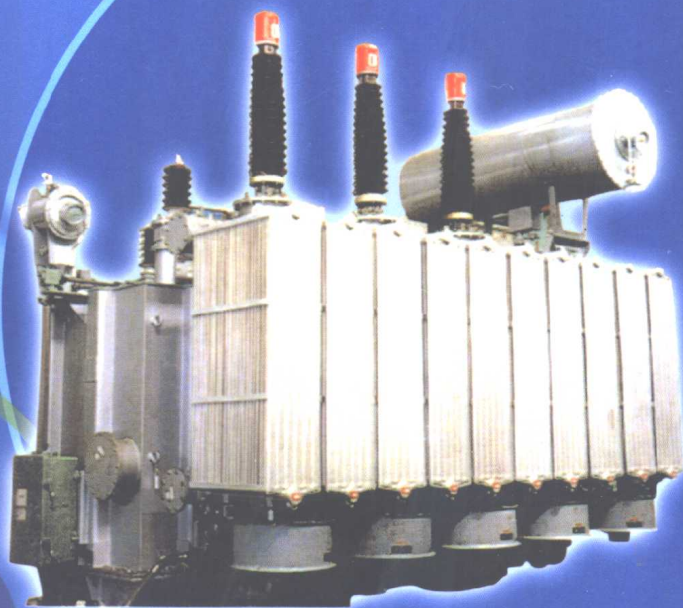


电力变压器



设计计算方法与实践

刘传彝/编著



101100111001110001110101000001100010010011010101100111001110001110
101010011100011011010010010101011001101001001001101101001110001101101
001010101010100101101010000111100010011001100110011010010101010010110
01010110101101001001011011011011011011101110101001101010110101101001001
00111001100011001010110011001101100100101010101001010100111001100011001010

电力变压器设计 计算方法与实践

刘传彝 编著

辽宁科学技术出版社

·沈阳·

图书在版编目 (CIP) 数据

电力变压器设计计算方法与实践/刘传彝编著.
- 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.9
ISBN 7-5381-3735-1

I. 电… II. 刘… III. 电力变压器 - 计算机辅助设计 IV. TM41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 059828 号

出 版 者: 辽宁科学技术出版社
(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)
印 刷 者: 沈阳新华印刷厂
发 行 者: 各地新华书店
开 本: 787mm × 1092mm 1/16
字 数: 600 千字
印 张: 26.5
印 数: 1~5 000
出版时间: 2002 年 9 月第 1 版
印刷时间: 2002 年 9 月第 1 次印刷
责任编辑: 枫 岚
封面设计: 庄庆芳
版式设计: 于 浪
责任校对: 立 岩

定 价: 48.00 元

联系电话: 024-23284360
邮购咨询电话: 024-23284502
E-mail: lkzsb@mail.lnpgc.com.cn
http: //www.lnkj.com.cn

内容提要

本书把变压器电磁计算同电工基础理论紧密联系在一起,按电磁计算过程一一展开,清晰地分析了变压器的电路、磁路、漏磁效应、阻抗、附加损耗、机械力、绝缘及温升等问题。

对变压器的电路,依据克氏二定律进行了按接线方式的不同进行分类的电流、电压和电势计算,并对构成电路的绕组进行了详尽地分析。对变压器的磁路,依据电磁感应定律、磁路欧姆定律分析了感应电势、磁通和磁密的计算,并对构成磁路的铁心进行了分析。对变压器的漏磁效应,依据磁路定律,采用漏磁组及解析法进行了按接线方式的不同、绕组排列方式的不同的阻抗计算,以及由于漏磁引起的附加损耗计算、机械力的计算等。对变压器的绝缘,分析了运行变压器所承受的各种过电压,进行了变压器主、纵绝缘计算。

本书每章都引入了例题,以深化概念,读者可以比较容易地掌握有关理论和计算方法。本书可作为从事变压器工作的工程技术人员以及有关院校师生的参考书。

《变压器技术丛书》编辑委员会

主 任 于海年

副主任 朱英浩 高 鹏 郭振岩

委 员 (按姓氏笔画为序)

