

哈爾濱工業大學講義

電機實驗指導

電機教研室編



1955

哈爾濱工業大學

電機實驗指導

電機教研室編

1955年

編者：電機教研室
出版者：哈爾濱工業大學
印刷者：哈爾濱工業大學印刷廠

1955年7月

前 言

本實驗指導是爲了滿足我校電機學教學需要，根據電機學教學大綱、實驗室設備條件及在原有的實驗講義的基礎上編寫的。在編寫過程中曾得到蘇聯專家尤·康·瓦西里也夫（Ю. К. Васильев）的指導。教研室參加此項工作的有尹家驥、謝中孚、竺培勳、格·柯·埃菲莫夫、熊振華、馮寶嶼等同志。

內容共包括實驗二十三個，計直流電機試驗九，溫升試驗一，變壓器試驗四，交流電機試驗九。實驗數較教學計劃規定的電機學實驗數爲多，可供學生科學研究小組進行實驗之用。本實驗指導可供高等工業學校電機學實驗參考。

哈爾濱工業大學電機教研室

1955年7月

目 錄

實驗 1	直流他激與並激發電機	1
實驗 2	直流複激發電機	8
實驗 3	直流並激電動機	12
實驗 4	直流串激電動機	18
實驗 5	直流並激發電機的並聯運用	23
實驗 6	直流複激發電機的並聯運用	26
實驗 7	直流電機的損耗分析和效率的決定法	29
實驗 8	直流電機的換向	35
實驗 9	交軸磁場電機放大機	40
實驗 10	電機的溫升試驗	45
實驗 11	三相二繞組變壓器	50
實驗 12	三相變壓器的不平衡短路	60
實驗 13	三相變壓器的並聯運用	72
實驗 14	三相三繞組變壓器	77
實驗 15	三相滑環式異步電動機	84
實驗 16	三相鼠籠式異步機	91
實驗 17	單相異步電動機	95
實驗 18	三相同步發電機	99
實驗 19	三相同步電動機	110
實驗 20	三相同步發電機與電網的並聯運用	115
實驗 21	單相排斥電動機	119
實驗 22	三相並激整流子電動機	123
實驗 23	單樞變流機	127

實驗 1

直流他激與並激發電機

實驗目的

求並激和他激發電機的主要工作特性曲線，以確定剩磁、飽和程度及激磁電流與電壓的百分變化。說明由實驗所得的與作圖所得的特性曲線相符合的程度。將實驗所得數據與國家標準比較之。

實驗提綱

1. 測量電樞及激磁繞組的電阻，並折算到 75°C 。
2. 置電刷於幾何中心線上（在有換向機的電機中）。
3. 他激發電機試驗：

a) 作空載試驗並畫曲線 $E_0 = f(i_B)$,

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$, $I_a = 0$ 。

由空載特性曲線，決定在額定工作時：

氣隙磁勢—— F_g 和 鐵磁部份磁勢—— F_c 。

b) 作短路試驗並作曲線 $I_k = f(i_B)$,

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$, $U = 0$ 。

c) 作外特性試驗，並作曲線 $U = f(I_a)$,

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$, $i_B = \text{常數}$ 。

求出電壓升高的百分值。

d) 作發電機調整特性試驗，並作曲線 $i_B = f(I_a)$,

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$ 和 $U = U_H = \text{常數}$ 。

e)* 作負載特性試驗，並作曲線 $U = f(i_B)$,

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$, $I_a = I_H = \text{常數}$ 。

4. 根據空載、短路特性及所測得的電樞電阻值，作出 $I_k = I_H$ 時的短路三角形。

* 表示彈性材料，可以根據情況取捨。以下同此。

5. 根據空載及短路時特性，用作圖法作出外特性及調整特性曲線。

6. 並激發電機試驗：

a) 作外特性試驗，並作曲線 $U = f(I)$ ，

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$ ， $R_B = R_H = \text{常數}$ 。

