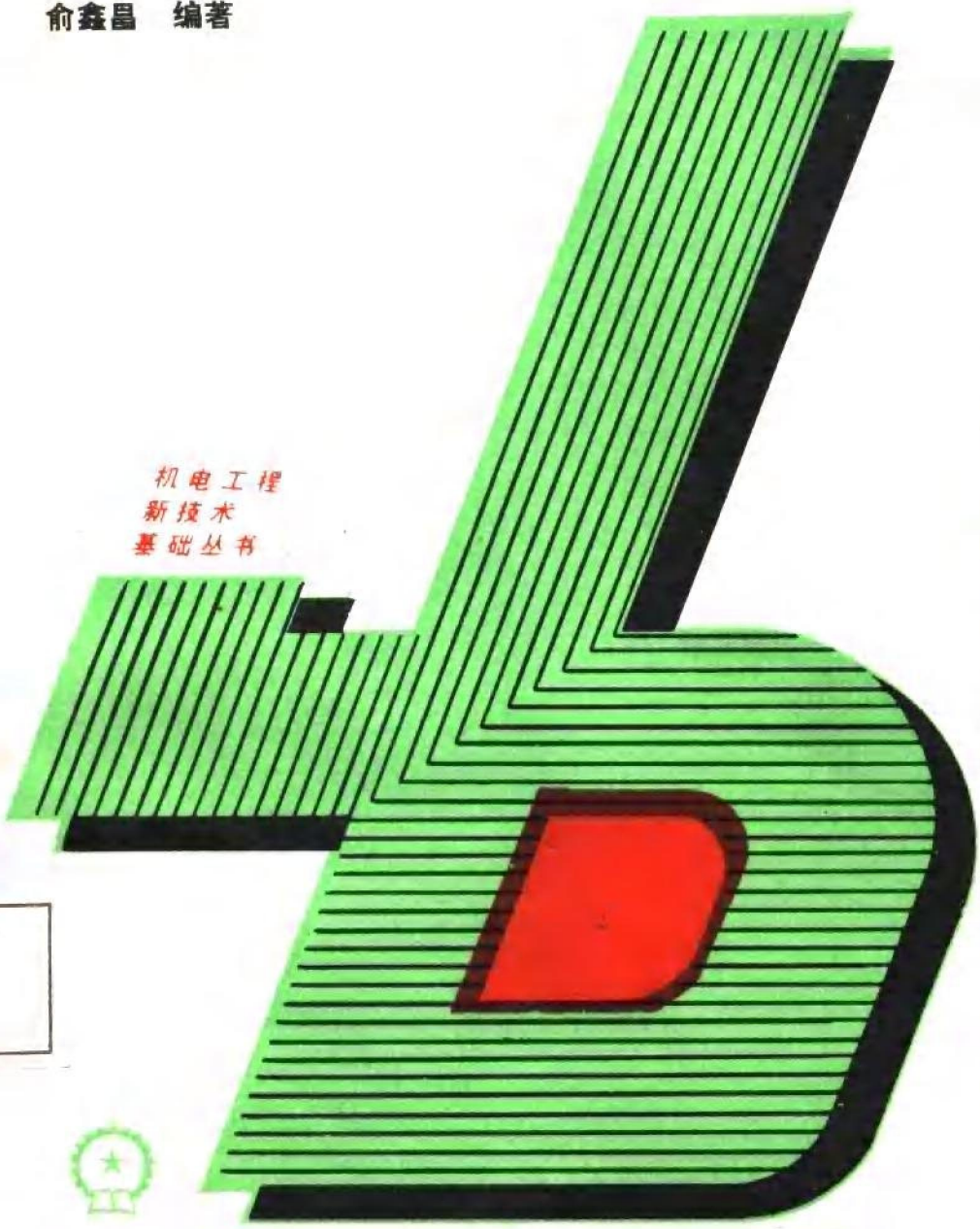


电机、电器优化设计

俞鑫昌 编著

机电工程
新技术
基础丛书

2



本书从优化基本理论、优化方法选择及优化程序编制三方面系统地介绍电机与电器优化设计。具有概念形象化、方法具体化的特点。

书中从工程应用的角度阐述优化设计的基本理论，详细介绍了各种常用优化方法及其在实用中的各种改进，包括一些较新的，如边界搜索法，混合赏罚函数法、混合离散规划和系列优化设计的特点等；还结合电机、电器优化设计成果实例具体介绍从数学模型建立到编出优化程序的各个步骤、一些实践经验与技巧。附录中介绍了模糊数学和模糊规划的基本知识，它是优化设计的一个重要发展方面。

本书可供电工技术专业的工程技术人员及高等学校有关专业师生学习优化设计时参考。本书便于自学，学完后一般能独立编出有关的优化程序并取得一定成果。

电机、电器优化设计

俞鑫昌 编著

*

责任编辑：刘家琼

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $10^{5/8}$ · 字数 275 千字

1988年2月北京第一版·1988年2月北京第一次印刷

印数 0,001—4,600 · 定价：3.10 元

*

ISBN 7-111-00145-1/TM·31



《机电工程新技术基础丛书》出版说明

科学技术的飞速发展，要求在机械工业部门从事技术和管理工作的干部学习和了解有关专业的新水平、新成就、新技术、新知识。为了贯彻机械工业“上水平、上质量、上品种，提高经济效益”这个总方针，帮助在职工程技术人员学习业务，更新知识，更好地为祖国的四化建设服务，我们特组织编写了这套《机电工程新技术基础丛书》，第一批将陆续出版十七种，这十七种书是：《工程数学方法》、《弹塑性力学》、《机