尹克宁 刘玉仙 孙定华 李文海

张文相 张德明 应百川 杨治业

陈 奎 陈道辉 肖耀荣 周贤土

贺以燕 唐任远

前 言

变压器理论是电机学的一个分支。尽管变压器是一个静止电气设备，但由于高电压、大容量变压器的出现，变压器理论同样是一门复杂的学科，所涉及知识面广，难度也很大。其基本理论是建立在电机专业和高压专业的理论基础和专业基础之上的。

目前，有关变压器理论与设计计算的书籍不少。其中有的书籍偏重于理论的阐述和繁复公式的推演，较少涉及实际应用，有的则是如同工厂的设计手册，不涉及参数、系数等选取的依据以及各种简化计算公式的来源。前一种适合学校的教学用，而后一种适合工厂技术人员设计计算参考。

本书重点放在理论与实用的沟通，从理论基础出发，层层展开。对于每一参数的选取、每一系数取值范围、每一工程计算公式，都应从物理概念出发，进行严谨的分析。但在应用计算中，要结合工程实际以及工程上允许误差等。另外，本书对现行设计计算的每一部分都进行了知识的延伸和扩展，并做到各部分有机的衔接。

本书不拘形式，完全打破以前变压器设计计算这类图书的传统格式，其章节安排像似电工基础，实际上又不脱离变压器，其目的是把工程计算同专业基础知识紧扣在一起，这对于年轻技术人员从事变压器设计是十分有益的。

本书可作为大学电机专业教学参考书，也可供变压器理论教学、产品研究、设计制造、试验运行等各方面的教师、工程技术人员应用。

沈阳变压器有限责任公司原副总工程师蒋守诚及沈阳变压器研究所首席（实习）指导工程师赵良云对全书进行了审阅，《变压器》杂志编辑部许多同志为本书的编写出版给予了大力协助，在此一并表示感谢。

刘传彝

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 变压器的分类	(1)
第二节 电力变压器性能参数的确定	(2)
第三节 变压器设计计算专业基础知识	(3)
第四节 变压器设计计算步骤	(7)
第五节 工程设计计算方法、思路及特点	(8)
第二章 变压器的电路	(10)
第一节 概述	(10)
第二节 普通电力变压器的电路分析	(13)
第三节 自耦变压器的电路分析	(23)
第四节 多绕组变压器的电路分析	(32)
第五节 有载调压变压器的电路分析	(35)
第六节 对变压器绕组的基本要求	(39)
第七节 变压器绕组基本形式及特点	(43)
第八节 绕组基本参数选取及计算	(49)
第九节 绕组尺寸确定方法及计算	(55)
第十节 窗高及绝缘半径和中心距的计算	(59)
第三章 变压器的磁路	(62)
第一节 概述	(62)
第二节 变压器磁路分析及计算	(62)
第三节 对变压器磁路的基本要求	(63)
第四节 变压器的铁心结构	(64)
第五节 铁心内磁通分布和磁通密度	(71)
第六节 铁心主要尺寸及重量计算	(72)
第七节 铁心绝缘和接地	(78)
第八节 变压器的励磁电流	(82)
第九节 变压器的空载损耗	(84)
第十节 铁心结构强度计算	(87)
第四章 变压器漏磁效应	(92)
第一节 变压器漏磁场分析	(92)
第二节 最大漏磁密 B_m 的计算	(93)
第三节 漏磁场引起的变压器附加损耗	(101)