求出電壓升高的百分值。

b) 作空載試驗，並作曲線 $U_0 = f(I_B)$ ，

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$ ， $I = 0$ 。

由空載特性曲線決定激磁繞組的臨界電阻。

將並激和他激發電機的空載特性曲線畫在同一張座標紙上。

將並激機的電壓下降分成由於電樞電阻、電樞反應及激磁電流減小所引起的三個壓降。

c) 作速度特性試驗，並作曲線 $U_0 = f(n)$ ，

試驗在空載進行，同時保持 $R_B = \text{常數}$ 。

由特性曲線求出臨界轉速。

〔附註〕磁場電阻值是確定在 $U = U_H$ 下 $n = n_H$ 時的位置。

7. 結論

a) 剩磁的大小。

b) 磁路飽和程度。

c) 在電樞電路內及電樞反應的電壓降。

d) 他激發電機與並激發電機由額定負載至空載的 ΔU 及 Δn 的變化量。

實驗明說

1. 按圖 1—1 接線，進行實驗。

2. 熟悉電機之構造、實驗儀器之用法，並記錄名牌值。

3. 用直流安培和伏特計法或用电橋測量各繞組的電阻，測量時應在電樞取 3—4 個不同的位置，取其平均值，記錄周圍空氣溫度，並將電阻值折合到 75°C 。

4. 將電刷放置於幾何中心線上——在電樞端點接一 1.5—3 伏雙

注意：調節激磁電流時，只能依此向一個方向變化（即由 $i_{BX} \rightarrow 0$, $0 \rightarrow -i_{BX}$, $-i_{BX} \rightarrow 0$, $0 \rightarrow i_{BX}$ ），此處 i_{BX} 相當於 $U \approx 1.3 U_H$ 時的激磁電流。

在磁滯迴環的每一支路上取 5—6 點即可，由所得之磁滯迴環作出平均磁化曲線。

由空載特性曲線，求產生空載電壓

$U_0 = U_H + I_{aH} R_a \pi^{\circ} + 2\Delta U_{\text{ш}}$ 時所需要的氣隙磁勢 F_0 和鐵磁路中的磁勢 F_c 。

6) 短路試驗：保持電動機的轉速為額定，將發電機的激磁電流減小至零，然後將電樞短路。逐漸增加激磁電流直至電樞電流 $I_a \approx 1.25 I_H$ 為止，共取 3—4 點，記錄激磁電流 i_B ，短路電流 I_k 。

將實驗數據記入下表：

$n = n_H =$ 轉/分； $U = 0$ 伏

i_B				
I_k				

由實驗所得之數據作短路特性曲線。

8) 發電機外特性試驗：同時調節發電機的負載電阻 HP ，激磁電阻 PP_2 和電動機之轉速，使發電機達到額定工作情況（即 $U = U_H$, $I_a = I_H$, $n = n_H$ ）。維持激磁電流於此值不變（即 $i_B = i_{BH}$ ），調節負載電阻，使電樞電流由 $I_a = 0$ 至 $I_a \approx 1.25 I_H$ ，注意在改變負載的同時，必須調節電動機激磁電阻 PP_1 ，保持轉速不變。記錄發電機的端電壓和負載電流；取 4—5 點。

將實驗數據記入下表：

$n = n_H =$ 轉/分； $i_B =$ 安。

I_a					
U					

由實驗所得之數據作出外特性曲線，並由此找出電壓升高百分值。

2) 調整特性試驗：調節發電機的激磁電阻 PP_2 及電動機的轉速，使發電機在空載時 $n = n_H$ ， $U = U_H$ 。然後改變負載電阻 HP ，使電流 I_a 自 $0 \rightarrow 1.25 I_H$ ，與此同時，調節發電機的激磁電流和電動機之轉速，使得電壓和轉速都維持原先的額定值，其間取 4—5 點並記錄發電機的負載電流和激磁電流。

