

D I A N Z I B I A N Y A O I S H O U C E

● 电子变压器专业委员会 编



电子变压器手册



辽宁科学技术出版社

L I A O N I N G K E X U E J I S H U C H U B A N S H E

71-642

71-642

电子变压器手册

电子变压器专业委员会 编

辽宁科学技术出版社

·沈 阳·

内 容 提 要

简述了电子变压器的工作原理、分类、结构、技术经济指标和尺寸比。重点介绍 C 形铁心、插片铁心、环形铁心和 R 型铁心电源变压器,以及音频变压器、脉冲变压器、开关电源变压器、稳压变压器、隔离变压器、传输线变压器等特种变压器和铁心电感器的主要技术参数和计算方法,给出了大量工程计算用曲线和图表,并附有应用实例。书中汇集了国内外常用的各种铁心系列及电子变压器使用的各种磁性材料、绝缘材料、导线材料的性能、品种和规格。对电子变压器的各项参数测量、专业制造工艺和结构配件也作了详尽介绍。还对电子变压器的安全认证、常见故障及维修方法作了实用性的介绍。

图书在版编目(CIP)数据

电子变压器手册/电子变压器专业委员会编.-沈阳:辽宁科学技术出版社,1998.8

ISBN 7-5381-2699-6

I.电… II.电… III.电子变压器-手册 IV.TM4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 24415 号

辽宁科学技术出版社出版

(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)

朝阳新华印刷厂印刷

辽宁省新华书店发行

开本:787×1092 1/16 印张:47 字数:1,356,000 插页:4

印数:1-6,000

1998 年 8 月第 1 版

1998 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑:枫 岚

版式设计:于 浪

封面设计:庄庆芳

责任校对:东 戈

定价:80.00 元

编辑委员会

董贻中	赵光云	吴东法	王全保
山兴家	沈传铨	杜保明	阮信畅
乔 敏	徐 稜	邵介竞	

2009

编 写 组

主 编	王全保			
副 主 编	徐士佐			
编写人员	王全保	徐士佐	殷祖伦	陈培康
	冯 挹	沈传铨	徐 稜	山兴家
	王卫红	黄永菩	沈永其	

前 言

电子变压器品种繁多,其应用范围极其广泛,涉及无线电通讯、广播电视、雷达、声纳、导航、计算机、自动控制、仪器仪表、家用电器、办公室自动化设备以及机械、冶金、石油、化工、能源、纺织、交通等电气控制领域。

1987年出版的《变压器手册·电子分册》深受广大读者的欢迎,它对扩大电子变压器的应用,促进电子变压器行业技术进步和发展起到了良好的、积极的作用。

10年来,现代科学技术得到突飞猛进的发展,当今世界已步入计算机信息化时代,新技术、新材料、新工艺的应用,推动了电子变压器技术和应用也进入了一个新的发展阶段。非晶态和超微晶铁心材料的问世、新型绝缘材料的发展,为电子变压器的小型化奠定了良好的基础;功率模块及表面安装技术又为电子变压器的应用开拓了新的领域。R型铁心和R型变压器的诞生是电子变压器在技术、工艺、结构上的又一次创新。随着改革开放的深入,我国对外贸易不断发展,国外先进技术和标准的引进,使我国电子变压器技术迅猛发展,其产品走出国门,参与国际市场竞争。为了适应这一发展的新形势,满足广大读者对电子变压器技术资料的迫切需求,电子变压器专业委员会组织有关专家、学者和工程技术人员在《变压器手册·电子分册》基础上,重新编写了《电子变压器手册》,以期继续推进我国电子变压器行业的快速发展。

本手册力求反映近年来在电子变压器设计、工艺、材料、检测等方面所取得的新成果,与原《变压器手册·电子分册》相比内容更为系统、完整、新颖和充实。书中增加了开关电源变压器、R型变压器、脉冲变压器、稳压变压器、隔离变压器、传输线变压器、铁心电抗器等新内容,对各种类型的电源变压器、音频变压器、电抗器、扼流圈、镇流器及特种变压器作了系统、完整地介绍,并给出了大量工程计算用曲线和图表。手册汇集了国内外常用的各种铁心系列及电子变压器所采用的各种磁性材料、绝缘材料、导线材料的性能、品种和规格。对电子变压器产品安全认证,常见故障及维修方法作了实用性介绍。

本手册内容广泛,技术先进,计算方法简捷实用;技术资料图表详尽,采用了最新的有关国家标准、专业标准和国际标准。本手册对从事电子变压器的应用、设计、制造的科技人员和工人,对广大无线电爱好者和电器维修人员来说,不失为一本大有裨益的必备工具书。