第四节	绕组导线的涡流损耗	(102)
第五节	同心式双绕组变压器中涡流损耗	(108)
第六节	多层绕组变压器中的涡流损耗	(109)
第七节	三绕组及多绕组变压器中涡流损耗	(112)
第八节	漏磁场在交错式绕组中引起的损耗	(115)
第九节	绕组不完全换位引起的损耗	(116)
第十节	漏磁场在钢结构件中引起的损耗计算	(121)
第十一节	减少变压器漏磁场引起的附加损耗的措施	(124)
第五章	变压器短路阻抗计算	(126)
第一节	概述	(126)
第二节	短路电抗计算	(127)
第三节	漏磁组法计算变压器短路电抗	(130)
第四节	解析法计算变压器短路电抗	(131)
第五节	三绕组变压器短路阻抗计算	(133)
第六节	多绕组变压器短路电抗计算	(134)
第七节	有载调压变压器(具有单独调压绕组)短路电抗计算	(137)
第八节	自耦变压器短路电抗计算	(141)
第九节	有载调压自耦变压器短路电抗计算	(143)
第十节	交错式绕组的短路电抗计算	(147)
第十一节	分裂式绕组短路阻抗计算	(150)
第十二节	曲折(Z)联结三相变压器短路阻抗计算	(154)
第十三节	同心式绕组因安匝分布不平衡而引起的横向短路电抗计算	(155)
第十四节	三相变压器绕组的零序电抗计算	(157)
第十五节	短路阻抗计算实例	(159)
第六章	变压器的绝缘	(162)
第一节	概述	(162)
第二节	变压器绝缘分类	(166)
第三节	变压器承受电压的分析及考核方法	(168)
第四节	绝缘配合与试验电压	(177)
第五节	变压器绝缘的电气强度	(188)
第六节	变压器绝缘计算	(206)
第七节	变压器绕组波过程	(222)
第八节	变压器绕组冲击特性	(248)
第九节	变压器绝缘结构分析	(256)
第十节	变压器中性点绝缘水平的分析	(270)
第十一节	关于绝缘几个特例的分析和计算	(275)
第七章	变压器温升计算	(289)
第一节	概述	(289)

第二节	变压器的热效应及温度分布	(290)
第三节	变压器散热形式的分析	(291)
第四节	变压器的温升限值	(300)
第五节	变压器安装处的海拔高度和油箱颜色对其温升的影响	(301)
第六节	变压器冷却方式	(303)
第七节	绕组温升计算	(305)
第八节	铁心温升计算	(310)
第九节	油温及油面温升计算	(316)
第十节	在负载变动情况下变压器发热与温升计算	(321)
第十一节	变压器局部过热产生的原因及防止方法	(323)
第八章	变压器电动力计算	(329)
第一节	概述	(329)
第二节	变压器绕组上作用力的方向	(329)
第三节	变压器安匝平衡计算	(331)
第四节	双绕组变压器作用力计算	(333)
第五节	三绕组变压器作用力计算	(337)
第六节	交错式绕组变压器作用力计算	(339)
第七节	突发短路电流计算	(341)
第八节	短路电流稳定值倍数的计算	(344)
第九节	突发短路时的动态力	(345)
第十节	变压器机械强度计算	(351)
第十一节	提高大型变压器抗短路能力的措施	(353)
第九章	中小型变压器计算实例	(355)
第一节	500kVA 及以下配电变压器计算	(355)
第二节	630kVA 及以上配电变压器计算	(361)
第三节	低压箔式绕组配电变压器计算	(368)
第四节	35kV 变压器计算	(373)
第五节	35kV 有载调压变压器计算	(377)
第十章	大型变压器计算实例	(382)
第一节	双绕组变压器计算	(382)
第二节	三绕组变压器计算	(387)
第三节	三绕组有载调压变压器计算	(394)
附录		(402)
附录一	9 型变压器技术参数	(402)
附录二	高牌号冷轧硅钢片性能数据	(405)
附录三	国内外冷轧取向晶粒磁性钢带(片)标准对照表	(407)
附录四	电磁学单位表	(408)
附录五	变压器用材料性能指标	(409)

第一章 概 述

第一节 变压器的分类

变压器是一种静止的电磁感应设备，在其匝链于一个铁心上的两个或几个绕组回路之间可以进行电磁能量的交换与传递。根据不同用途，变压器可以分为许多类型。

1. 电力变压器

电力变压器在电力系统中属于量大面广的产品。二次侧电压高于一次侧电压的变压器称为升压变压器；反之，称为降压变压器；直接接发电机组的升压变压器，又称为发电机用变压器；二次侧直接接用户的变压器，称为配电变压器；把两个或三个网络联结起来，使其间可以有潮流往来、能量交换的变压器，称为联络变压器。联络变压器也可制作成自耦变压器。至 2000 年止，我国电力变压器最高电压为 500kV，单台三相变压器最大容量为 720MVA。