將實驗數據記入下表：

$n = n_H =$ 轉/分； $U = U_H =$ 伏

I_a					
i_B					

按實驗所得之數據，作調整特性曲線，並求出激磁電流變化的百分值。

$$\Delta i_B \% = \frac{i_{BH} - i_{B0}}{i_{BH}} 100 \%$$

此處 i_{BH} ——對應於 $I_a = I_H$ 時的激磁電流；

i_{B0} ——對應於 $I_a = 0$ 時的激磁電流。

3) 負載特性試驗：調節負載電阻 HP 及發電機激磁電阻 PP_2 ，使在最大可能的激磁電流及額定轉速時 $I_a = I_H$ 。然後逐漸減少激磁電流直至 $i_B \approx (\frac{1}{3} + \frac{1}{4}) i_{BH}$ ，與此同時，變更負載電阻 HP ，以維持 $I_a = I_H$ 值不變。其間取 4—5 點，並記錄激磁電流及端電壓。

將實驗數據記入下表：

$n = n_H =$ 轉/分； $I_a = I_H =$ 安

i_B					
U					

按實驗所得之數據作負載特性曲線。

4) 由已得之數據作出短路三角形。

MC) 由空載特性及短路三角形，用作圖法作出外特性及調整特性曲線。

6. 並激發電機試驗

作此實驗時，可將開關 P_4 投於“B”的位置上。開關 P_3 的位置應這樣來確定，就是發電機在額定轉速及電阻 PP_2 短接時能自激。

a) 外特性試驗：同時調節發電機的負載電阻 HP ，激磁電阻 PP_2 和電動機的轉速，使發電機達到額定工作情況（即 $U=U_H, I_a=I_H, n=n_H$ ），維持激磁電阻及轉速於此值不變，改變負載電阻，使電樞電流 I_a 由 $0 \rightarrow 1.25 I_H$ 。記錄發電機的端電壓和負載電流，取 4—5 點。

將實驗數據記入下表：

$$n = n_H = \quad \text{轉/分}; \quad r_{0a} + r_{PP2} = \text{常數}$$

U					
I					

按照實驗所得之數據作外特性曲線，並求出電壓上升之百分值。

b) 空載試驗：將負荷電阻 HP 斷開，使 $I=0$ ，保持 $n=n_H$ 常數，調節激磁電阻 PP_2 ，使 $U_0 \approx 1.3 U_H$ 。然後逐漸減少激磁電流至 $i_B=0$ 。再逐漸增加激磁電流直至 $U_0 \approx 1.3 U_H$ 為止。每條曲線取 5—6 點，記錄激磁電流 i_B 及空載電壓 U_0 ，同時記錄剩磁電壓。

將實驗數據記入下表：

$$n = n_H = \quad \text{轉/分}; \quad I = 0.$$

U_0								
i_B								

由實驗所得之數據作空載特性曲線，並作出臨界電阻線與額定電壓時的電阻線。

由空載特性曲線和短路三角形作出電機的外特性曲線。

將並激發電機電壓下降，分成由於電樞電阻、電樞反應及激磁電流減小所引起的三個壓降。

6) 速度特性試驗: 調節激磁電阻 PP_2 , 使在 $n = n_H$ 時 $U_0 = U_H$, 維持激磁電阻不變, 然後改變電動機的激磁電阻 PP_1 , 以降低速度, 記錄發電機的轉速和空載端電壓值 4—5 點。

將實驗數據記入下表:

$$I = 0 \text{ 安}; r_{0B} + r_{PP2} = \text{常數}$$

n					
U_0					

由實驗數據作速度特性曲線, 並決定臨界轉速。

7. 根據實驗提綱結論部分所舉各點來評定實驗結果。

實 驗 2

直 流 複 激 發 電 機

實 驗 目 的

求積複激發電機的主要工作特性，並與差複激及並激情況比較之。
研究中激繞組的作用。

實 驗 提 綱

1. 了解實驗設備情況，抄錄電機名牌數據及測量儀表的數據。
2. 用伏特計及安培計法測量電樞迴路各段（電樞繞組、串激繞組、附加繞組）的電阻。將電阻折算至 75°C 的値。
3. 校對電刷位於幾何中心線上（有附加極電機）。
4. 作空載試驗並作空載特性曲線 $U_0 = f(i_B)$ ：
 - a) 並激繞組他激；
 - b) 串激繞組他激。

