



電力工業技工学校教材試用本

电 机 学

沈陽電力技工学校編

電力工業出版社

教育部《关于全面提高高等教育质量若干意见》

电机学

（第2版）

电机工业出版社

內 容 提 要

本書的內容，主要包括變壓器、異步電動機、直流電機和同步電機的一般原理、構造及其性能。

本書是電力工業技工學校培養發電廠和變電所電氣設備運行和檢修專業的學生的教材，同時亦可作為發電廠和變電所的技工的讀物。

電 機 學

沈陽電力技工學校編

492D183

電力工業出版社出版(北京·府右街26號)

北京市書刊出版業營業登記證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本·6 $\frac{1}{2}$ 印張·11·千字·定價(第9類)0.75元

1957年1月北京第1版

1957年1月北京第1次印刷(0001—14,100冊)

序 言

“電力工業技工學校教材試用本”原是沈陽電力技工學校1955年的教材，內包括鍋爐、汽機、電氣三個專業（每專業分運行和檢修兩班）的22種教材。沈陽電力技工學校編寫這套教材是以本校的教學計劃和教學大綱為根據，這個教學計劃和教學大綱是參照蘇聯技工學校的教學計劃和教學大綱制定，經電力工業部審查批准的。

由於電力技工學校的學員大都是初中程度的青年，他們都不懂技術，生活經驗也不豐富，因此在編寫這套教材時，盡量使內容淺顯，說理簡明，通俗易懂，並且避免了一些複雜公式的煩瑣推演和證明。另外，因為這些學員在畢業以後，經過現場短期的實習，就要投入生產，擔負火力發電廠的運行或檢修工作，所以教材的內容就特別注意貫徹法規和規程，結合現場實際的需要，並在必要的地方作了淺近的解釋，目的是使學員到達現場以後，很快地熟悉生產過程並掌握操作技術。因此，“電力工業技工學校教材試用本”不僅可供電力技工學校的學員學習，而且也可作為各發電廠培訓技術工人的教材，還可作為工人進修的讀物。

隨着國家電力工業蓬勃的發展，電力技工學校和現場

培訓工作也在迅速地前进。根据客观需要，电力工业出版社和沈阳电力技工学校共同研究，决定将1955年的教材修订出版。这套教材经中华人民共和国电力工业部教育司推荐作为“电力工业技工学校教材试用本”。

参加编写和修订这套教材的教师是很多的，其中有电气科的蔡元宇、吴修法、徐康吉、魏蔭蓀、施致中、王熹德等同志；汽机科有周礼惠、刘勤勋、楼维时、于学富、郁善同、康文秀、林虔、齐恩海等同志；锅炉科有李力夫、余立培、孙向方、蒋世澂、董树文、刘少青、王景龙、张印、孙吉星、王庆翰等同志；基础技术科有李天璞、程与权、杜金祥、吴淑华、李恒章、樊学忠等同志。在修订过程中，重庆电力技工学校张盛荣同志协助编写汽机专业热工学教材，重庆、上海二校教师周基善、蔡紹勤、胡駿之等同志对修订教材提出了许多宝贵的建议，并校对了一部分教材，特此对他们表示感谢。

编写本书曾参考“电机学”“交流电动机”等书，现亦谨此向著译者致谢。

虽然修订教材的同志们在主观上尽了最大的努力，但由于修订的时间短促和水平所限，因而不完善的地方无疑是存在的，我们诚恳地希望读者提出意见和批评，以便再版时修正。

沈阳电力技工学校

1956年7月

目 录

序 言

第一篇 变 压 器

第一章 变压器的工作原理	8
第1节 概述	8
第2节 基本原理	9
第3节 变压器的工作情况	10
第4节 向量圖	12
第5节 漏磁通	15
第二章 变压器的構造	17
第1节 結構	17
第2节 鉄心	21
第3节 綫卷	24
第4节 絕緣套管	28
第5节 变压器的冷却方式	30
第三章 变压器的性能与試驗	31
第1节 变压器的效率	31
第2节 变压器的鉄損失及开路試驗	32
第3节 变压器的銅損失与短路試驗	34
第4节 額定值	35
第四章 三相变压器及其結綫	37
第1节 三相变压器組与三相变压器	37

