在 7s 时施加负载转矩由-0.2 跃变为-2.2，电机转速、转矩和电流波形如图 2.2.1 所示。

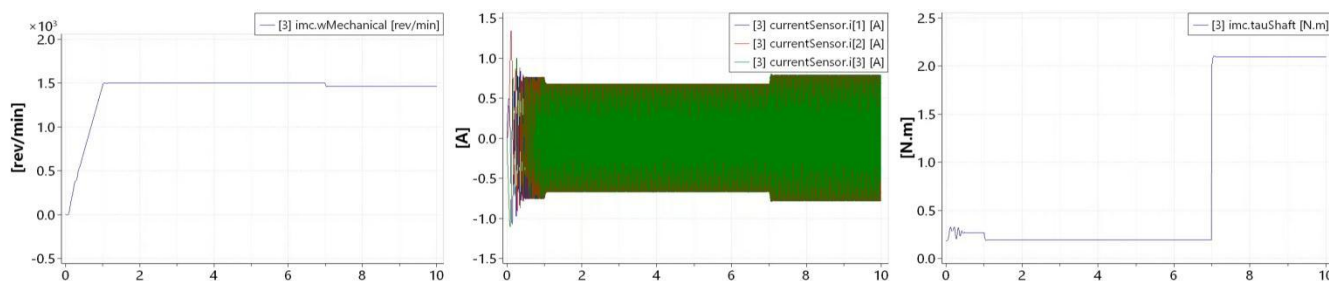


图 2.2.1 变频起动转速、电流与转矩波形 (duration=1s)

设置上升时间 3s，在 7s 时施加负载转矩由-0.2 跃变为-2.2，电机转速、转矩和电流波形如图 2.2.2 所示。

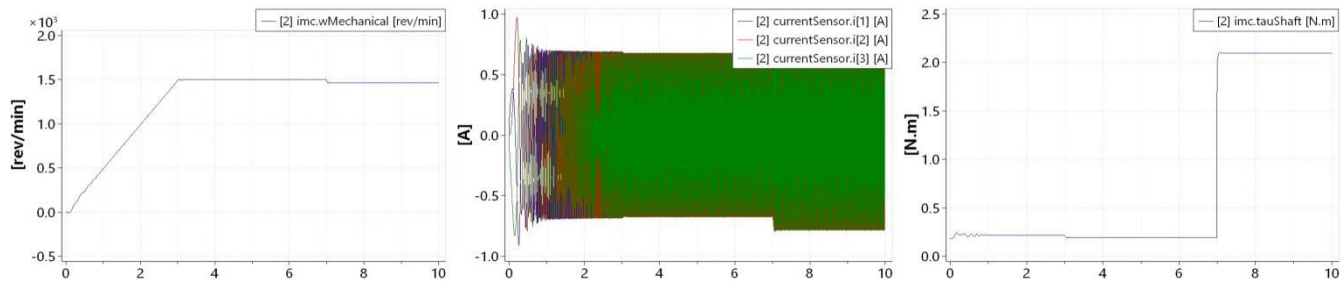


图 2.2.2 变频启动转速、电流与转矩波形 (duration=1s)

设置上升时间 5s, 在 7s 时施加负载转矩由-0.2 跃变为-2.2, 电机转速、转矩和电流波形如图 2.2.3 所示。

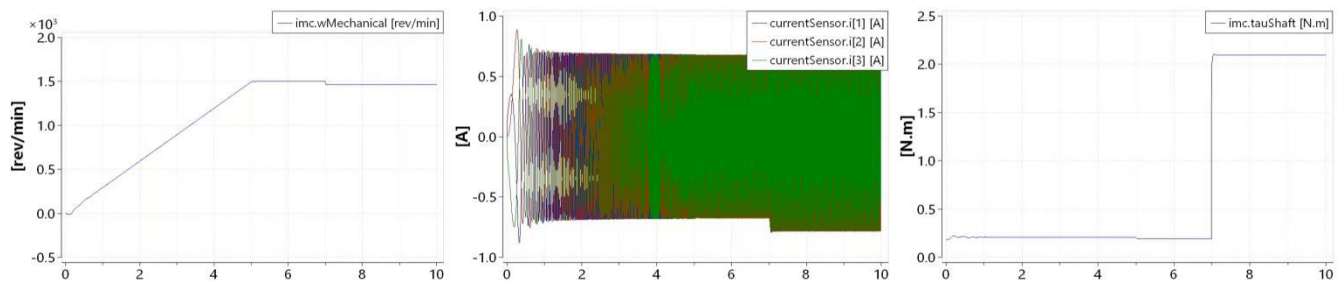


图 2.2.3 变频启动转速、电流与转矩波形 (duration=1s)