械优化设计》、《电机、电器优化设计》、《机电产品可靠性技术》、《能源利用与开发》、《液压传动与控制》、《测试技术》、《环境污染与治理》、《材料科学及其新技术》、《数控技术》、《微型计算机应用技术》、《电子电路技术》、《自动控制工程》、《系统工程概论》、《管理数学》、《技术经济分析》。

这套丛书的读者对象，主要是六十年代以来的大学和中专毕业生，现在从事机电产品的设计、制造工艺、技术改造、设备维修、质量管理、技术管理等工作的工程技术人员。

丛书内容着重于七十年代以来机电工程和管理工程有关学科的最新发展。在重视阐明物理概念的基础上，介绍新技术、新理论的应用，以及如何进行有效管理和提高经济效益。为了适应更多读者的需要，丛书以介绍基础性知识为主，不过多地作出专业理论的探讨和论证，使它既可以作为在职技术干部和管理人员的培训教材，又可兼顾自学需要，使具有一般高等数学、普通物理知识的读者能够看懂。

由于条件和水平所限，丛书内容难免有不妥之处，希望读者提出宝贵意见，帮助我们改进提高。

前 言

优化设计是六十年代出现的一种设计方法，它以最优化的数学理论为基础，借助计算机自动选出最优方案。根据优化理论，当设计目标及必须满足的约束条件都能建立起数学模型时，所得的优化设计实际上是给定约束条件下的一种“极限”设计，只要给出的约束符合实际情况，其结果必然优于传统的经验设计，有设计周期短、质量高、经济效益好等明显优点，尤其对一些新产品。大量实践已证明这一点。即使是一个经验不多的设计人员借助它也能较快地设计出优于一般的好方案。国内不少理工科大学已把此列为本科生和研究生的课程，同时也引起不少工程技术人员的很大兴趣。

有关优化设计的书籍日见增多，有的系统阐述理论，有的专门介绍各种优化程序，但从基本原理到具体应用，比较系统地专门介绍电机与电器优化设计的书尚不多见。本书是作者的一个尝试。