2. 电炉变压器

工业上使用的金属材料和化工原材料很多是用电炉冶炼和生产出来的。而电炉所需的电源是由电炉变压器供给的。电炉变压器的特点是二次电压很低（一般由几十伏到几百伏），但电流却很大。电炉变压器种类很多，根据冶炼不同的原材料，电炉变压器可分为炼钢电弧炉变压器、矿热炉变压器，电阻炉变压器，盐浴炉变压器，以及工频感应炉和电渣炉变压器等。我国电炉变压器一次侧的电压多为 10kV 或 35kV，个别的为 110kV。

3. 整流变压器

很多工业电气设备需要直流供电，如城市主要交通工具之一的电车、电机车、钢厂的轧机、冶炼厂及化工厂的电解槽等。把交流电变成直流电是需要经过整流器（水银整流器、硅整流器）进行整流的，供工业整流器用的电源变压器，称作整流变压器。为了提高整流效率，整流变压器二次绕组要接成六相或十二相。整流变压器的共同特点是二次电压低，电流大。为了提高效率，二次侧相数一般不少于三相，有时采用六相、十二相或加移相绕组。另外，由于整流的作用，整流变压器绕组中的工作电流波形是不规则的非正弦波。

4. 工频试验变压器

工频试验变压器也称高压试验变压器。

工频试验变压器在电气工厂、发电站、电业部门和科研等单位应用十分广泛，是不可缺少的试验设备。通过采用工频试验变压器可以对各种电工产品、电气元件、绝缘子、套管和绝缘材料等进行工频电压下绝缘强度试验。

工频试验变压器特点是一、二次绕组具有很大的电压比。一次电压通常为 0.22、

0.38、3、6 和 10kV 等，二次电压为 50~220kV 或更高。试验变压器运行持续时间都在 1h 以下。也可由几台试验变压器串联成串接试验变压器装置。

目前，我国自行设计制造的最大容量串接工频试验变压器装置为 9000kVA (2250kV、4A)。

5. 电抗器

具有一定电感值的电器，通称为电抗器。现代的电抗器种类很多，应用也十分广泛。总的说来，电抗器按结构可以分为两类：一类为空心电抗器；另一类为铁心电抗器。用于限制短路电流的电抗器称为限流电抗器。例如，电力系统中用于限流的限流电抗器，电炉炼钢炉变压器用的串联电抗器，电动机启动用的启动电抗器等。限流电抗器通常是串联连接在电路中。用于补偿电容电流的电抗器称为补偿电抗器。例如，电力系统中用的并联电抗器，中性点接地用的消弧线圈，串联谐振试验装置中用的试验电抗器等。补偿电抗器有的并联连接在电力系统中，有的串联连接在电力系统中。

6. 调压器

调压器的特点是二次侧电压变化范围很大，一般可以从零值调到额定电压。调压器因结构特点不同，可分为自耦式调压器、移圈调压器、感应调压器及磁饱和调压器等。大容量调压器一般同试验变压器和整流变压器配套使用。

7. 矿用变压器

矿用变压器用在煤矿井下，为各种动力设备和各种用电装置提供电源。

矿用变压器分为油浸式和干式两类。考虑到安装在矿坑下面，为防止矿石打碎套管和防止受潮，一般制成密封式结构，即一次侧和二次侧是通过焊在箱壁两侧电缆盒中电缆线引出的。一次侧设有无励磁调压，调压范围 $\pm 5\%$ ，二次绕组引出六个端子，可以进行 Y—D 改结，得到 690/400V 电压。

为适应矿井下使用，要求变压器结构坚固，外形低矮，变压器不带储油柜，油箱内油面以上留有适当的空间，以防止箱盖上的通气孔堵塞时箱内产生过大的压力。

8. 其他特种变压器

适应不同用途的特种变压器种类很多，如冲击变压器、隔离变压器、电焊机变压器、X 光变压器、无线电变压器、换相器、增波器、互感器等。

以上是根据变压器用途进行分类，实际上根据结构以及其他方式还可进行分类。

第二节 电力变压器性能参数的确定

在进行电力变压器设计之前，必须明确设计技术任务书中各项技术参数。

- a. 变压器额定容量：对于三绕组变压器，必须指明各绕组的额定容量；
- b. 相数：单相或三相；
- c. 频率；
- d. 变压器一、二次侧的额定电压；
- e. 绕组接线方式和联结组；
- f. 变压器冷却方式；