試驗時 $n = n_H = \text{常數}$ 。

5. 作差複激時的短路試驗並作短路特性曲線 $I_k = f(i_B)$ ，試驗時 $n = n_H = \text{常數}$ ， $U = 0$ 。

6. 作並激及和複激的調整特性試驗並作調整特性曲線 $i_B = f(I_a)$ ，試驗時 $U = U_H = \text{常數}$ ， $n = n_H = \text{常數}$ 。

由調整特性曲線求在額定負載時維持額定電壓所需要的並激及串激繞組匝數的比。

7. 作外特性試驗並作曲線 $U = f(I_a)$ ：
 - a) 和複激時；
 - b) 差複激時；
 - c) 並激時。

試驗過程中維持 $n = n_H = \text{常數}$ ，並激迴路電阻 $R_{H1} = \text{常數}$ 。

8. 由空載及短路特性曲線作和複激發電機的

- a) $I = I_H$ 的負載特性曲線;
 - б) 外特性曲線。
9. 由實驗結果作結論。
- a) 剩磁大小;
 - б) 電機鐵的飽和程度;
 - в) 電樞迴路的電壓降、電樞反應磁勢及附加極磁勢;
 - г) 各種激磁情況下的外特性曲線;
 - д) 由作圖法及試驗所得的特性曲線的符合程度。

實驗說明

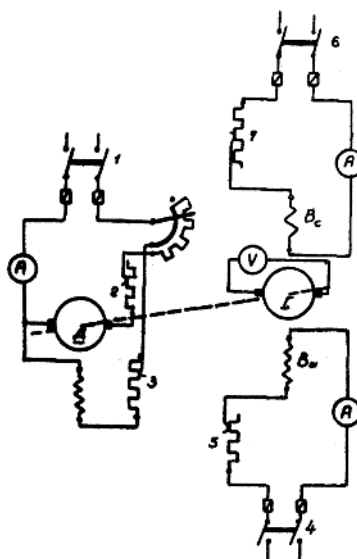


圖 2-1

i_B 。記錄可用表 1-1 的格式。

1. 校對電刷位置。
參看實驗 1 說明第 4 節。
2. 空載試驗。

試驗接綫圖列示於圖 2-1，試驗作法可參看實驗 1 說明第 5 節。

a) 並激繞組他激時——維持發電機的轉速為額定 $n = n_H$ ，合上開關 4，調節電阻 5 改變並激繞組電流 i_B 由 0 至 i_B 。這時發電機空載電壓 $U_0 = 1.2 U_H$ ，記錄 U_0 及 i_B 。然後再減少 i_B 至 0，記錄 U_0 及 i_B 。

б) 串激繞組他激——維持發電機的轉速為額定值，合上開關 6，利用電阻 7 改變串激繞組電流 i_B 由 0 至 $i_B = 1.2 I_H$ ，然後再由 $1.2 I_H$ 減至 0，記錄 U_0 及

3. 差複激時短路特性試驗

接線圖例示於圖 2—2。維持發電機速度為恒定值 $n = n_H$ ，利用開

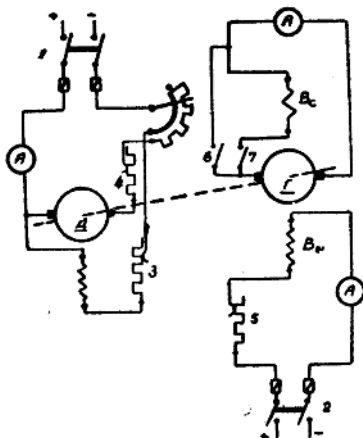


圖 2—2

關 6 及 7，以確定激磁繞組 B_c 與 B_m 的正確聯接。如二者作用方向相反，則合上開關 2（開關 6 敞開，7 合上），利用電阻 5 以改變激磁電流，使短路電流變化於最小值及 $1.2 I_H$ 之間，記錄並激繞組 B_m 、激磁電流及短路電流 I_k 。記錄可用表 1—2 的格式。