本书是作者在1979年与1984年所编教材讲义《计算机辅助电机设计》与《计算机辅助电机优化设计》的基础上，根据多年教学实践改写而成。这次还补充了近年来在电机与电器优化设计方面所取得的科学研究成果与实践经验，其中有的成果经济效益相当明显，得到有关部门的好评。

优化设计包括数学模型建立、优化方法选择与优化程序编制三方面内容，相应地，本书也分三大部分共十章及一个附录。第一部分包括第一章至第三章，第一章回顾了电机与电器优化设计的发展简史，第二章介绍与优化理论有关的一些基本概念，并对常用的优化方法作了科学的分类，对学习优化理论所需补充的一些数学知识也作了介绍，如多变量函数对向量的求导、凸集与凸函数概念等，第三章介绍经典的与现代化的优化理论，但着眼于讲清基本概念及其对工程优化实际问题的指导意义，而不作详细的

数学推导。第二部分是第四章至第六章，第四章、第五章分别介绍求解无约束与有约束优化问题常用的各种优化方法，因为电机优化设计在数学上主要是一个带有多个不等式约束的非线性规划问题。目前经常先用转换法把它转化为无约束优化问题，又因其目标函数及约束条件一般较难用设计变量的显式表示，多半用数值解法再去求解一系列无约束优化问题。因此有约束问题中的SUMT罚函数法与无约束优化方法中的虎克-杰夫法、鲍威尔法等就成为本书介绍的重点。对于以梯度法为基础的一些方法，如共轭梯度法、DFP法等，因求导较难，只在第六章中作简单介绍，以便读者有个全面了解。在讲述上述各种优化方法时，本书着重讲清其基本思想的相互联系，以及实用中容易碰到的问题。对于详细的理论证明，则给出有关参考文献，便于读者需要时查阅。

为了便于读者掌握优化过程的全貌，介绍概念与方法时引用较多的二元二次函数及其几何图形作典型实例，尽量使各种概念形象化，各种方法具体化，而且不失其普遍性。因为任何目标函数在极值点附近都可以近似地表示成二次函数，而二元函数的几何意义最直观。因此优化理论大都先从研究二元二次函数开始，再推广到一般情况。一般地说，对二次函数有效的优化方法，对其他函数也可能较好。第三部分包括第七章至第十章。主要结合电机与电器优化设计的特点，通过多个优化设计实例详细介绍从建立问题的数学模型到具体编制优化设计的计算机程序的一些技巧与实践经验。第七章以三相异步电动机为例，讲述了编制性能校核计算程序的具体步骤，并给出不少实用的子程序供参考。这是计算目标函数值所必须的环节，也介绍了循环计算程序。第八章主要是作者多年来从事电机优化设计科学研究积累的一些经验总结与成果介绍。包括电机优化设计中一些常用方法的各种改进，混合赏罚函数法的分析与应用，混合离散规划问题的特点，各种优化方法的全面比较及系列产品优化设计的特点等。还通过各种高效电机优化设计实例阐明如何灵活运用优化原理编制出适应各种实际优化要求的程序。最后对优化设计目前存在的问题及发展

方向作了展望, 这些对实际从事优化设计的工程技术人员会有一定帮助。第九章、第十章介绍了变压器与一些常用电器优化设计的特点, 也有实例。

通过以上介绍希望能使读者理论联系实际地对电机与电器优化设计问题有比较系统而全面的了解与掌握。多年的教学实践证明, 本书便于自学, 学完后一般都能独立编制出各种电机或电器的优化设计程序, 并由此取得一定成果。

优化设计发展很快, 各种优化方法日有更新, 不可能一一介绍。书中补充了一些较新的方法, 如拉格朗日乘子罚函数法、边界搜索法等。并且在附录中专门介绍了模糊数学与模糊规划的一些基本知识, 它是优化方法发展的一个重要方面, 依靠它可以把设计人员的经验 (多半是一些模糊信息) 转化为计算机能够接受的数学模型 (必须是确定信息), 从而使优化设计模型进一步完善化和“智能化”。对于其他一些新方法, 只要有了已经介绍的基本知识, 相信读者接受起来困难是不大的。对于线性规划问题, 因优化设计中用得不多, 本书不作介绍。