- g. 绝缘水平;
 - h. 负载特点: 连续负载或短时间断续负载, 对于短时间断续负载要指明负载大小和持续时间;
 - i. 安装特点: 户内或户外安装。
- 以上几点技术参数是由电力系统技术条件和环境及使用条件决定的。
- j. 短路阻抗;
 - k. 负载损耗;
 - l. 空载损耗;
 - m. 空载电流。

最后四项性能参数是由“三相油浸式电力变压器技术参数和要求”规定的, 或者由用户同制造厂共同协商而定的。

1. 短路阻抗

短路阻抗包括两个分量, 即有功分量和无功分量。当负载功率因数一定时, 变压器电压调整率基本上与短路阻抗成正比, 另外变压器的负载损耗、成本也随短路阻抗的增加而增加, 所以从降低成本, 减少损耗这一角度出发, 短路阻抗小些为好。但变压器短路时的稳态电流增长倍数与短路阻抗成反比, 为了限制变压器动热稳定, 短路阻抗大些为好。短路阻抗的选定, 一般按国家标准规定来选; 如果有特殊要求, 必须在技术协议中注明。

2. 变压器负载损耗

负载损耗包括基本损耗和附加损耗。基本损耗是指直流电阻损耗。降低电流密度, 增加导线截面就可以降低直流电阻损耗; 附加损耗主要是指涡流损耗和漏磁在钢结构件中引起的损耗。附加损耗通过改进结构, 采用新工艺、新材料来降低。总之, 大幅度降低负载损耗必然增加制造成本。

3. 变压器空载损耗

空载损耗主要是指磁滞损耗和涡流损耗。这两种损耗均与硅钢片材质、磁密取值有关, 与硅钢片加工也有很大的关系。由于目前大量采用高牌号优质硅钢片, 加之利用先进纵、横剪线剪切, 使硅钢片空载损耗大幅度降低。

4. 变压器空载电流

变压器在空载运行时的电流称为空载电流。空载电流包括励磁电流和铁损电流两个分量, 也称为空载电流的无功分量和有功分量。其中无功分量是当变压器空载运行时在铁心中产生磁通的励磁电流, 而有功分量是空载运行时在一次绕组和铁心中产生有功损耗的电流。无论从变压器安全运行或从变压器经济运行角度看, 都希望空载电流小些。随着铁心结构和制造工艺的改进, 以及硅钢片性能的改善, 目前变压器空载电流已大大降低了。

第三节 变压器设计计算专业基础知识

变压器属于电机一个分支, 从原理上讲与电机相同, 都是根据电磁感应原理制造

的，都存在电路和磁路问题。但由于变压器主要是用来输变电，要运行在高压或超高压系统中，所以从承受高电压这一角度来讲，与电机又有所区别。本节把变压器所涉及的主要专业基础知识分述一下。

1. 电机学

变压器能量转换是通过电磁感应而实现的，所以分析变压器电磁关系要根据有关电和磁的规律。每台变压器必须有电路和磁路，而电路和磁路又是电场和磁场的简化，凡用电路和磁路的方法能解决的就尽量采用电路和磁路的方法，只有遇到更细致的问题才必须用场的方法。电机学作为研究电机的基本规律的课程，着重在它的稳态过程，因为这是它的最基本运行方式。因此在电机学中常用的电磁规律是电路的规律和磁路的规律。一般变压器的电路是由绕组构成，而磁路是指定的磁通所通过的部分，而这些问题同电机一样是基于以下几条主要规律。

(1) 克氏第一和第二定律

这是电路的定律，同样也适用于磁路。第一定律，即在电路或者磁路联结点上，电流或磁通代数之和等于零。如图 1-1 三绕组变压器的三射线等效电路中，对于 A 点，即有：