第2节 三相变压器的結綫	40
第3节 Y/Y_0-12 及 Y/Y_0-6 型結綫	43
第4节 $Y/\Delta-11$ 及 $Y/\Delta-5$ 型結綫	44
第五章 变压器的并联运行	45
第1节 变压器并联运行的条件	45
第2节 变压比不等的变压器并联运行	46
第3节 短路电压不相等的变压器并联运行	47
第4节 結綫类型不同的变压器并联运行	49
第六章 特种类型的变压器	50
第1节 自耦变压器	50
第2节 三卷变压器	54
第3节 仪表变压器	56
第4节 仪表变流器	60
第5节 避雷变压器	66

第二篇 異步电动机

第七章 異步电动机的原理	67
第1节 異步电动机的作用原理	67
第2节 異步电动机的轉差率与轉子电流的关系	68
第3节 異步电动机的轉矩	69
第4节 異步电动机的运用特性	73
第八章 鼠籠式电动机	75
第1节 鼠籠式电动机的一般構造	75
第2节 異步电动机的靜子	76
第3节 鼠籠式电动机的轉子	78
第4节 鼠籠式电动机的性能	82
第九章 繞綫式电动机	82
第1节 繞綫式电动机的構造	82

第2节	繞綫式电动机的性能	86
第十章	異步电动机的起动	87
第1节	異步电动机的直接起动法	87
第2节	異步电动机的減压起动法	88
第3节	繞綫式电动机轉子回路加电阻起动法	92
第十一章	異步电动机的調速与改变旋轉方向	93
第1节	異步电动机的調速	93
第2节	異步电动机旋轉方向的改变	96
第十二章	單相異步电动机	97
第1节	單相異步电动机的基本原理	97
第2节	單相異步电动机的起动法	98
第十三章	三相異步电动机的繞綫法	100
第1节	異步电动机的定子繞綫	100
第2节	繞綫式电动机的轉子繞綫	103
第三篇 直流發电机		
第十四章	直流發电机的基本知識	105
第1节	电磁感应	105
第2节	直流發电机的工作原理	105
第十五章	直流發电机的構造	110
第1节	概述	110
第2节	磁極及机座	112
第3节	电樞	113
第4节	轉子繞綫	117
第十六章	直流發电机的电樞反应	121
第1节	电樞反应的物理現象	121
第2节	电樞反应的后果及补偿方法	122
第十七章	直流發电机的特性	124

第 1 节	直流發電机的分类	124
第 2 节	他励發電机的特性	125
第 3 节	分励式發電机的特性	130
第 4 节	串励式發電机的特性	134
第 5 节	复励式發電机的特性	136
第十八章	直流發電机的并联运用	138
第 1 节	并励發電机的并联运用	138
第 2 节	复励式發電机的并联运用	140
第十九章	直流电动机的基本概念	141
第 1 节	直流电动机的动作原理	141
第 2 节	直流电动机旋轉方向的改变	143
第 3 节	电枢的反电势及起动电流	144
第 4 节	机械轉矩与电枢电流的变化	146
第 5 节	直流电动机的調速	147
第 6 节	直流电动机的电枢反应	148
第二十章	直流电动机的特性	148
第 1 节	分励式电动机的特性	148
第 2 节	串励式电动机的特性	152
第 3 节	复励式电动机的特性	155

第四篇 同步發電机

第二十一章	同步發電机的基本原理	157
第 1 节	同步發電机电势的产生	157
第 2 节	三相交流發電机的电势	158
第二十二章	同步發電机的構造	160
第 1 节	概述	160
第 2 节	轉子	161