本手册第1、3、8、10章由王全保同志编写;第4、14章由徐士佐同志编写;第6章由殷祖伦同志编写;第9、11章由陈培康同志编写;第2章由冯挹同志编写;第12章由沈传铨同志编写;第13章由山兴家同志编写;第7章由徐士佐、沈传铨、王卫红同志编写;此外,中功率非标准插片铁心电源变压器及C形铁心电滤波扼流圈计算由徐棱同志编写;第五章由王全保参照钟惠斌、许早、樊岳良、王银珠等同志编写的《脉冲变压器设计、制造与测量》加工整理而成。环形变压器计算由黄永菩同志编写;R型变压器计算由沈永其同志编写。全书由王全保同志审核,统编。东北大学耿毅教授进行了部分修改,插图由刘

天元描绘。编写过程中，得到了吴东法、侯子成、吴晓风、俞苏君等同志的大力协助，在此表示衷心感谢。

对本书的错误和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

1997 年 10 月

目 录

第 1 章 概述	1	2.4 非晶态及超微晶合金铁心	107
1.1 变压器的基本工作原理	1	2.4.1 国内非晶态及超微晶合金铁心系列	108
1.2 电子变压器分类	4	2.4.2 国外非晶态铁心系列	113
1.2.1 按工作频率分类	4	2.5 铁粉心	124
1.2.2 按用途分类	4	2.5.1 适用范围及使用条件	124
1.2.3 按铁心结构分类	4	2.5.2 铁粉心的外形及尺寸	124
1.2.4 按相数分类	5	2.5.3 铁粉心的分类、代号及标志	125
1.2.5 按防潮方式分类	5	2.5.4 铁粉心的磁性能	126
1.2.6 其他分类	5	第 3 章 电源变压器	127
1.3 电子变压器的基本结构	5	3.1 电源变压器和整流电路	127
1.3.1 铁心	5	3.1.1 电感输入式整流器计算	128
1.3.2 线圈	6	3.1.2 单相电容输入式整流器的整流变压器参数计算	130
1.4 变压器的技术经济指标和尺寸比	7	3.2 电源变压器的主要技术参数	132
1.4.1 变压器体积、质量和成本	7	3.2.1 功率容量	132
1.4.2 尺寸比	7	3.2.2 功率因数	132
1.4.3 电子变压器的小型化	8	3.2.3 效率	133
第 2 章 铁心	10	3.2.4 电压调整率	133
2.1 硅钢系列叠片铁心	10	3.2.5 空载电流及其百分数	133
2.1.1 E、XE、XI 型铁心片	10	3.2.6 温升	134
2.1.2 GB11441 铁心片系列	13	3.2.7 设计电源变压器所必需的技术参数	135
2.1.3 GE、GEC、GEB 系列铁心片	24	3.3 电源变压器的基本计算公式	135
2.2 硅钢系列卷绕铁心	29	3.3.1 空载工作时	135
2.2.1 BOD 型环形铁心	29	3.3.2 负载工作时	136
2.2.2 环形卷绕铁心	32	3.3.3 匝数计算	137
2.2.3 ED、CD 型 C 形铁心	34	3.4 电源变压器铁心选择和电磁参量确定方法	137
2.2.4 XED、XCD 型 C 形铁心	43	3.4.1 电源变压器铁心选择	137
2.2.5 BCD 型 C 形铁心	47	3.4.2 电源变压器电磁参量的确定	138
2.2.6 E 型三相铁心	51	3.5 电源变压器结构参数计算	140
2.2.7 R 型铁心	59	3.5.1 窗口利用系数	140
2.3 铁氧体磁心	60	3.5.2 散热面积	141
2.3.1 标准铁氧体磁心系列	60		
2.3.2 国内铁氧体磁心系列	63		
2.3.3 国外铁氧体磁心系列	82		