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

在磁路中，对任何一个节点，同样有 $\sum \Phi = 0$ 。

克氏第二定律为电势平衡定律，即在闭合的回路中（电路或磁路），电势之和等于所有压降之和，或者磁势之和等于所有磁压降之和。图 1-2 为单相降压自耦变压器电路，从图中可以得出：

$$U_2 = E_2 - (I_1 + I_2) Z_2$$

$$U_C = E_C - I_1 Z_1$$

$$U_1 = - (U_C + U_2)$$

(2) 全电流定律

在闭合的磁路中，磁场强度线积分等于作用在该回路上的总的磁势（安匝），即

$$\oint H \cdot dl = IW$$

双绕组变压器主漏磁空道的最大漏磁密度就可以按全电流定律计算，主空道可以认为是等断面的均值磁路。就这一段磁路而言，

$$\frac{B_m}{\mu_0} \frac{H_k}{\rho} = \sqrt{2} IW \quad (1-1)$$

式中 B_m ——主空道中漏磁密度峰值, T;

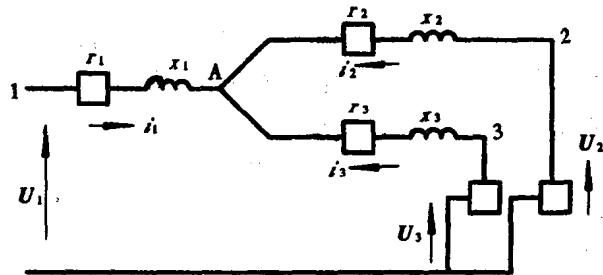


图 1-1 三绕组变压器等效电路

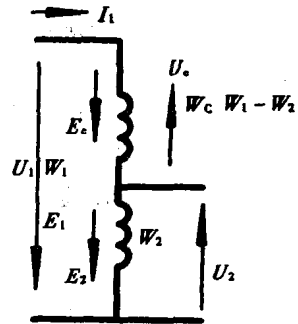


图 1-2 单相降压自耦变压器

H_k ——绕组电抗高度, m;

IW ——安匝数, A;

μ_0 ——真空中的磁导系数, $4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$;

ρ ——洛氏系数。

现将式(1-1)推导为常用公式:

$$B_m = \frac{\mu_0 \sqrt{2} IW \rho}{H_k} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \sqrt{2} IW \rho}{H_k}, \text{T}$$

式中 I ——方均根值, A;

H_k ——电抗高, m;

W ——匝数;

B_m ——磁密, T。

若 H_k 改用为 cm, 则上式可以代换如下:

$$B_m(\text{T}) = 12.56 \times 1.414 \times 10^{-7} \frac{IW \rho}{H_k \times 10^{-2}}, \text{故}$$

$$B_m = 12.56 \times 1.414 \times 10^{-7} \times 10^2 \frac{IW \rho}{H_k} = \frac{1.78 IW \rho}{H_k} \times 10^{-4}, \text{T} \quad (1-2)$$

式(1-2)在电抗计算、涡流损耗计算、机械力计算都要用到, 通过这一公式作为中间转换媒介, 甚为方便。

(3) 法拉第电磁感应定律

绕组中通过交变电流时, 就建立相应的交变磁通, 在固定绕组中的感应电动势为:

$$e = \frac{d\varphi}{dt} = -W \frac{d\phi}{dt}$$

式中, W 为绕组匝数。负号来自这样规定, 即当回路中磁通的正向是右螺旋前进的方向时, 电动势的正向是右螺旋转动的方向, 根据楞次定则, e 和 $\frac{d\phi}{dt}$ 恒负号。

交变磁通是时间的余弦函数(也可设为正弦函数), 即

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t$$

$$e = -W \frac{d\phi}{dt} = W\omega \Phi_m \sin \omega t$$

当 $\sin \omega t = 1$, 则

$$E_m = W\omega \Phi_m$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = W\omega \Phi_m / \sqrt{2} = 2\pi f W \Phi_m / \sqrt{2}$$

上式经变换得

$$e_i = \frac{E}{W} = \frac{2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f \Phi_m$$

当 $f = 50 \text{Hz}$ 时, 因 $\Phi_m = B_m S \times 10^{-4}$

$$\text{得 } e_i = 4.44 \times 50 B_m S \times 10^{-4} = \frac{B_m S}{45} \quad (1-3)$$