学习本书要掌握一些预备知识, 包括微分学 (偏导数与泰勒级数等)、初等集合论、初等线性代数 (矩阵与向量运算) 和计算机科学等, 它们在本书各章中作了必要的简短引述。书中程序实例全部采用 FORTRAN IV 语言编写, 用 ALGOL60 语言的有关程序可参考1979年所编讲义。

应该指出, 优化设计是一种重要的方法, 有不少优点。但毕竟只是一种计算方法, 不能代替设计本身在原理、结构、工艺、材料等方面改进带来的重大进展, 这就要本专业人员开展基础性科研。两者不可偏废。作为一个工程技术人员更重要的是通过优化设计更好地掌握设计规律与加深概念的理解, 才能收到较好的成效。另外, 优化设计只是最优化技术应用的一个方面, 其它方面也值得重视, 本书在优化设计方面只可算个入门。

最后对书中所用符号略加说明:

1. 向量或矩阵一律用大写黑体字母表示, 其中的元素则用

小写字母。如设计变量 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 表示有 n 个元素 $x_1 \sim x_n$ 的列向量, H 表示二阶偏导数矩阵 (海森阵) 等。

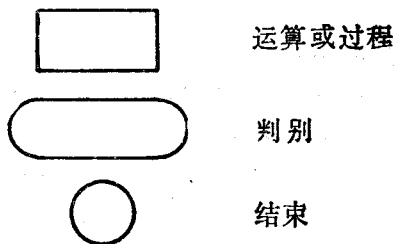
2. 一般向量的上标代表第几次迭代, 如 $\mathbf{X}^2$ 中的 2 表示第二次迭代后得到的向量, 而不表示“平方”。初始点用 $\mathbf{X}_0$ 表示, 最优点或极值点则用 $\mathbf{X}^*$ 表示。

3. 向量 $\mathbf{X}$ 的模 (范数) 用 $|\mathbf{X}|$ 表示。因为一个向量的范数可以有以下几种定义:

$$(1) \|\mathbf{X}\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}; \quad (2) \|\mathbf{X}\|_p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n x_i^p};$$

(3) $\|\mathbf{X}\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i|$ 。本书中用的一般是其中的第一种定义, 即常用的“向量的模”, 因此改用 $|\mathbf{X}|$ 代替 $\|\mathbf{X}\|$ 来表示向量的范数。

4. 程序框图中图形符号:



本书脱稿前, 承清华大学电机工程系蔡宣三教授仔细审阅, 提出不少宝贵意见, 并为第九、十两章供稿。书中介绍的一些电机优化科研成果不少是在清华大学电机工程系陈丕璋教授领导下取得的, 编写过程中还得到国家经委、全国科协、北京市经委、市科协及北京第三棉纺织厂等不少单位领导与同志的关心和支持。清华大学电机工程系沈美云同志为整理书稿作出不少努力, 在此一并致谢。

由于时间仓促及作者水平所限, 书中错误在所难免, 敬请批评指正。

1986年10月

目 录

前言

第一章 概论	1
§ 1-1 计算机计算的特点	1
§ 1-2 电机与电器计算机辅助优化设计的发展概况	3
第二章 优化设计的数学模型及基本概念	11
§ 2-1 概述	11
§ 2-2 电机与电器优化问题的数学模型	12
§ 2-3 最优化问题的分类	18
§ 2-4 无约束极值问题	21
§ 2-5 二次函数及其优化方法	27
§ 2-6 二次函数的正定性及其判别法	35
§ 2-7 凸函数与凸集概念	39
§ 2-8 小结	45
第三章 非线性规划及约束问题	47
§ 3-1 概述	47
§ 3-2 拉格朗日乘子法	49
§ 3-3 库恩—图克(Kuhn—Tucker)定理	53
§ 3-4 拉格朗日函数的鞍点与目标函数的极值点	59
§ 3-5 对偶问题	62
§ 3-6 小结	64
第四章 无约束非线性优化问题的直接搜索法	65
§ 4-1 概述	65
I. 一维寻优方法	65
§ 4-2 区间消去法——0.618 法与分数法	65
§ 4-3 插值法 (函数逼近法)	70
II. 多维优化方法	77
§ 4-4 坐标轮换法	77
§ 4-5 步长加速法 (虎克—杰夫法)	78