3.5.3	绝缘	142	3.8.11	空载损耗计算	222
3.5.4	线圈结构参数计算	147	3.8.12	温升计算	222
3.6	单相 C 形铁心电源变压器计算	150	3.8.13	其他计算	222
3.6.1	计算变压器功率容量	150	3.8.14	计算举例	229
3.6.2	选择铁心、确定电磁参量	150	3.9	R 型变压器计算	234
3.6.3	匝数计算	157	3.9.1	R 型变压器的结构与特点	234
3.6.4	空载电流计算	158	3.9.2	R 型变压器计算	236
3.6.5	计算导线直径	158	3.9.3	几种典型设计绕制方法	239
3.6.6	绝缘设计	159	3.9.4	常用 R 型变压器规格	239
3.6.7	线圈结构参数计算	160	3.10	自耦变压器计算	241
3.6.8	电压比核算	160	3.10.1	结构容量 VA_B 计算	242
3.6.9	电压调整率核算	160	3.10.2	各绕组电流计算	242
3.6.10	计算空载损耗	160	3.10.3	绝缘与绕组结构	243
3.6.11	温升计算	160	3.10.4	电压比核算	243
3.6.12	其他计算	160	3.10.5	铜损计算	244
3.6.13	计算例题 1	187	3.10.6	空载损耗	244
3.6.14	计算例题 2	190	3.10.7	温升计算	244
3.7	50HzEI 型插片铁心电源变		3.10.8	电压调整率核算	244
	压器计算	193	3.10.9	计算例题	244
3.7.1	计算变压器功率容量	194	3.11	三相电源变压器计算	248
3.7.2	选择铁心、确定电磁参量	194	3.11.1	计算变压器的功率容量	248
3.7.3	匝数计算	194	3.11.2	选择铁心、确定电磁参量	249
3.7.4	空载电流计算	194	3.11.3	匝数计算	250
3.7.5	计算导线直径	194	3.11.4	空载电流计算	250
3.7.6	绝缘设计	213	3.11.5	计算初、次级线径	253
3.7.7	线圈结构参数计算	213	3.11.6	绝缘设计	253
3.7.8	电压比核算	213	3.11.7	线圈结构参数计算	253
3.7.9	电压调整率核算	214	3.11.8	电压比核算	253
3.7.10	空载损耗计算	214	3.11.9	电压调整率核算	254
3.7.11	温升计算	214	3.11.10	计算空载损耗	254
3.7.12	计算举例	214	3.11.11	温升计算	254
3.8	环形变压器计算	217	3.11.12	其他计算	254
3.8.1	计算变压器功率容量	217	3.11.13	计算例题	254
3.8.2	选择铁心、确定电磁参量	217	3.12	变压器、扼流圈温升计算	274
3.8.3	匝数计算	217	3.12.1	计算线圈、铁心初始温升比 $\Delta\tau'_m/\Delta\tau'_c$	274
3.8.4	空载电流计算	217	3.12.2	计算线圈与铁心间热平衡系数 k	274
3.8.5	计算导线直径	217			
3.8.6	绝缘设计	217	3.12.3	计算修正前温升值 $\Delta\tau_{m0}$	274
3.8.7	估算占空系数	218	3.12.4	计算平均温升 $\Delta\tau_m$ 和 $\Delta\tau_c$	275
3.8.8	绕组结构与参量计算	219	3.13	中功率非标准插片铁心电源	
3.8.9	电压比核算	222		变压器计算	284
3.8.10	电压调整率核算	222			

3.13.1	中功率单相电源变压器计算	284	4.7	线间变压器	331
3.13.2	三相中功率电源变压器计算	295	4.7.1	用途	331
3.13.3	中功率单相电源变压器计算 例题	298	4.7.2	特点	331
第 4 章	音频变压器	303	4.7.3	线间变压器的正确配接	331
4.1	音频变压器的工作原理	303	4.7.4	定阻抗线间变压器计算	332
4.1.1	各种音频变压器的作用	303	4.7.5	定压式线间变压器	336
4.1.2	工作频率范围	304	第 5 章	脉冲变压器	337
4.1.3	音频变压器等效电路	304	5.1	脉冲变压器的波形及等效电路	337
4.1.4	变压器初级输入阻抗 Z	306	5.1.1	脉冲变压器波形参数	337
4.1.5	放大器最佳负载阻抗	306	5.1.2	脉冲变压器的等效电路	338
4.1.6	输入阻抗频率特性	306	5.2	脉冲变压器脉冲波形参数计算	339
4.1.7	频率幅度特性	307	5.2.1	脉冲前沿参数计算	339
4.1.8	磁化电流引起的输出电压 波形失真	308	5.2.2	脉冲顶降计算	341
4.1.9	动态范围	308	5.2.3	脉冲后沿参数计算	342
4.2	音频变压器设计技术条件	309	5.2.4	计算举例	344
4.3	音频变压器计算	310	5.3	脉冲变压器的铁心	345
4.3.1	电气计算	310	5.3.1	单极性脉冲变压器铁心的 磁化过程	345
4.3.2	铁心选择	314	5.3.2	脉冲变压器用铁心材料及特性	346
4.3.3	计算初次级匝数、核算自感量	315	5.3.3	脉冲变压器的铁心型式	349
4.3.4	计算由磁化电流引起的 非线性失真	317	5.3.4	铁心的脉冲损耗	349
4.3.5	计算线径	318	5.3.5	磁感应强度增量的选择	350
4.3.6	绕组排列方案	318	5.4	脉冲变压器绕组	351
4.3.7	线圈绝缘设计与结构参量计算	319	5.4.1	绕组设计的原则	351
4.3.8	漏感计算	319	5.4.2	漏感计算	351
4.3.9	分布电容计算	320	5.4.3	分布电容计算	352
4.3.10	电气特性核算	321	5.4.4	绕组高频电阻计算	354
4.4	晶体管扩音机中的音频 变压器计算	321	5.4.5	绕组配置	355
4.4.1	25W 晶体管输出变压器已知 条件	321	5.5	铁心截面积的确定	357
4.4.2	电气计算	322	5.5.1	从最大允许上升时间出发 确定截面积	357
4.4.3	选铁心及结构计算	322	5.5.2	从满足顶降要求出发确定截面积	358
4.5	电子管扩音机中的音频 变压器计算	324	5.6	脉冲变压器计算程序	358
4.6	高保真音响设备用输出 变压器计算	326	5.6.1	用于计算的原始数据	358
4.6.1	10WHi-Fi 输出变压器计算	328	5.6.2	计算程序	358
4.6.2	制作注意事项	330	5.7	小功率脉冲变压器计算	360
			5.7.1	计算特点	360
			5.7.2	可控硅控制电路触发脉冲变压器 计算举例	360
			第 6 章	开关电源变压器	364
			6.1	开关式稳压电源简介	364