式中 e_i ——每匝电势, V;

B_m ——铁心柱中磁密峰值,T;

S ——铁心截面积, cm^2 。

式(1-3)是变压器电磁计算引导式,即电磁计算第一步就要通过此式来反复调整匝电势、绕组匝数和铁心截面积及铁心中最大磁密。

(4) 安培力定律

一、二次绕组通过电流后,在它们所在空间及其所包络的空间的 μ_0 介质中建立漏磁场(轴向的和辐向的)。在它们共同建立起这个磁场以后,处于这个磁场中的两个绕组本身又要受到力的作用,这个力称为电动力,或者称为洛兹力。这个力基本公式为:

$$dF_L = idL_x B \quad (1-4)$$

式(1-4)是计算绕组受力的基本公式。

2. 电磁场理论

在高电压、大容量变压器中,有些问题难以用电路和磁路方法解决,而必须涉及到电场、磁场或交变电磁场理论。如对变压器主空道、绕组端部、引线周围的电场分布,必须对其场强进行定量计算;同时,也必须研究不同结构形式的允许场强。由于有结构不对称、多介质等诸多原因,场强计算比较复杂,必须借助计算机进行计算。

对于静态场(包括静电场、恒定电流场、恒定磁场),可用位函数加以描述,如在静电场中,电场强度 E 可用电位函数 φ 的梯度表示,在磁场中磁场强度 H 可用标量磁位函数 φ_m 的梯度表示,即

$$E = -\text{grad}\varphi \quad H = -\text{grad}\varphi_m$$

如果场域的介质为均匀,且各向同性时,这些函数全部满足泊松方程或拉普拉斯方程,其表达式为:

$$\Delta^2 \varphi = -\frac{q}{\epsilon} \quad (1-5)$$

$$\Delta^2 \varphi = 0 \quad (1-6)$$

式(1-5)为场域中有电荷分布,属于泊松方程;式(1-6)为场域中无电荷分布,属于拉普拉斯方程。

对于某一个具体物理问题,给定必要的物理条件(即给出定解条件或称边界条件)、位场方程的解存在,且唯一。

3. 过电场及其保护

变压器在网络中运行时,除了承受正常工作电压外,还需承受操作过电压、暂态过电压以及大气过电压(通常称为雷击过电压)的作用。需研究这些过电压产生的原因及过电压产生的几率和作用到变压器后产生的危害,变压器试验的等效方法,以及从变压器外部和内部应采取的防患措施,尤其是结构本身的防患措施。

上述问题,在过电压及其保护这一领域中,均有较详尽分析和推理,也有通过解析方法进行演算,得出定量的解答,这里就不详述了。

第四节 变压器设计计算步骤

1. 变压器设计计算应注意的问题

变压器电磁计算任务在于确定变压器的电、磁负载、主要几何尺寸、性能参数和各部分温升以及变压器重量等。但最终计算结果必须满足国家标准规定和使用部门的要求。

在变压器设计计算中，需注意，计算时必须符合国家的经济、技术政策和资源情况以及制造和使用部门的要求，必须合理地制定性能参数和相应的主要几何尺寸。总的说来，制造厂家和使用部门的目标应该是一致的。但由于考虑各自的利益，对某些要求也往往有所矛盾，例如，用户考虑的是变压器运行的经济性，强调变压器要损耗低、效率高，但大幅度降低损耗必然导致多消耗材料，从而提高制造成本。所以在进行变压器计算时，需要综合考虑各方面因素，如用户的负荷特性等，来确定其计算原则。同时计算全过程，应进行多方案比较，以便从中选取最佳方案。