§ 4-6 鲍威尔法 (共轭方向法, 方向加速法).....	84
§ 4-7 单纯形 (加速)法.....	89
§ 4-8 随机搜索法	95
§ 4-9 小结.....	100
第五章 有约束非线性优化问题的求解方法	102
§ 5-1 概述.....	102
§ 5-2 SUMT 罚函数法	106
§ 5-3 SUMT 外点法	108
§ 5-4 SUMT 内点法	113
§ 5-5 SUMT 混合罚函数法	116
§ 5-6 SWIFT 法	117
§ 5-7 增广拉格朗日乘子罚函数法.....	118
§ 5-8 SAMT法.....	134
§ 5-9 复形法.....	136
§ 5-10 可变容差法	140
§ 5-11 网格法	143
§ 5-12 边界搜索法	143
第六章 以梯度法为基础的无约束非线性优化问题的数值 解法	150
§ 6-1 最速下降法.....	150
§ 6-2 共轭梯度法.....	152
§ 6-3 牛顿法与拟牛顿法.....	155
§ 6-4 变尺度法.....	158
§ 6-5 四种方法的比较.....	163
第七章 三相异步电机计算机辅助设计程序的特点	168
I. 三相异步电动机设计的分析计算程序	168
§ 7-1 电机设计的一般步骤.....	168
§ 7-2 计算机辅助设计电机的一般过程.....	171
§ 7-3 三相异步电动机电磁设计的框图.....	174
§ 7-4 程序结构的选择.....	174
§ 7-5 编制程序的各种限制.....	176
§ 7-6 用 FORTRAN 语言编写源程序的注意事项	176

X

§ 7-7 标识符的命名原则	179
§ 7-8 输入数据的分组原则	181
§ 7-9 程序中计算次序的安排	184
§ 7-10 曲线、图表的处理	185
§ 7-11 插值概念和拉格朗日插值公式	191
§ 7-12 曲线族的插值问题	200
§ 7-13 防止死循环问题	201
§ 7-14 输出结果的安排	204
I. 开槽计算程序	205
§ 7-15 概述	205
§ 7-16 开槽计算公式	205
§ 7-17 怎样选绕组线规	212
§ 7-18 有开槽计算时的框图与数组	218
§ 7-19 反复计算中的死循环问题	219
II. 循环计算程序	222
§ 7-20 概述	222
§ 7-21 循环计算时用的变量标识符及数组	222
§ 7-22 循环计算时的程序结构	222
§ 7-23 循环计算的应用	226
第八章 电机优化设计的特点	228
§ 8-1 电机优化设计中常用的SUMT法——混合赏罚函数法	228
§ 8-2 改进的虎克—杰夫法与随机法	234
§ 8-3 混合离散规划问题的特点	240
§ 8-4 电机优化设计中各种优化方法的比较	246
§ 8-5 高效率电动机的优化设计	251
§ 8-6 系列电机优化设计的特点	261
§ 8-7 电机采用硬绕组时优化设计的特点	265
§ 8-8 电机优化设计中的几个问题	266
第九章 变压器的优化设计	271
§ 9-1 概述	271
§ 9-2 单相干式变压器优化设计模型	273
§ 9-3 三相电力变压器的优化设计模型	276

第十章 电器的优化设计	281
§ 10-1 电磁铁的优化设计模型	281
§ 10-2 自动开关灭弧室参数的优化设计	288
§ 10-3 三相磁放大器（整流输出）的优化设计	291
附录 有关模糊数学与模糊规划的一些基本知识	299
参考资料	320