6.1.1	开关电源的应用与发展	364	7.2.3	霓虹灯的供电方式	461
6.1.2	开关电源的电路结构	364	7.2.4	霓虹灯变压器的结构	462
6.2	开关电源中的变压器	367	7.2.5	450VA 霓虹灯变压器设计方法	462
6.2.1	开关电源变压器	367	7.2.6	生产工艺和调试	465
6.2.2	单极性开关电源变压器	367	7.3	微波炉变压器	467
6.2.3	双极性开关电源变压器	369	7.3.1	概述	467
6.3	磁性材料	369	7.3.2	微波炉用变压器特性	468
6.3.1	概述	369	7.3.3	微波炉变压器设计步骤	469
6.3.2	铁氧体材料	370	7.4	超隔离变压器	471
6.3.3	坡莫合金和非晶态合金软磁材料	374	7.4.1	概述	471
6.4	开关电源变压器参数计算	375	7.4.2	工作原理	471
6.4.1	分布参数	375	7.4.3	超隔离变压器的结构设计	472
6.4.2	有效电阻	379	7.4.4	超隔离变压器的测量	473
6.4.3	电流有效值	380	7.5	传输线变压器	473
6.5	开关电源变压器设计	381	7.5.1	概述	473
6.5.1	设计条件	381	7.5.2	简单工作原理	474
6.5.2	设计参数的确定	382	7.5.3	传输线变压器的组合	474
6.5.3	单极性一反激式开关电源 变压器设计	385	7.5.4	传输线变压器主要计算公式	476
6.5.4	单极性一正激式开关电源 变压器设计	389	7.6	机场助航灯光用隔离变压器	477
6.5.5	双极性开关电源变压器设计	391	7.6.1	概述	477
6.5.6	校核窗口	393	7.6.2	隔离变压器的主要技术要求	478
6.5.7	损耗与温升	393	7.6.3	特点	478
6.5.8	设计举例	394	7.6.4	计算方法	478
6.5.9	设计参数表	397			
6·附·1	本章计算用 R2KD 型铁氧体磁性 材料性能	445	第 8 章 铁心电感器		482
6·附·2	开关电源变压器常用铁氧体 磁心规格	447	8.1	铁心电感器的种类与特性	482
第 7 章 特种变压器		450	8.1.1	电源滤波扼流圈	482
7.1	稳压变压器	450	8.1.2	交流扼流圈	482
7.1.1	稳压变压器的种类和简要 工作原理	450	8.1.3	电感线圈	482
7.1.2	磁饱和式稳压器	452	8.1.4	饱和扼流圈	483
7.1.3	WCD 型稳压变压器	453	8.2	铁心电感器电感量计算	483
7.1.4	WED 型稳压变压器	456	8.2.1	基本计算式	483
7.1.5	稳压变压器的调整	459	8.2.2	铁心中无气隙时的电感计算	483
7.2	霓虹灯变压器	460	8.2.3	铁心中有气隙时的电感计算	484
7.2.1	霓虹灯的特性	460	8.2.4	大气隙电感计算	485
7.2.2	霓虹灯变压器规格	460	8.3	电源滤波扼流圈的电感量 确定方法	486
			8.3.1	电感输入式电源滤波扼流圈 电感值的确定	486
			8.3.2	电容输入式电源滤波扼流圈的 电感量计算	488
			8.4	C 形铁心电源滤波扼流圈计算	489