3、变频调速实验

修改变频电源的频率变化曲线, 控制电机在恒定负载为-2, timeTable 组件编辑频率给定曲线数据如图 2.3.1 所示。

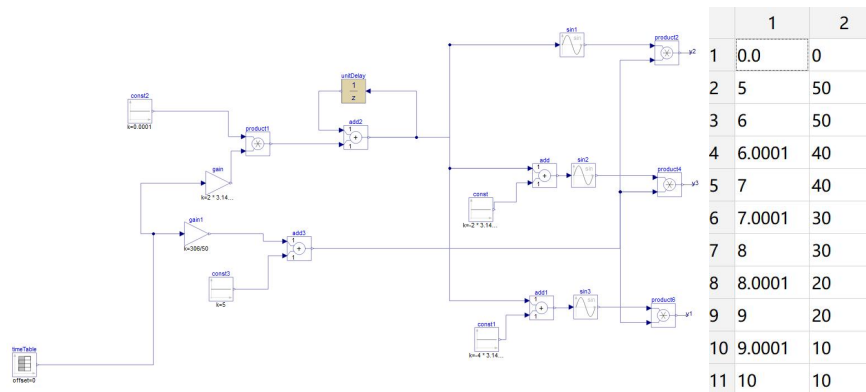


图 2.3.1 三相变频电源发生电路 (变频调速)

电机转速、转矩和电流波形如图 2.3.2 所示。

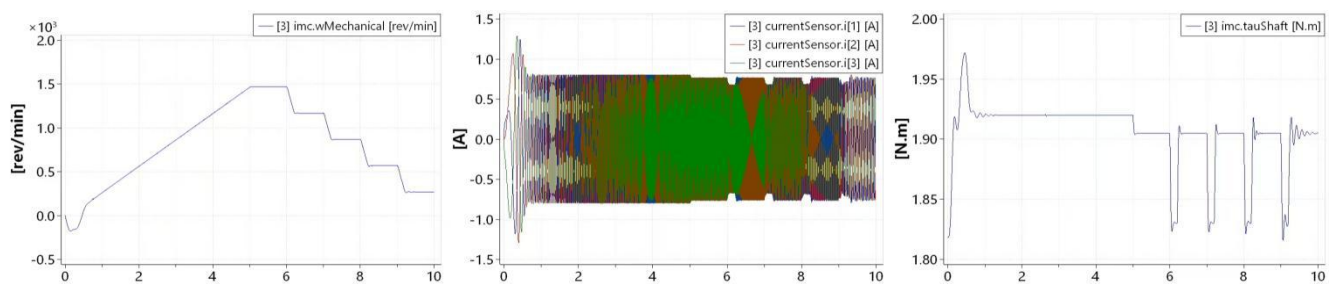


图 2.2.2 变频调速转速、电流与转矩波形

六、分析与思考

I、实物实验

1、三相异步电动机参数测定和工作特性

①空载实验

$r_1=40\ \Omega$ ，空载特性相关数据处理如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 三相异步电动机空载特性

序号	$U_0(V)$	$U_0^2(V^2)$	$I_0(A)$	$P_0(W)$	$P_0'(W)$
1	265.5	69837	0.212	20.04	14.63
2	236.9	55964	0.183	17.49	13.45
3	220.6	48429	0.168	15.77	12.40
4	189.2	35784	0.140	13.72	11.35
5	152.7	23317	0.112	11.46	9.95
6	119.4	14352	0.091	10.01	9.02
7	86.1	7486	0.075	9.076	8.40
8	64.9	4303	0.075	8.695	8.02