2. 变压器设计计算步骤

下面所述主要是针对电力变压器而言，特种变压器计算基本上与之相同，只需考虑其中特殊要求和自身特点即可。

a. 根据技术合同，结合国家标准及有关技术标准，决定变压器规格及其相应的性能参数，如额定容量、额定电压、联结组别、短路阻抗、负载损耗、空载损耗及空载电流等。

b. 确定硅钢片牌号及铁心结构形式，计算铁心柱直径，计算心柱和铁轭截面。

c. 根据硅钢片牌号，初选铁心柱中磁通密度，计算每匝电势。

d. 初选低压匝数，凑成整数匝，根据此匝数再重算铁心柱中的磁通密度及每匝电势、再算出高压绕组额定分接及其他各分接的匝数。

e. 根据变压器额定容量及电压等级，计算或从设计手册中选定变压器主、纵绝缘结构。

f. 根据绕组结构形式，确定导线规格，进行绕组段数、层数、匝数的排列，计算绕组的轴向高度及辐向尺寸。计算电抗高度（指变压器阻抗电压计算时的绕组净高度）及窗高。

g. 计算绝缘半径，确定变压器中心距 M_0 ，初算短路阻抗无功分量，大型变压器无功分量值应与短路阻抗标准值接近。

h. 计算绕组负载损耗，算出短路阻抗有功分量（主要指中小型变压器），检查短路阻抗是否符合标准规定值。

i. 计算绕组对油温升，不合格时，可调整导线规格、或调整线段数及每段匝数的分配，当超过规定值过大时，则需要调整变更铁心柱直径。

j. 计算短路机械力及导线应力，当超过规定值时，应调整安匝分布或加大导线截面。

k. 计算空载性能及变压器总损耗，计算油温升，当油温升过高或过低时，应调整

冷却器数目。

1. 计算变压器重量。

电力变压器计算的一般程序，如图 1-3 所示。

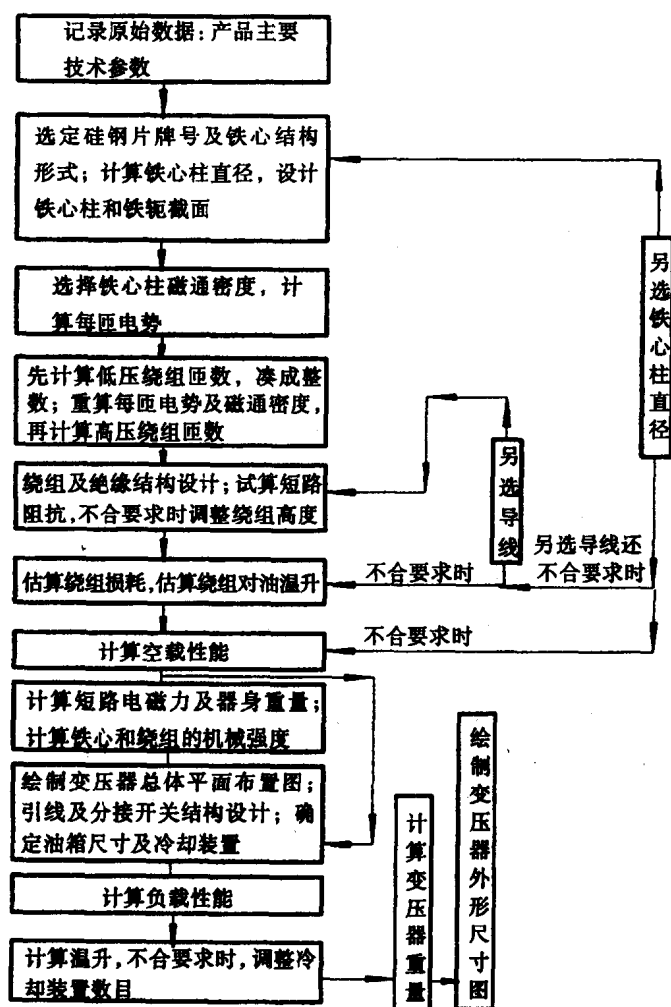


图 1-3 电力变压器计算的一般程序

目前，电子计算机在变压器计算和设计方面的广泛应用，给快速进行变压器计算、设计、方案比较和选择最佳方案提供了方便条件。

第五节 工程设计计算方法、思路及特点

无论是哪一个领域的工程设计，最终都要通过设计成果的实物来证实设计的正确性，而这实物有小到产品，大到关系国计民生的大工程项目。所以工程设计直接与人类实践联系在一起，并直接关系到个人利益、集体利益、国家利益和人民生命安全。