第3节	靜子	166
第4节	軸承	169
第5节	通風系統	170
第6节	滅火設備	172
第7节	备用勵磁机	174
第二十三章	同步發電机的電樞反应	174
第1节	磁極磁通和電樞電勢的相位关系	174
第2节	电阻負荷的電樞反应	176
第3节	感抗負荷的電樞反应	177
第4节	容抗負荷的電樞反应	178
第二十四章	同步發電机运行特性	179
第1节	同步發電机的額定值	179
第2节	無負荷特性曲綫	181
第3节	外特性曲綫	182
第4节	調整特性曲綫	183
第5节	功率因数和勵磁电流的关系	183
第6节	电磁轉矩	184
第7节	同步發電机的損失和效率	185
第二十五章	同步电动机	187
第1节	同步电动机的動作原理	187
第2节	同步电动机的起動方法	187
第二十六章	同步發電机的并列运行	189
第1节	同步發電机的并列运行条件	189
第2节	同步指示法	192
第3节	同步發電机的自同期法	194
第4节	同步發電机并列运行的基本情况	195

第一篇 变 压 器

第一章 变压器的工作原理

第 1 节 概 述

我們知道，發電廠通常建立在埋藏着丰富的煤量的地方和河流的附近，發電廠生产出的电能通过送电导綫輸送給用戶。电流在导綫通过时，因为导綫有电阻，因此將有 $I^2 \cdot R$ 的功率損耗。由于功率損耗与电流的平方成正比，所以減少功率損耗最好的方法是減少电流，但还得保証輸出的电能不減少，这就需要提高电压。所以在發電廠內設有升高电压的电气器具，但通常又不能把高电压供給用戶，所以在送电綫路末端須安裝降低电压的电气設備，这种能使电压升高和降低的电气設備叫做变压器。

最早的变压器是由俄国工程师亞布洛奇可夫(1876年)和烏薩金(1881年)所制成的。

利用变压器輸送交流电到远处，最先是由俄国工程师多里沃-多布罗沃尔斯基在 1891 年实现，那时他設計建造了 178 公里長的輸电綫路，以 25 000 伏的电压輸送 235 匹馬力的电功率。

現今我国輸电綫路的电压有 22、44、66、110 和 220 仟伏。随着送电綫路的加長，將会有 400—600 仟伏电压的綫路。因此变压器將有更显著的作用。

第 2 节 基本原理

变压器的基本构造是由一个铁心和二个线圈组成的，如图 1 所示，线圈与铁心间和线圈与线圈间都互相绝缘。

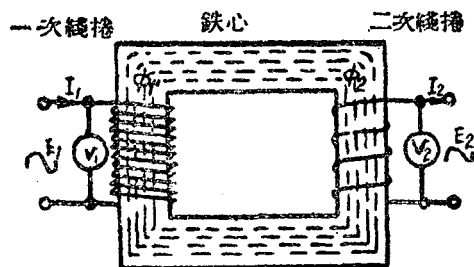


图 1 变压器的基本构造

变压器与电源连接的一个线圈叫一次线圈(原线圈)，与用电器(电灯、电动机等)连接的一个线圈叫二次线圈(副线圈)。通常由于变压器二个线圈不同电压，又分别称为高压线圈与低压线圈。

在一次线圈上加以交变电压 U_1 时，即有电流 I_1 通过一次线圈而使铁心中产生交变的磁通 Φ_1 ；磁通 Φ_1 割截一次线圈与二次线圈的每一圈线圈。因为每一圈线圈内磁力的变化数目相同，所以每一线圈都产生大小相等的感应电势。如果以

N_1 ——一次线圈圈数；

N_2 ——二次线圈圈数；

E_1 ——一次线圈电势；

E_2 ——二次綫卷电势；則

$$\frac{E_1}{W_1} = \frac{E_2}{W_2} \text{ 即 } \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}.$$