空载特性曲线 $I_0=f(U_0)$ ， $\cos\phi_0=f(U_0)$ ， $P_0=f(U_0)$ ($P_0=f(U_0^2)$) 如图 1.1.1、1.1.2 所示。

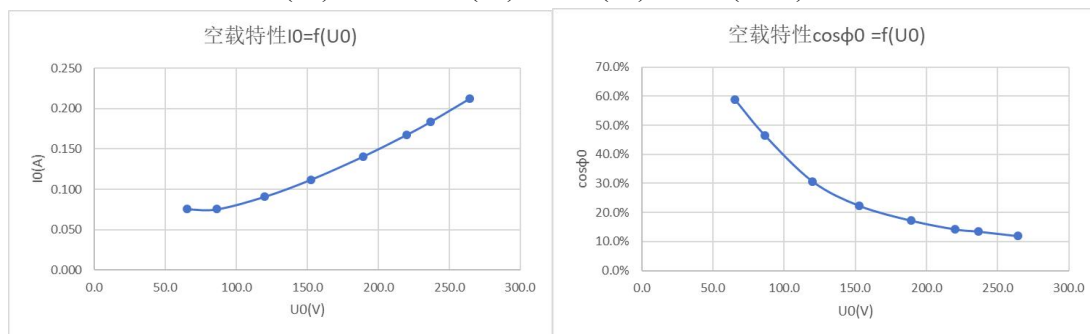


图 1.1.1 空载特性曲线 ($I_0=f(U_0)$ ， $\cos\phi_0=f(U_0)$)

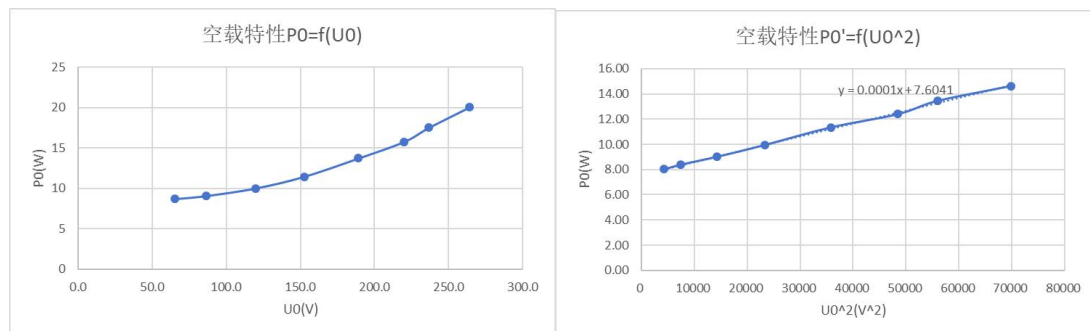


图 1.1.2 空载特性曲线 ($P_0=f(U_0)$ ， $P_0'=f(U_0^2)$)

由图 1.1.1 可见，空载实验相电压增大时，相电流增大，斜率也随之增大，说明励磁阻抗也有增大趋势；功率因数减小，说明使阻抗增大的主导因素是励磁电抗。

由图 1.1.2 可见，空载实验相电压增大时，总功率增大。其中包含铁耗、机械损耗和 r_1 对应铜耗，经过公式 $P_0'=P_0-m_1I_0^2r_1=p_{Fe}+p_{mec}$ 得到对应趋势线公式为

$P_0'=0.0001U_0^2+7.6041$ ，式中与 U_0^2 成正比部分为空载铁耗，常数部分对应机械损耗。

②短路实验

短路特性相关数据处理如表 1.2.2 所示。

表 1.2.2 三相异步电动机空载特性

序号	U_k	I_k	P_k	$\cos\phi_k$
1	74.77	0.333	28.91	38.7%
2	65.95	0.278	20.56	37.4%
3	63.29	0.264	18.34	36.6%
4	53.95	0.209	11.63	34.4%
5	42.56	0.146	5.831	31.3%
6	30.39	0.084	1.993	26.1%