4. 調整特性試驗

接線圖例示於圖 2—3。維持發電機速度為額定值，將開關 2 投向 a （或 δ ），調節電阻 6 以變負載電流 I ，使由最小值達至 $1.2 I_H$ ，同時調節電阻 5 以維持發電機端電壓 $U = U_H$ ，記錄並激繞組 B_m 的電流 i_B 及負載電流 I 。記錄可用表 1—4 的格式。

5. 外特性試驗

接線圖例示於圖 2—3，維持轉速及並激迴路電阻不變，調節負載

電阻 6，使負載電流由零至額定值，記錄端電壓及負載電流。記錄可用表 1—6 的格式。

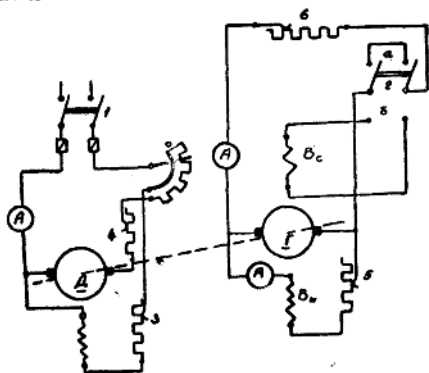


圖 2—3

這試驗分三次作，即：

a) 和複激情況——並激繞組與串激繞組的作用一致；開關 2 投於 b。

b) 差複激情況——串激繞組的作用與並激繞組的作用相反；開關 2 投於 b，不過串激繞組端接頭須換接。

c) 並激情況——串激繞組不供電，開關 2 投於 a。

附註：選擇並激繞組迴路的電阻時，應使發電機在空載時端電壓為額定值。

實 驗 3

直 流 並 激 電 動 機

實 驗 目 的

求並激電動機的工作特性、機械特性、調整特性，就轉速及效率*方面比較這些特性，並校檢名牌數據。

實 驗 提 綱

1. 了解試驗的設備，抄錄電機名牌的數據和測量儀表的數據。
2. 測量電機各繞組的電阻。將電阻折算至 75°C 時的值。測量電阻後記錄周圍介質的溫度。
3. 啟動電機並熟悉調速及改變轉動方向的方法。
4. 求電動機的工作特性並作特性曲線 $n, I, M, \eta = f(P_2)$ 。從曲線上找出對應於額定電流 I_N 時的 n_N, M_N, P_{2N}, η_N 及最大效率 $\eta_{\text{нб}}$ 。試驗時維持電動機端電壓 $U = U_N$ ，激磁電流 $I_B = I_{BN}$ 為恒定。
5. 求電動機的機械特性並作曲線 $n, \eta^* = f(M)$ 。從曲線上找出最大效率 $\eta_{\text{нб}}$ 。試驗時維持電動機端電壓 $U = U_N$ ，激磁電流 $I_B = I_{BN}$ 為恒定。
6. 求調整特性
 - a) 在電樞電路上串激電阻以調速。
 - i) 試驗時維持軸上有用功率 $M_2 \approx M_N$ 及激磁電流 $I_B = I_{BN}$ 。作曲線 $n, \eta^* = f(U_A)$ 。
 - ii) 試驗時維持軸上有用功率 $M_2 \approx 0$ 及激磁電流 $I_B = I_{BN}$ 。作曲線 $n, \eta^* = f(U_A)$ 。
 - b) 在激磁電路內加電阻以調速。
 - i) 試驗時維持電動機的外加電壓為恒定 $U = U_N, M_2 \approx \frac{3}{4} M_N$ 。作曲線 $n, I_B, \eta^* = f(I_B)$ 。
 - ii) 試驗時維持 $U = U_N, M_2 = 0$ 。作曲線 $n, I_{B0} = f(I_B)$ 。