因为磁通 Φ_1 是与电压 U_1 变动的频率相同，所以 E_1 与 E_2 变动的频率与 U_1 也相同。

在圖 1 中的电压表 V_1 与 V_2 所指示的是电压 U_1 与 U_2 ，它們数值的大小与 E_1, E_2 相似(不考虑变压器的各种損失)，一般認為

$$U_1 = E_1, \quad U_2 = E_2.$$

我們把 $\frac{U_1}{U_2} = K$ ， K 叫做变压器的变压比。所以

$\frac{W_1}{W_2} = K$ 。此时 K 叫做变压器的一次綫卷与二次綫卷的圈数比。

例 1 今有一变压器一次綫圈接在 3000 伏电压的电路中，若从二次綫卷得到 200 伏电压，一次綫卷为 2100 圈时，求此变压器的变压比和二次綫卷圈数。

解 变压比

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{3000}{200} = 15$$

$$\therefore \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$\therefore W_2 = \frac{U_2}{U_1} \times W_1 = \frac{200}{3000} \times 2100 = 140 \text{ 圈}.$$

第 3 节 变压器的工作情况

前节已經講过在变压器的一次綫卷上，加以电压 U_1

(圖 2)而产生电流 I_1 。这电流流过原綫卷由于 $I_1 W_1$ 的作用造成磁通 Φ_1 ，使变压器鉄心磁化。磁通 Φ_1 截过二次綫卷，而使二次綫卷感应出电势 E_2 。

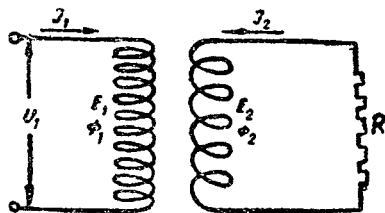


圖 2 变压器的工作

如在二次綫卷上接以电阻 R ，則有电流 I_2 在二次綫卷上流通。按照楞茨定律， $I_2 \cdot W_2$ 产生磁通 Φ_2 ，其方向是反抗磁通 Φ_1 的变化。

两个磁通作用的结果，变压器鉄心中現出一个合磁通 Φ 。因电流 I_1 与 I_2 的作用相反即相位相反，故合磁通为 Φ_1 与 Φ_2 之差。

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2.$$

二次綫卷断路时，电流 I_2 就沒有，磁通 Φ_2 也随着消逝。那时鉄心中只剩磁通 Φ_1 ，它也就等于合磁通。

$$\Phi = \Phi_1.$$

这时一次綫卷上的电流 I_1 ，被称为無負荷电流（激磁电流）。

一次綫卷感应电势 E_1 与二次綫卷感应电势 E_2 是由合磁通 Φ 通过鉄心而产生的，所以在 U_1 不变的情况下，負荷若不变动，則 E_1 与 E_2 也不变动； U_1 、 E_1 与 E_2 不变动則 I_1 与

I_2 也沒有變動。

如果變壓器的負荷電流 I_2 增加，由於 W_2 沒有改變，所以 Φ_2 增加，這時合磁通 Φ 將由於 Φ_1 未變而減小，於是由於合磁通 Φ 所感應出的電勢 E_1 與 E_2 也減小。在外加電壓 U_1 未變，則 I_1 不變動的條件不存在，所以 I_1 增大。 I_1 增大，隨著 Φ 、 E_1 與 E_2 均增大，以達到使 I_1 穩定不變的條件，即 U_1 與 E_1 近於相等。當然上述變化過程是很快的。

如果負荷電流 I_2 減小時，則 Φ 立即增大，隨著 E_1 、 E_2 也增大。在外加電壓 U_1 未變時， I_1 將減小，於是 Φ 、 E_1 與 E_2 也隨着減小，而使 I_1 趨於穩定不變狀態。

總之，變壓器二次負荷電流 I_2 變動而使一次電流 I_1 變動的主要條件，是變壓器鐵心中的合磁通 Φ 經常保持不變動（在外加電壓 U_1 不變時）。

一般變壓器的無負荷電流，通常為滿負荷電流的 3.5—10%。如果在計算上略去無負荷電流 P 後，則可以認為產生 Φ_1 的 $I_1 W_1$ 與產生 Φ_2 的 $I_2 W_2$ 是相等的，用公式表示為：

$$I_1 \cdot W_1 = I_2 \cdot W_2 \quad \text{即} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_1}{W_2}.$$