短路特性曲线 $I_k = f(U_k)$, $\cos\phi_k = f(U_k)$, $P_k = f(U_k)$ 如图 1.2.1 所示。

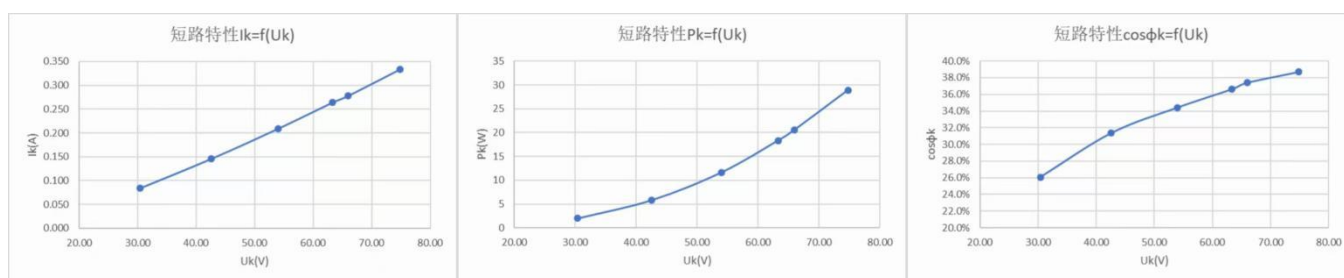


图 1.2.1 短路特性曲线

由图 1.2.1 可见，短路实验相电压增大时，相电流线性增大，总功率平方增大，说明阻抗基本不变；功率因数约由 26% 上升至 39%，说明电抗在电路中的影响随电压增大而减小。

参数测定：

由短路实验第 2 组数据 ($I_\phi = I_N / \sqrt{3}$) 求短路参数 ($r_1 = 40 \Omega$)：

$$\text{短路阻抗 } Z_k = \frac{U_k}{I_k} = 237.31 \Omega, \text{ 短路电阻 } r_k = \frac{P_k}{3I_k^2} = 88.74 \Omega, \text{ 短路电抗}$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} = 220.10 \Omega, \text{ 转子电阻折算值 } r_2' \approx r_k - r_1 = 48.74 \Omega, \text{ 定转子绕组漏抗}$$

$$X_{2\sigma} \approx X_{1\sigma} \approx 0.5X_k = 110.05 \Omega。$$

由空载实验第 3 组数据 ($U = U_N$) 求激磁回路参数：

$$\text{空载阻抗 } Z_0 = \frac{U_0}{I_0} = 1316.00 \Omega, \text{ 空载电阻 } r_0 = \frac{P_0}{3I_0^2} = 187.07 \Omega, \text{ 空载电抗}$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} = 1302.64 \Omega, \text{ 激磁电抗 } X_m = X_0 - X_{1\sigma} = 1192.59 \Omega, \text{ 激磁电阻}$$

$$r_m = \frac{P_{Fe}}{3I_0^2} = 57.45 \Omega。$$

③负载实验

负载实验工作特性曲线 $P_1 = f(P_2)$, $I_1 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $\cos \phi_1 = f(P_2)$, $n = f(P_2)$, $S = f(P_2)$ 如图 1.3.1、1.3.2 所示。

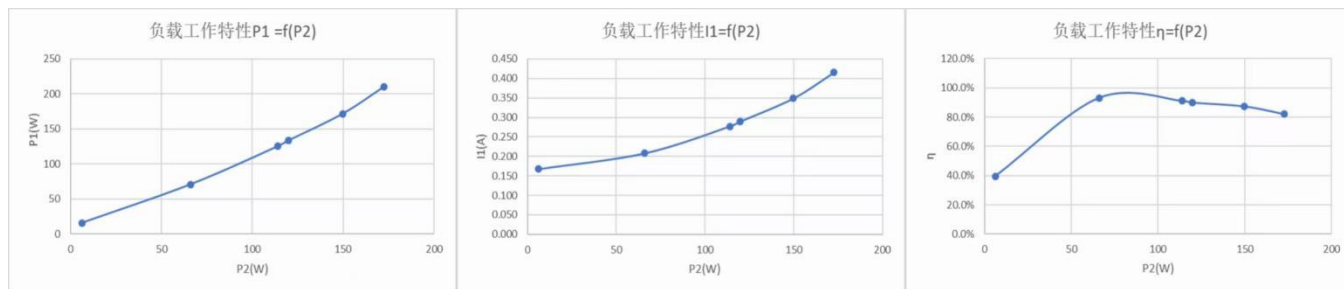


图 1.3.1 负载工作特性曲线 ($P_1 = f(P_2)$, $I_1 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$)

