

《电机与拖动基础》实验

实验一 直流电动机工作特性

专业/班级 自动191

学号/姓名 2019308130215/孟令昶

报告日期 2021年10月15日

中国农业大学信息与电气工程学院

基于 MATLAB 完成直流电动机工作特性实验

一台他励直流电动机的额定数据： $P_N=22\text{kW}$ ， $U_N=220\text{V}$ ， $I_N=115\text{A}$ ， $n_N=1500\text{r/min}$ ， $R_a=0.21\Omega$ ；

一台串励直流电动机的额定数据： $P_N=22\text{kW}$ ， $U_N=220\text{V}$ ， $n_N=1500\text{r/min}$ ， $R_f=0.31\Omega$ ， $R_a=0.18\Omega$ ，磁路不饱和时的比例系数为 0.01。

基于 MATLAB 完成上述两台电机的转速、电磁转矩特性绘制，并按要求 撰写实验报告。

一、实验目的

1. 分析他励和串励直流电动机的机械特性和工作原理；
2. 培养理论联系实际的思想，训练运用电机拖动课程相关知识的能力；
3. 确立直流电动机机械特性模型，学会使用 Matlab 仿真工具进行仿真与调试；

二、实验项目

基于 MATLAB 完成以下两台电机的转速、电磁转矩特性绘制，并按要求撰写实验报告。

(1) 一台他励直流电动机的额定数据： $P_N=22\text{kW}$ ， $U_N=220\text{V}$ ， $I_N=115\text{A}$ ， $n_N=1500\text{r/min}$ ， $R_a=0.21$ ；

(2) 一台串励直流电动机的额定数据： $P_N=22\text{kW}$ ， $U_N=220\text{V}$ ， $I_N=115\text{A}$ ， $n_N=1500\text{r/min}$ ， $R_f=0.31$ ， $R_a=0.18$ ，磁路不饱和时的比例系数 K 为 0.01；

三、实验所用设备或软件

本实验使用的是 Matlab R2019b 软件

四、实验方法

根据他励、串励直流电动机的工作原理，建立机械特性的模型，利用 Matlab 进行仿真，具体实验方法如下：

- (i) 对于他励直流电动机，根据如下电路原理图

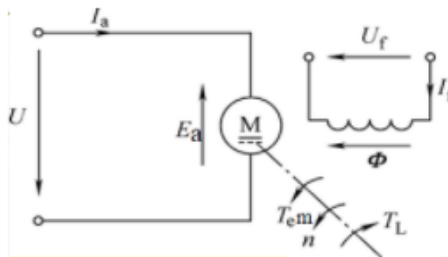


图 1 他励直流电动机电路原理图

列写电压平衡方程（1）、感应电动势（2）、电磁转矩表达式（3）

$$U = E_a + R_a I_a \quad (1)$$

$$E_a = C_e \cdot \Psi \cdot n \quad (2)$$

$$T_{em} = C_T \cdot \Psi \cdot I_a \quad (3)$$

可以建立他励直流电动机的转速特性（4）和转矩特性（5）的模型

$$n = \frac{U_n}{C_e \Psi} - \frac{R_a}{C_e \Psi} \cdot I_a \quad (4)$$

$$T_{em} = C_T \cdot \Psi \cdot I_a \quad (5)$$

（ii） 对于串励直流电动机，根据如下电路原理图

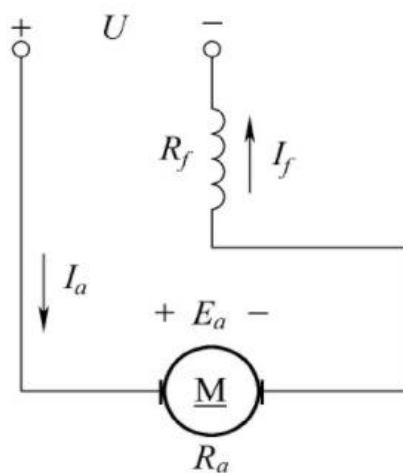


图 2 串励直流电动机电路原理图

列写电压平衡方程（6）、感应电动势（7）、电磁转矩表达式（8）、不同负载时磁通量与电流的关系（9），

$$U = E_a + (R_a + R_f) \cdot I_a \quad (6)$$

$$E_a = C_e \cdot \Psi \cdot n \quad (7)$$

$$T_{em} = C_T \cdot \Psi \cdot I_a \quad (8)$$

$$\Psi = \begin{cases} K \cdot I_a & \text{for Light Load} \\ \text{Const.} & \text{for Full Load} \end{cases} \quad (9)$$