第 4 節 向 量 圖

我們現在用向量圖來表示變壓器的各種情況，以便於深入理解變壓器的工作情況。

先設想一台理想的變壓器：在這變壓器中沒有鐵損

失，綫卷的电阻小得可以不計，而且所有磁通均与兩綫卷相联系(圖 3)。那么副綫卷处于断路無負荷时，則原綫卷只是一个純电感圈。这时，当交流电压 U_1 加在这理想变压器的原綫卷上时，它所产生的电流 I_1 比 U_1 落后 90 度，而电流变化所产生的自感电势 E_1 完全与 U_1 相等，而且与 U_1 恰恰相位差 180 度，如圖 4 所示。

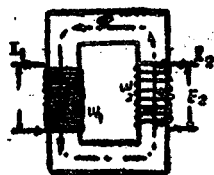


圖 3 理想变压器的磁通分布情况

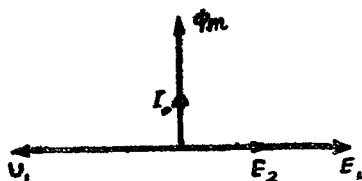


圖 4 理想变压器的無載向量圖 (变压比是 2)

电势 E_1 也可叫做原綫卷的反电势，因为它与 外供电压 U_1 相反。

假設变压器中 沒有鉄損失，由激磁电流 I_0 所产生的磁通 Φ 必与 I_0 同相，这也表示在圖 4 中。在实际变压器中，大部分的磁通存在于鉄質磁路內，連系着两个綫卷，如圖 3 所示。凡只与一个綫卷相連系的磁通，必須經過空間才能完成它的磁路，因此相对地变弱了。这些磁通称为漏磁通。現在所討論的理想变压器中，假定沒有漏磁通，就是所有的磁通都与兩綫卷相連系。这些磁通增長和消失时，在原綫卷或副綫卷中各产生电势 E_1 和 E_2 。所以認為 E_2 与 E_1 同相。假使外供电压 U_1 的波形是正弦曲綫， E_1 和磁通 Φ 的波形也一定是正弦曲綫；并令 Φ_m 等于 Φ

的最大值，电势 E_1 比磁通落后 90 度。

现在进一步考虑铁损失。在圖 4 中，电流 I_0 与外供电压 U_1 異相 90 度，功率因数等于零；所以这理想变压器只是輪番地吸收并放回功率，而不消耗功率。实际上，变压器的磁通在鉄心中变动必然消耗一部分功率，即称为变压器的鉄損失，在向量圖上表示起来，应该把 I_0 逆时针向前移动少許，而其他一切向量則保持原位不动，見圖 5。现在輸入这变压器的功率是 $U_1 I_0 \cos \alpha$ ，而輸出的是零；这輸入除鉄損失外，其中有一小部分是原綫卷的銅損失 $I_0^2 R_1$ ，但 I_0 很小，所以銅損失也很小。

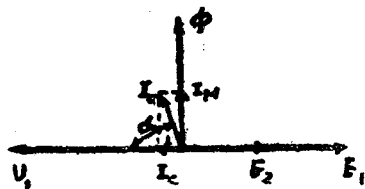


圖 5 变压器無載向量圖
(变压比是 2)

由上节可知，激磁电流 I_0 。可認為由兩部分組成：1) 产生磁通 Φ 所需的磁化电流， $I_m = I_0 \sin \alpha$ ；2) 鉄損失部分 $I_c = I_0 \cos \alpha$ ，將它乘 U_1 就得鉄損失。变压器的鉄損失又由兩部分組成，一部分是由于磁力綫通过鉄心，而使鉄心产生渦流的損失，另一部分是由于鉄心的磁滯現象引起的損失。

現在再考虑副綫卷接上負載时，副綫卷电压 E_2 使电流 I_2 流动的情况， I_2 的强弱和相角是由負載决定的， E_2 与 I_2 之間的相角可以从零到正 90 度或負 90 度之間任何一个度数。在副綫卷中流动的电流 I_2 产生一个 $I_2 W_2$ 安匝的磁势；很显明，这磁势除非用某种方法抵消 $I_2 W_2$ 安