8.4.1	计算必需的技术数据	489	第 9 章	专业工艺	570
8.4.2	选择铁心	490	9.1	骨架(底筒)制造工艺	570
8.4.3	计算线圈匝数 N	490	9.1.1	底筒压制工艺	570
8.4.4	核算电感量 L	491	9.1.2	骨架注射工艺	571
8.4.5	计算气隙长度 l_g	491	9.2	浸渍工艺	572
8.4.6	计算导线直径	491	9.2.1	6305 聚酯绝缘漆浸渍工艺	573
8.4.7	绝缘设计	492	9.2.2	H30—2 漆浸渍工艺	573
8.4.8	线圈结构参数计算	492	9.2.3	A30—12 漆流水线浸渍工艺	573
8.4.9	计算线圈铜阻压降 ΔE_L 和 铜损 P_m	492	9.2.4	EA—2 光敏漆浸渍流水线工艺	573
8.4.10	计算交直流叠加磁化时铁损 P_c	492	9.3	裹覆工艺	574
8.4.11	计算线圈平均温升	507	9.4	灌油工艺	574
8.4.12	核算铜阻压降 ΔE_L	507	9.4.1	准备	575
8.5	C 形铁心电源滤波扼流圈 计算例题	514	9.4.2	干燥	575
8.5.1	电容输入式滤波扼流圈计算例题	514	9.4.3	真空灌油	575
8.5.2	电感输入式滤波扼流圈计算例题	516	9.4.4	封箱	575
8.6	C 形铁心电源滤波扼流圈 参数系列	519	9.4.5	检验	575
8.6.1	电容输入式滤波扼流圈参数系列	519	9.5	端封工艺	575
8.6.2	电感输入式滤波扼流圈参数系列	519	9.5.1	准备	575
8.7	交流扼流圈计算	533	9.5.2	端封	575
8.7.1	计算必需的技术数据	533	9.5.3	检验	576
8.7.2	计算方法	533	9.6	环氧树脂灌注工艺	576
8.7.3	计算举例	534	9.7	硅钢热处理工艺	577
8.8	镇流器计算	537	9.8	精密软磁合金热处理工艺	578
8.8.1	概述	537	9.9	非晶态、超微晶合金热处理工艺	579
8.8.2	电感式镇流器的技术参数	538	9.9.1	铁基非晶合金热处理工艺	579
8.8.3	镇流器计算	539	9.9.2	超微晶合金热处理工艺	580
8.8.4	计算举例	541	9.10	电泳涂覆工艺	580
8.9	超声换能器用匹配电感计算	542	9.10.1	准备	580
8.9.1	概述	542	9.10.2	涂覆工艺	580
8.9.2	匹配电感的参数计算	543	9.11	硅钢带涂覆低温釉工艺	581
8.9.3	计算步骤	544	9.11.1	配方	581
8.10	铁氧体磁心电感计算	546	9.11.2	硅钢带涂覆低温釉	581
8.10.1	电感系数 A_L	546	9.12	铁心胶合工艺	582
8.10.2	环形磁心的电感计算	547	9.12.1	一般铁心胶合	582
8.10.3	罐形磁心电感线圈计算	548	9.12.2	薄钢带铁心胶合	582
8.10.4	E 形磁心的电感计算	565	9.13	铁心切割工艺	582
8.11	粉末磁心电感计算	566	9.14	C 形铁心变压器装配工艺	583
8.11.1	铝坡莫合金粉末磁心电感计算	566	9.14.1	准备	583
8.11.2	铝硅铁磁心的电感计算	567	9.14.2	装配	583
			第 10 章	变压器测量与试验	584
			10.1	铁心交流磁化曲线, 比总损耗	

曲线, 比视在功率测量	584	10.11.2 测试方法	606
10.1.1 定义	584	10.12 自谐振频率	607
10.1.2 试样	584	10.12.1 一般概念	607
10.1.3 比总损耗测量	585	10.12.2 测试方法	607
10.1.4 磁场强度、磁感应强度和比视在 功率的测量	588	10.13 频率响应	607
10.1.5 对测试设备的要求	589	10.13.1 概述	607
10.1.6 变压器铁心交流磁化曲线和比 总损耗曲线测试举例	590	10.13.2 测试电路	608
10.2 空载特性测量	592	10.13.3 测试方法	608
10.2.1 定义	592	10.14 非线性失真	608
10.2.2 空载电压和空载电流的测量	592	10.14.1 概述	608
10.2.3 空载损耗测量	593	10.14.2 测试电路和方法	609
10.3 直流电阻测量	595	10.15 输入阻抗	609
10.3.1 1Ω 以下的电阻测量	596	10.15.1 定义	609
10.3.2 1Ω 以上的电阻测量	596	10.15.2 测试条件	609
10.4 变压比	596	10.15.3 测试电路	610
10.4.1 一般概念	596	10.15.4 测试方法	610
10.4.2 测量方法	597	10.16 变压器电容	610
10.5 电感	598	10.16.1 分布电容的测试	610
10.5.1 概述	598	10.16.2 绕组间电容测试	611
10.5.2 测量条件	598	10.17 静电屏蔽	611
10.5.3 测试方法	599	10.17.1 概述	611
10.6 负载与温升试验	601	10.17.2 测量方法	612
10.6.1 负荷	601	10.18 额定电压—时间乘积	612
10.6.2 负载电压测量	601	10.18.1 概述	612
10.6.3 电压调整率计算	601	10.18.2 试验方法	613
10.6.4 温升试验方法	602	10.19 效率、功率因数测量	613
10.7 漏感	603	10.19.1 效率测量	613
10.7.1 一般概念	603	10.19.2 功率因数测量	613
10.7.2 测试方法	603	10.20 噪声	614
10.8 极性试验	603	10.20.1 测试条件	614
10.8.1 概述	603	10.20.2 测试方法	614
10.8.2 测试方法	604	10.21 磁场	616
10.9 不对称度	604	10.21.1 磁屏蔽	616
10.9.1 电容不平衡度	604	10.21.2 磁影响(罗盘安全距离)	617
10.9.2 阻抗不对称度	605	10.21.3 磁辐射	617
10.9.3 电压不对称度	605	10.22 绝缘试验	618
10.9.4 电阻不对称度	605	10.22.1 绝缘电阻	618
10.10 共模抑制比试验	606	10.22.2 抗电强度	618
10.11 品质因数 Q 的测量	606	10.22.3 感应电压试验	619
10.11.1 定义	606	10.22.4 局部放电	619
		10.23 安全性试验	621
		10.24 可靠性试验	622