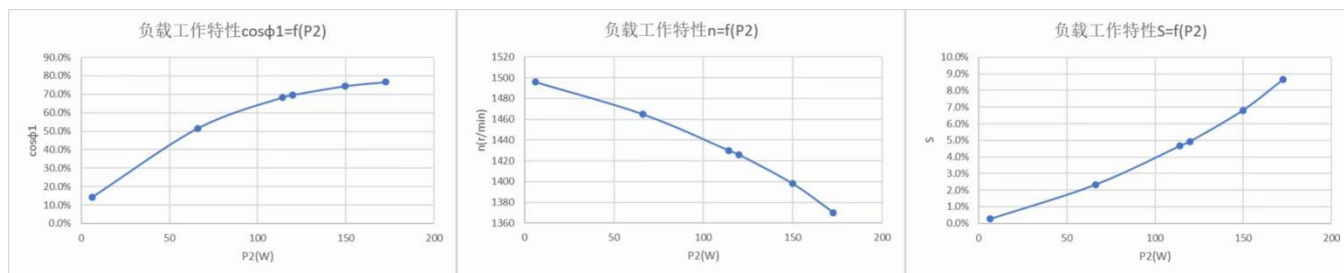


图 1.3.2 负载工作特性曲线 ($\cos \phi_1 = f(P_2)$, $n = f(P_2)$, $S = f(P_2)$)

由图 1.3.1、1.3.2 可知，负载条件下随着输出功率增大，输入功率、电流、功率因数以及效率均增大，转差率增大，转速减小。

2、三相感应电动机 Y/Δ 起动

$I_{Y/\Delta} = 1.86A$, $\frac{1}{3}I_{\Delta} = 1.84A$, 二者几乎相等，仅存在 1.08% 的误差，因此符合 Y/Δ 起动最大冲击电流是直接起动最大冲击电流的三分之一的理论预期，实验较为成功。

II、仿真实验

1、直接起动实验

电机能够快速达到稳定工作状态。电机的机械转速在起动后迅速上升至一个稳定值，大约在 1.5×10^4 r/min；三相电流在起动瞬间有一个较大的冲击，然后迅速下降并稳定在一个正值附近；电机的输出转矩在经历短时振荡后迅速降至一个稳定值。

在 7 秒负载从 -0.2 Nm 跃变到 -2.2 Nm 时，机械转速有小幅下降，电流幅值迅速增大，输出转矩立即增大与之平衡。

2、变频起动实验

对比三组实验，随着变频速率放缓，转速上升至稳定值的时间变长，起动时转矩振荡幅度减小，起动电流相对直接起动都大幅减小。

在 7 秒负载从 -0.2 Nm 跃变到 -2.2 Nm 时，机械转速均有小幅下降，电流幅值小幅增大，输出转矩立即增大与之平衡。

3、变频调速实验

电机前 5s 变频起动，于第 6s 开始每隔 1s 下降 10Hz，每次变化后，电机机械转速阶梯式下降；电流小幅减小后迅速恢复原幅，电流变化频率减小；转矩下降 0.1Nm 左右立即恢复稳定值。值得注意的是，变速调频后转矩稳定值低于 50Hz 对应稳定值，且在频率较低时恢复稳定值会发生小幅振荡。

七、讨论与心得

I、实物实验

思考题：

1、由空载、短路实验所得的数据求取异步电动机的等效电路参数时，有哪些因素会引起误差？

- (1) 测量仪表的精度和准确度
- (2) 空载实验时电压较小情况下，转速快速降低，转子之间的摩擦力对测量产生的影响较大，使得空载实验测量所得数据在低电压下误差较大
- (3) 计算过程中进行小数点的省略和数值的约算，产生误差
- (4) 图表法拟合曲线求铁耗时容易产生误差