假设负载电流等于额定电流 I_{aN} 为满载，为额定电流 I_{aN} 的 $2/3$ 为轻载，小于额定电流 I_{aN} 的 $1/2$ 为空载，可以建立串励直流电动机转速特性（10）和转矩特性（11）的模型

$$n = \begin{cases} (5 \sim 6) n_0 & \text{for Empty Load} \\ \frac{U_n}{C_e K I_a} - \frac{R_a}{C_e K} & \text{for Light Load} \\ \frac{U_n}{C_e \Psi} - \frac{R_a}{C_e \Psi} \cdot I_a & \text{for Full Load} \end{cases} \quad (10)$$

$$T_{em} = \begin{cases} 0 & \text{for Empty Load} \\ C_T \cdot K \cdot I_a^2 & \text{for Light Load} \\ C_T \cdot \Psi \cdot I_a & \text{for Full Load} \end{cases} \quad (11)$$

再根据以上模型在 Matlab 中编程建立相应的数学模型，进行仿真分析。

五、实验结果

（1）他励直流电动机：

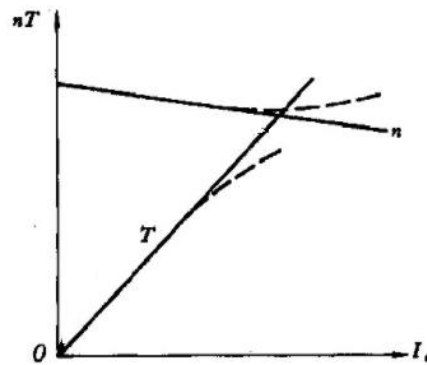


图 3 他励直流电动机转速特性和转矩特性的理论曲线

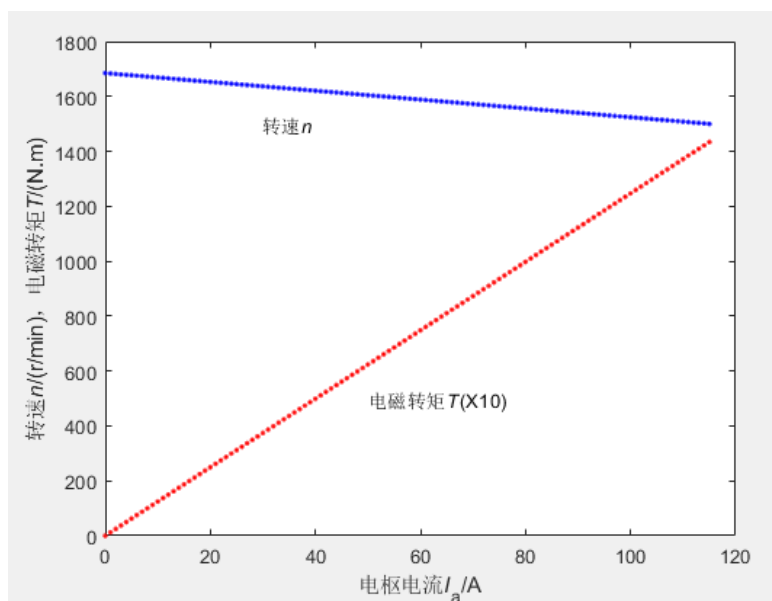


图 4 实验仿真结果

(2) 串励式直流电动机：

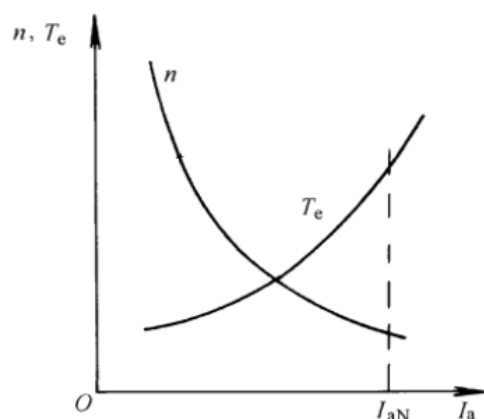


图 5 串励式直流电动机转速特性和转矩特性的理论曲线

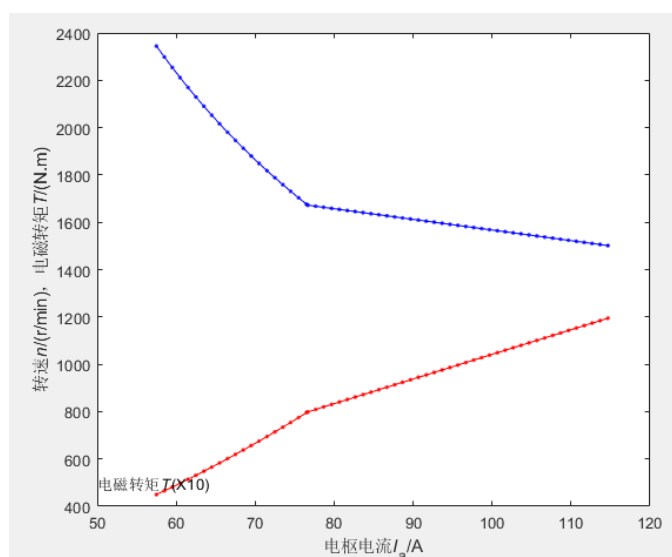


图 6 实验仿真曲线

六、实验总结

(1) 他励直流电动机的转速 n 与电流 I_a 呈反比，当负载增加使 I_a 增大时，导致电机转速 n 下降（ I_a 增加时， n 下降不多，属于硬特性）；在不考虑电枢反应的前提下，他励直流电动机的转矩 T_e 与电流 I_a 呈正比，在考虑电枢反应的时候， T_e 会随着 I_a 的增加略有下降。

(2) 串励直流电动机的机械特性与负载量有关，空载运行时， $I_a \approx 0$ ，磁通量 Φ 很小，转矩 ≈ 0 ，转速 $n \approx (5 \sim 6) n_0$ ，因此串励直流电动机绝不可以空载运行；轻载时 I_a 较小，磁通量 $\Phi \propto I_a$ ， $\Phi = K \times I_a$ ，串励直流电动机转速 n 与电流 I_a 呈双曲线关系，转矩 T_e 与电流 I_a 呈抛物线关系；满载时，磁通量 Φ 近似为常量，串励直流电动机转速 n 与电流 I_a 呈反比关系（当 I_a 增加时， n 下降较多，属于软特性），转矩 T_e 与电流 I_a 呈正比关系。