第 11 章 变压器常用材料	624
11.1 磁性材料	624
11.1.1 热轧电工硅钢板	625
11.1.2 冷轧硅钢薄带	625
11.1.3 冷轧电工钢带 (片)	627
11.1.4 国外硅钢带牌号、性能	630
11.1.5 精密软磁合金	638
11.1.6 铁氧体软磁材料性能	640
11.1.7 非晶态与超微晶合金	648
11.2 线材	652
11.2.1 常用导线的品种、规格	652
11.2.2 漆包圆绕组线	653
11.2.3 我国线规与英、美线规对照	657
11.2.4 丝包线、玻璃丝包线	657
11.2.5 双玻璃丝包扁线	659
11.2.6 丝包束线	661
11.2.7 引出线	664
11.2.8 附表	666
11.3 绝缘材料	666
11.3.1 电绝缘纸	667
11.3.2 纤维、薄膜、胶带	671
11.3.3 层压板、棒、管	675
11.3.4 工程塑料	677
11.3.5 浸渍、灌注材料	679
11.4 辅助材料	684
11.4.1 打包钢带	684
11.4.2 套管	684
11.4.3 焊锡	685
第 12 章 常用配件	686
12.1 骨架	686
12.1.1 E 型、XE 型小型变压器骨架	686
12.1.2 GE、GEB、YEI 型变压器骨架	687
12.2 底筒	691
12.3 焊片	695
12.4 底座	696
12.4.1 CD 型变压器底座	696
12.4.2 XCD 型变压器底座	698
12.5 底板	698
12.5.1 CD、XCD 型变压器底板	698
12.5.2 ED、XED 型变压器底板	699
12.5.3 三相变压器底板	699
12.6 夹框	700
12.7 打包钢带	701
12.8 打包夹	702
12.9 铆装螺母	702
12.10 拉杆	702
第 13 章 安全认证	704
13.1 电子变压器安全认证的必要性	704
13.2 防着火的要求及措施	707
13.3 防触电的要求及措施	708
13.4 变压器的沿面距离和间隔	708
13.5 变压器申请进行安全认证所需资料	709
第 14 章 变压器常见故障和维修方法	710
14.1 概述	710
14.2 电子变压器的可靠性	710
14.3 常见的故障分类	710
14.4 设计过程中出现的问题	710
14.5 生产过程中出现的问题	712
14.6 使用过程中出现的问题	713
14.7 对故障变压器的维修	714
本书的主要参数符号	717
附录 1 常用导线规格及参数表	724
附录 2 JBK3 型机床控制变压器有关数据	727
附录 3 国内外常用磁性材料的损耗曲线	730

第1章 概 述

1.1 变压器的基本工作原理

变换电能以及把电能从一个电路传递到另一电路的静止电磁装置称为变压器。在交流电路中，借助变压器能够变换交流电压、电流和波形。每次变换通常是能量通过电磁方式传递到另一电路，而与该电路无直接联系。但也可通过电磁——电的方式进行变换，这种变压器即称为自耦变压器。

应该指出，变压器同时变换的不是一个而是几个电参数。例如，在变换电压时，电流同时也产生变化。

变压器在电子设备中占有很重要的地位，电源设备中交流电压和直流电压几乎都由变压器通过变换、整流而获得。在电路的隔离、匹配及阻抗变换等方面绝大多数是通过变压器来实现的。

简单的变压器原理图示于图 1—1。它由闭合的导磁体（铁心）和二绕组组成。其中一个绕组与交流电源相连接，我们称其为初级绕组；另一绕组与负载相连，该绕组称作次级绕组。