第一章 概 论

§ 1-1 计算机计算的特点

自1946年出现第一台用电子管的电子数字计算机问世，至今近 40 年来，计算机已经历了晶体管、集成电路这两代，发展到第四代大规模集成电路，现在正向超大规模集成电路（1 百万个元件/块）发展，第五代具有人工智能的计算机也正问世。其用途日益广泛。微型机的出现更为计算机的普及应用奠定了基础。但计算机的动作原理，最根本的却只是利用电子元件的两种状态：开与关，用数字表示为“1”与“0”。那么计算机为什么有这么神奇的功能呢？搞清这个问题可以加深对计算机本质的了解，对于合理使用计算机解决工程问题有一定帮助。

分析人们日常的思维有几个基本特点：

一是随时都在大量地判断“是”、“不是”——作逻辑判断，如走路、判题等。它正好是二进制的两种状态“0”和“1”，而且二进制还可作逻辑运算。

二是作数学运算，其中最根本的算术运算（+，-，×，÷）。这在采用二进制后也变成只有二个状态“0”和“1”的问题。因为在二进制中逢二进一，只有两个数0与1，它们经过+、-、×、÷运算后得到的还是0与1的组合。只是多了一个移位问题。如

0	0	1	1	0	0	1	1
+ 0	+ 1	+ 0	+ 1	× 0	× 1	× 0	× 1
0	1	1	10	0	0	0	1

（1 向左移位）

这样，在计算机中用加法器与移位器这两种器件就可完成这些任务。至于说到函数计算，如SIN（X）等，则是利用“数值

解法”按一个级数直接作近似计算得出（本来一些函数表也是这样运算后列出的）：

$$\sin(x) = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

三是能记忆，早在电报中，人们已利用一长一短两种电讯号的不同组合，通过电码来表示文字。现在计算机中则用ASCⅡ代码等。在计算机的磁芯存储器中要储存“0”与“1”两种状态的讯号很容易实现，查找出来也很方便。

所以总起来讲，计算机之所以能代替人的部分思维，关键在“二进制”与“是”“不是”。人们只是巧妙地把它们组合起来完成各种事情。

但和人不同的是计算机做这些事，什么都从最原始的做起，如一个字要化成一串代码，二进制数字一长串，算起来也慢，用级数来算一个函数值而不是一查表就有等等。但是电子元件的另一个重要特点是“快”，一秒钟可以动作上万甚至上亿次。总的来说，电子计算机解题要比人快得多。

掌握了这个根本特点就能知道：

（1）计算机只能代替人去做事，至于怎么做，一步步还得要人预先编好程序。让计算机按指定的去做，计算机本身不能创造什么思维。即使发展到现在，第五代计算机有“人工智能”的应用，也还是靠人事先作好安排[⊖]。应强调指出，计算机执行起来相当快，但要编排这个过程的程序却要花费相当多的时间。

（2）因为计算机计算速度快，所以算题时不怕步骤多、算法繁，关键在于计算步骤必须具有一定规律性，比如说矩阵、级数、数值积分等运算就特别合适，但这往往需要找出人们解决问

⊖ 计算机“人工智能”的研究分两种，第一种是用计算机的神经元模型模拟人脑结构，尚未取得实用结果。第二种是模拟人的思维过程，从模拟人处理问题的方法入手，编出程序。这方面成果多，如下棋、证题等，或是用工程技术方法解决人的部分智能，只求对某一具体问题的解答，也取得一些进展，如模式识别——辨别声、味及翻译文章等。