附：程序代码

(I) 他励直流电动机代码：

```
%-----输入电动机参数-----
UN=220;PN=22;IaN=115;Nn=1500;
Ra=0.21;% 输入电枢电阻
CePhiN=(UN-Ra*IaN)/Nn;% 电动势计算常量 $C_e\Phi_n$ 
CTPhiN=9.55*CePhiN;% 电磁转矩常量 $C_t\Phi_n$ 
Ia=0:IaN;% 电枢电流范围0~IaN
%-----机械特性-----
n=UN/CePhiN-Ra/(CePhiN)*Ia;% 计算转速
TN=CTPhiN*Ia;% 计算电磁转矩
TNP=TN*10;% 扩大十倍显示
%-----画图-----
plot(Ia,n,'b.',Ia,TNP,'r.');
```

% 绘制机械特性曲线

```
xlabel('电枢电流{\it I}_a/A');
ylabel('转速{\it n}/(r/min) 电磁转矩{\it T}/(N.m)');
text(30,1500,'转速{\it n}');%标记转速
text(50,500,'电磁转矩{\it T}(X10)');%标记电磁转矩
%-----Users Code Ends-----
```

(II) 串励直流电动机代码：

```
%-----输入电动机参数-----
UN=220;PN=22;IaN=115;Nn=1500;K=0.01;
Ra=0.18;%输入电枢电阻
Rf=0.31;%励磁电阻
%-----轻载-----
Ia1=0.5*IaN:(2/3)*IaN;
Ce=(UN-(Ra+Rf)*IaN)/(Nn*K*(2/3)*IaN);% 电动势计算常量 $C_e\Phi_n$ 
R=Ra+Rf;
n1=UN/(Ce*K*Ia1)-R/(Ce*K);
Ct=9.55*Ce;
TN1=Ct*K*Ia1.*Ia1;
TNP1=TN1*10;
%-----满载-----
Ia2=(2/3)*IaN:IaN;% 电枢电流范围0~IaN
CePhiN=(UN-(Ra+Rf)*IaN)/Nn;% 电动势计算常量 $C_e\Phi_n$ 
n=UN/CePhiN-(Ra+Rf)/(CePhiN).*Ia2;% 计算转速
CTPhiN=9.55*CePhiN;% 电磁转矩常量 $C_t\Phi_n$ 
TN=CTPhiN*Ia2;% 计算电磁转矩
TNP=TN*10;%扩大十倍显示
%-----画图-----
plot(Ia1,n1,'b.-',Ia2,n,'b.-',Ia1,TNP1,'r.-',Ia2,TNP,'r.-');
```

% 绘制曲线

```
xlabel('电枢电流{\it I}_a/A');  
ylabel('转速{\it n}/(r/min) 电磁转矩{\it T}/(N.m)');  
text(30,1500,'转速{\it n}');%标记转速  
text(50,500,'电磁转矩{\it T}(x10)');%标记电磁转矩  
%-----Users Code Ends-----
```