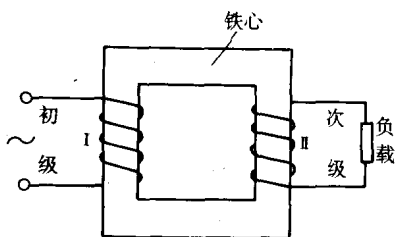


图 1—1 变压器结构原理图

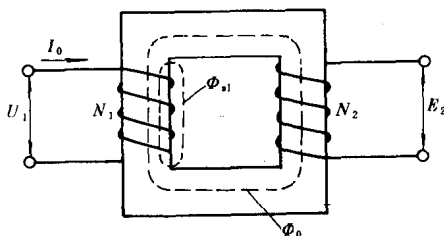


图 1—2 变压器空载工作原理图

首先研究变压器的空载状态即次级绕组与负载断开的状态（图 1—2）。如果初级绕组与交流电压为 U_1 的电源相连，在该绕组中将产生交变电流 I_0 ，该电流称作空载电流。这个电流建立了沿铁心磁路而闭合的交变磁通 Φ_0 ，它同时穿过初级绕组和次级绕组，并在绕组中产生感应电动势。按电磁感应定律，其有效值为

$$E_1 = 4K_\Phi f N_1 B_m S_c \times 10^{-4} \quad (1-1)$$

$$E_2 = 4K_\Phi f N_2 B_m S_c \times 10^{-4} \quad (1-2)$$

式中 E_1 ——初级自感电势（V）；

E_2 ——次级互感电势（V）；

K_Φ ——电压的波形因数，对于正弦波， $K_\Phi = 1.11$ ，对于方波， $K_\Phi = 1$ ；

f ——交流电源的频率（Hz）；

N_1 ——初级绕组的匝数；

N_2 ——次级绕组的匝数；

B_m ——磁感应强度振幅值（T）；

S_c ——铁心有效截面积（ cm^2 ）。

由式（1—1）和式（1—2）可见，绕组中的感应电势正比于该绕组的匝数。将式（1—1）除以式（1—2）得：

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-3)$$

如果忽略初级绕组和铁心的损耗,并假定所有磁通都沿着铁心的磁路而闭合,则在初级绕组中的磁通 Φ_0 所产生的自感电势 E_1 ,按楞次定律,其数值与所加电压相等,而其符号相反,即

$$U_1 = -E_1 \quad (1-4)$$

实际上,变压器空载电流,除了为在变压器铁心中建立磁通 Φ_0 所需的磁化分量 I_ϕ 之外,还包括由于铁心损耗所引起的有功分量 I_c ,因此,空载电流

$$I_0 = I_\phi + I_c \quad (1-5)$$

此外,变压器初级绕组具有直流电阻 r_1 ,因而在初级绕组中产生有功电压降 Δu_1

$$\Delta u_1 = I_0 r_1 = -E_{a1} \quad (1-6)$$

式中 E_{a1} ——为补偿初级绕组电压降而假定的电动势。

流过初级绕组的电流,不仅建立沿铁心的磁路闭合的主磁通 Φ_0 ,而且建立沿空气闭合的漏磁通 Φ_{s1} (图 1—2),这个漏磁通在初级绕组中感应漏电势,即

$$E_{s1} = -I_0 X_{s1} \quad (1-7)$$

式中 X_{s1} ——初级绕组的漏感抗。

根据电动势相平衡的定律,外施电压 U_1 应与 E_1 、 E_{a1} 和 E_{s1} 的矢量相平衡,即

$$\begin{aligned} U_1 &= -(\dot{E}_1 + \dot{E}_{a1} + \dot{E}_{s1}) \\ &= -\dot{E}_1 + I_0 r_1 + I_0 X_{s1} \end{aligned} \quad (1-8)$$

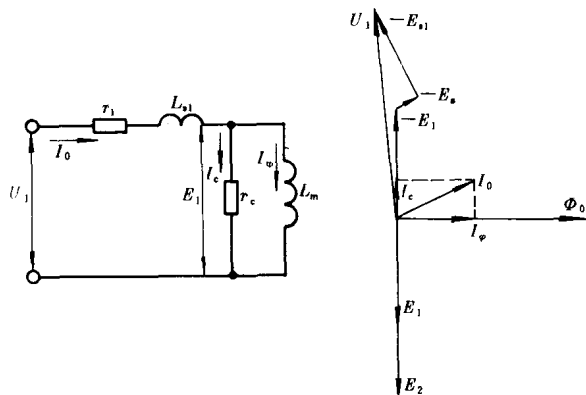


图 1—3 变压器空载等效电路及矢量图

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2}$$

对于中小功率变压器来说,由于初级漏感较小,故 X_{s1} 或 L_{s1} 可忽略不计,此时

$$U_1 \approx -\dot{E}_1 + I_0 r_1 \quad (1-9)$$

现在研究变压器在负载工作时的物理过程。

如果在变压器初级绕组供给电压 U_1 ,次级绕组与负载相连(图 1—4)。这时,次级绕组将有电流 I_2 流过,在铁心中产生磁通 Φ_2 , Φ_2 的方向应与 Φ_0 方向相反。 Φ_2 穿过初级绕组后,初级绕组便从电源取得电流 I_1 ,而 I_1