题的最原始思路。

实际上在各种算法语言中最基本的语句只有三种：

(1) 赋值语句 又称计算语句，能作 $+$ 、 $-$ 、 $\times$ 、 $\div$ 等数学运算。

(2) 条件语句 主要通过逻辑关系判断假设条件是否满足，以决定下一步怎么办？ALGOL语言中有IF...THEN...ELSE形式，而且还可“串”连下去，即ELSE后可再接IF...THEN...ELSE...。这样灵活性极大，FORTRAN语言中只有IF...THEN...形式，且不能“串”连下去，这样程序写出来就较长。

(3) 循环语句 实际上只是(1)与(2)的组合，因用得最多，单成一种语句。它可以作多次重复的有规律计算或判断，可以说是计算机特长的具体体现。一个极其繁复的计算过程用循环语句写出来只有短短几行，用人工计算却往往要付出数小时甚至毕生精力。

至于说到其它语句，其实都只是它们的巧妙而又复杂的组合而已。

例如，电机设计中根据初步算出的线径查找标准线规时，人查线规表一眼就可找到相近的那个标准线规。如让计算机去完成，必须按照人查表的原始思路，用循环语句及条件语句编出程序：总是要拿算出的线径在线规表中从最细一号开始，由小到大逐个加以比较，直到找到与它最接近的那号线规时才算数。它虽不能象人查表时“跳跃式”地（无规律可循）尽快接近所找线规，但计算机实际花的时间却比人要少得多。

综上所述，对于有一定规律的、重复的、繁重的计算问题，使用计算机是最合适的。下面可以看到，电机与电器设计计算正好具有这个特点。

§ 1-2 电机与电器计算机辅助优化设计的发展概况

世界各国开展电机电器的计算机辅助设计已有三十余年历史。五十年代初先是用模拟计算机作异步电机性能计算（等值电

路法)及温升计算(等值热路图法)。1953年起美国维诺特(Veinott C.G.)等就已开始用数字计算机辅助异步电机设计。但在这方面最早的一篇文献〔1-1〕却是1954年由Saunders R.M.发表的。1956年前,计算机辅助设计在变压器设计中应用较多,后来才扩展到旋转电机设计中。国外从六十年代开始,进入普遍使用阶段,并发展成为一门专门学科,称为“计算机辅助电机设计〔CAD(Computer Aided-Design)of Electric Machinery〕”。1972年Veinott以此为名写了一本书,曾作为美国麻省理工学院(MIT)的教材〔1-2〕。书中系统地综述了这个专题,主要针对作者研究的小型电机。

应用计算机辅助电机设计后,不但设计速度加快了,而且设计质量大为提高,产品的技术经济指标也有明显改进,因此发展很快,在设计工作中起的作用也日益重要。六十年代初期,优化设计开始发展,例如1968年苏联设计同步发电机时,以最小重量为目标,通过计算机设计,在其它条件相同下,使重量比经验设计的约减轻了10~15%。

七十年代前后,随着优化算法研究工作的发展,用计算机辅助电机与电器优化设计进入了新阶段。例如联邦德国对中型直流电机进行优化设计后,使其利用指标提高了21%。

随着计算机计算速度的提高与硬、软件的不断完善,目前它在电机与电器设计中的应用已超出优化设计的范围,进而可以提供全部产品图纸,储存大量设计数据,并作各种统计。用户使用时也可以通过分时系统在终端上直接进行操作和修改,十分方便,展现出更为广阔的发展前景。

总的来说,计算机辅助电机设计的发展过程大致可分为三个阶段:

一、分析计算 (Analysis Program)

开始人们只是用计算机代替算尺进行高速计算。在给定设计尺寸后,逐项进行性能校核计算,这称为分析计算。实际上只是对设计进行核算,因此习惯上称之为“校核计算”。

二、综合设计 (Synthesis Program)

随着计算机的发展,相继出现一些自动设计程序,能让计算机对计算结果自动作出判断是否满足了人们预先规定的要求,然后自动按要求进行调整,重复计算,直到满意为止。这种把性能要求输入,而以符合要求的设计参数为最后结果输出的程序称为“综合设计程序”。因为它能综合考虑各种要求作出设计,它的发展也是由简而繁的。