2、从短路特性曲线 $I_k=f(U_k)$ 的形状可得出哪些结论？

- (1) 此电机的短路特性曲线为一条直线，相当于此时电机为一个纯电阻
- (2) 此时电机不向外输出机械功率，电机功率转化为内阻上的发热功率

3、试分析由直接负载法和损耗分析法求得的电动机效率各存在什么误差？

直接负载法通过测量电动机的输入功率和输出轴功率来确定效率。这种方法的主要误差来源包括电压、电流互感器的误差、测量仪表的误差、转速和转矩传感器的误差、电机本身质量（如轴承）和工作制以及负载变化的影响

损耗分析法通过计算电动机的各项损耗（如铁耗、风磨耗、机械耗、铜耗）来求出效率。这种方法的误差可能包括空载试验、负载试验和温升试验的测量误差、计算过程中的误差积累、理论计算与实际工作条件之间的差异，如温度、散热、负荷等条件的影响。

两种方法的误差都可能受到测量设备精度、试验条件、以及计算过程中的假设和近似的影响。直接负载法可能更适合于快速测试和对整体效率的大致估计，而损耗分析法可能更适合于需要详细损耗分布的详细分析。

II、仿真实验

1、

(1) 仿真实验基本步骤：

- 1.搭建仿真电路，设置电机参数和变频电源；
- 2.施加负载：确保电机在实验过程中承受指定的负载转矩；
- 3.记录数据，观察波形：观察并记录电机在变频调速过程中的转速、电流和转矩波形。

(2) 实验过程遇到的问题及解决方法：

斜坡上升时间设置不当，导致启动过程中的效率低下或对电网影响较大。实验中通过选择合适的斜坡时间，确保电机平稳加速到工作频率。

(3) 仿真实验的优缺点：

优点：

- 1.成本效益：仿真实验可以在不需要实际硬件的情况下进行，节省了成本。
- 2.安全性：仿真实验可以测试极端条件，而不会对人员或设备造成危险。
- 3.可重复性：仿真实验可以轻松重复进行，便于比较不同参数设置下的性能。
- 4.快速迭代：设计更改和测试可以在仿真环境中快速进行，加速开发过程。

缺点：

- 1.模型不准确：仿真模型可能无法完全捕捉所有实际系统的动态行为，导致预测和实际结果之间存在差异。
- 2.忽略非线性效应：仿真可能无法充分考虑所有非线性效应，如磁饱和、铁损等。
- 3.缺乏物理感觉：仿真无法模拟实际操作中的物理感觉，如声音、振动等。
- 4.依赖软件：仿真结果的准确性和有效性高度依赖于仿真软件的能力和用户的操作技能。

(2) 电机直接起动和变频调速起动的转矩、转速上升的不同，起动电流的区别等已于“分析与思考”部分记录。

(3) 观察恒负载转矩下变频调速的转速和电流变化情况，尝试分析低频补偿电压的作用。

低频补偿电压的作用是在变频电源的输出频率较低时，通过提高输出电压来保证电机的磁通量保持恒定，有助于防止电机在低频运行时过热，从而延长电机的使用寿命，维持电机的性能。适当的电压补偿也可以减少电机在低速运行时的损耗，提高效率。电机的电阻和电感的影响在低速时更为显著，在低频时提高电压可以补偿频率下降导致的转矩下降，确保电机在低速时也能提供足够的起动转矩。

实验心得与体会：

在本次实验中，我系统地测量了三相异步电动机在空载、短路和负载三种不同工作状态下的各项参数，并据此绘制了特性曲线。通过这些实验操作，我不仅熟练掌握了利用空载与短路测试数据来计算等效电路参数的方法，进一步巩固了对异步电动机等效电路理论的理解，还加深了对电机性能分析的实际应用能力。

在观察不同起动方式的暂态过程时，借助示波器的帮助，直观地看到了Y/Δ起动方法如何有效地减少最大冲击电流，从而保护电路免受损坏。这一实践环节极大地增强了我对课堂上所学理论知识的感性认识，使抽象的概念变得具体而生动。

实验准备阶段的充分预习以及团队成员间的默契配合，确保了线路连接无误，实验数据采集顺利进行。最终获得的特性曲线和计算出的参数均与理论预期高度一致，整个实验过程流畅且成果显著。通过这次深入的实验学习，我对电机的工作原理及其控制策略有了更为全面的认识，这将为未来的学习和研究打下坚实的基础。