又产生与 Φ_2 相反的磁通 Φ_1 。显然, $\Phi_2 = -\Phi_1$, 两个磁通相互抵消,结果,磁路中只剩下一个由空载电流所建立的磁通 Φ_0 。

电流 I_1 的数值可依据能量守恒定律求得。如果忽略铁心和绕组的功率损耗,则初级绕组的功率就等于次级绕组的功率,即

空载状态工作的变压器的等效电路及矢量图示于图 1—3。

图中, r_1 表示初级绕组直流电阻, X_{s1} 或 L_{s1} 表示由初级绕组漏磁通产生的漏感抗或漏感, r_c 为铁心损耗电阻, X_m 或 L_m 表示初级绕组除漏磁通外的自感抗或自感,又称激磁电抗。

空载时,初级绕组的电压降一般是很小的,所以 U_1 和 E_1 之值相差很小,故变压器空载电压比仍可近似等于其匝数比。即

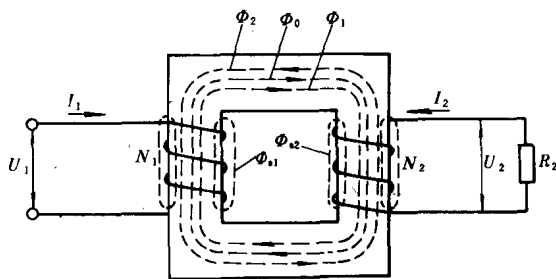


图 1—4 变压器负载工作原理图

$$E_1 I_1 = E_2 I_2 \quad (1-10)$$

所以

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1-11)$$

比较式 (1-3) 和式 (1-11) 可得

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1-12)$$

$$\text{或} \quad I_1 = \frac{I_2 N_2}{N_1} \quad (1-13)$$

上面已经确定, 当负载电流的数值不同时, 变压器铁心中的磁通是不变的。因此, 建立该磁通的磁势也是不变的。由此可得

$$a\dot{w}_0 = a\dot{w}_H \quad (1-14)$$

式中 $a\dot{w}_0$ ——空载时的安匝数;

$a\dot{w}_H$ ——负载时的安匝数。

空载时的安匝数为

$$a\dot{w}_0 = I_0 N_1 \quad (1-15)$$

在负载情况下, 初、次级绕组安匝数总和为

$$a\dot{w}_H = \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 \quad (1-16)$$

$$\text{故} \quad \dot{I}_0 N_1 = \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 \quad (1-17)$$

式 (1-17) 称为磁势平衡方程式。

变压器带负载工作时, 除了沿铁心磁路而闭合的主磁通外, 还有沿空气而闭合的漏磁通 Φ_{s1} 、 Φ_{s2} (图 1-4), 这个磁通在初级和次级绕组中感应出漏电动势

$$\dot{E}_{s1} = -\dot{I}_1 X_{s1} \quad (1-18)$$

$$\dot{E}_{s2} = -\dot{I}_2 X_{s2} \quad (1-19)$$

当电源和变压器初级绕组构成闭合回路时, 可按式 (1-8) 类似的方法得到

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + \dot{I}_1 X_{s1} \quad (1-20)$$

对于变压器次级绕组 (产生电动势 E_2) 和负载构成的闭合回路中, 可依据电动势平衡定律求得

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 - \dot{E}_{s2} - \dot{E}_{s1} = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 X_{s2} \quad (1-21)$$

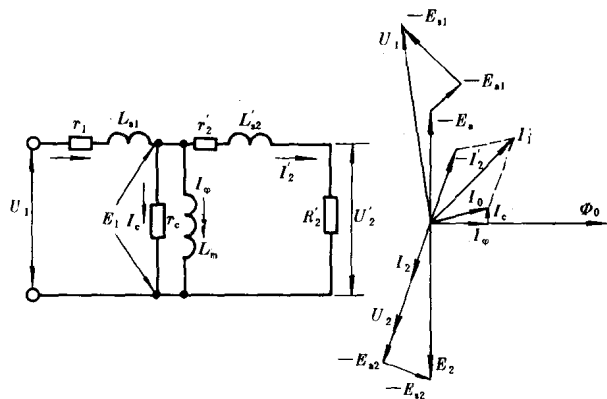


图 1-5 变压器负载等效电路及矢量图

其值为

在电阻性或电感性负载下变压器的等效电路和矢量图见图 1-5。

同样, 对中小功率变压器, 可忽略漏感抗 X_{s1} 和 X_{s2} , 此时

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 \quad (1-22)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 r_2 \quad (1-23)$$

但是, 当工作频率升高时, 其漏感的影响将逐渐增大, 因此, 音频变压器、高频变压器、脉冲变压器必须考虑漏感的影响。

在等效电路计算中, 往往把次级参数变换 (又称反射或归算) 到初级, 设变压器次级负载电阻为 R_2 ,