最简单的是所编程序能根据给定的电密、磁密 $\ominus$ 自动开出定、转子槽形,再自动选出绕组用的线规等。这在习惯上称为“开槽计算”。

也有的程序可按规定的某项性能指标对设计方案自动作出调整,直到满足要求为止。但不能对各项指标作全面调整。

后来又编制出能对一些自变量,如 D_{11} 、 L 、 Z 、电密、磁密等,按规定步长进行多重循环计算的程序。习惯上这称为“循环计算”。它可以很快算出一大批方案,经比较后,选出较优方案。还能更全面地了解各个自变量对设计的影响大小,从中研究一些设计规律。显然,这么大的计算工作量用人工计算是难以做到的,因此它选出的方案就会比经验设计的结果更好。1954年Saunders提出这种程序。苏联 A_2 、 AO_2 小型异步电动机系列所用的程序也属这类。实质上这是一种“穷举法”,因此在变量较多,变化范围又较大时,计算工作量就很大。另外,整理这些方案所花的时间更为可观。因此还需改进。

三、优化设计 (Optimization Program)

让计算机直接找出最优设计方案,而且中间计算的比较方案个数尽可能少,称为“优化设计”。它较好地发挥了计算机计算、判断及存储能力。

六十年代初期,国外开始出现应用古典极值理论进行电机优化设计的程序,如1959年Godwin G. L. 提出的笼型异步电动机的优化程序^[1-2],1961年Anderson O. W. 提出的用梯度法对同

$\ominus$ 电密——电流密度的简称,磁密——磁通密度的简称,以下均同,

步电机进行优化的程序等。但正式采用数学规划方法对电机与电器进行优化设计则始于1966年的Schinzinger R. [1-3]与1967年的Duffin R. J. Peterson E. L. 及Zener C. [1-4]。Duffin等人建立了变压器优化设计的几何规划模型。在这个模型中,所有的函数(目标函数及约束函数)都应是广义的正项多项式(generalized positive polynomial简称(posynomial) Θ),但实际上变压器优化设计模型并不完全满足这个条件。因此要附加一些约束作特殊处理。Schinzinger首先给出了单相小容量变压器的优化设计模型,用包括几何规划在内的多种方法进行优化计算。1967年挪威的Anderson O. W.发表了用蒙特卡罗(Monte-Carlo简称Monica)随机搜索法进行三相电力变压器与大型发电机的优化设计[1-5],该程序于1965年9月已投入使用。1971年印度的Ramarathnam R.等人用SUMT法(Fiacco A. V.与Mc. Cormic G. P. 1969年提出)[1-6]进行了异步电机的优化计算[1-7],他们在1973年发表了用各种优化方法作异步电机优化设计的结果比较[1-8]。1975年起Menzies R. W.与Neal G. W.提出用最小 P 次幂法[1-9]为基础的优化程序设计大型异步电机[1-10]。SUMT法和最小 P 次幂法都用增广目标函数将约束优化问题转化为无约束优化问题,并采用直接法进行优化搜索。

1968年起Appelbaum J.和Erlicki M. S.曾提出用边界搜索法对异步电机与电磁装置进行优化设计[1-11]。1977年他们还就此法用于一条电器生产线的优化设计进行过讨论[1-12]。此法要求目标函数是一个正项多项式,实际使用时受到一定限制。

由于SUMT罚函数法还存在一些不足之处,后来又相继发展了各种改进方法,如1975年Sheela B. V.等提出的SWIFT法[1-13],适用于小规模优化问题;1968年Powell, Hestenes提出了增广拉格朗日乘子罚函数法(ALAPT法)[1-14][1-15],可变

Θ 形如 $f(X) = \frac{1}{2}x_2x_3 + 3x_1^{-1/2}x_2^{-3/4}x_3^{-1} + \frac{9}{2}x_2^{1/2}x_3^{-1}x_4^{-1/2}$ 的函数称为广义的正项多项式。