

电力系统 微机保护

张明君 弭洪涛 编著

冶金工业出版社

99

7-577-411
333

电力系统微机保护

张明君 弭洪涛 编著

北 京

冶金工业出版社

2002

内 容 提 要

本书共分六章。其主要内容包括电力系统微机保护系统的硬件组成和功能,微机保护系统中相关的离散信号、离散系统的基本概念,微机保护系统中数字滤波器的设计方法和软件实现流程,输入量分别为正弦函数、周期函数、随机函数的保护算法,继电保护功能算法,WXB-11 微机线路距离保护的硬件组成、软件流程、工作原理分析,变压器谐波制动和磁通制动原理的差动保护,变压器过励磁保护,微机保护与测控结合的综合自动化系统,微机保护系统中的抗干扰措施等。

本书可作为高等院校电气工程专业、电力系统继电保护等专业的教学用书,也可作为工程技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统微机保护/张明君,弭洪涛编著. —北京:
冶金工业出版社, 2002. 3
ISBN 7-5024-2948-4

I. 电… II. ①张…②弭… III. 计算机应用-电
力系统-继电保护 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 000013 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 俞跃春 美术编辑 王耀忠 责任校对 符燕蓉 责任印制 李玉山
利森达印务有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2002 年 3 月第 1 版, 2002 年 3 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 7.5 印张; 198 千字; 231 页; 1-3000 册

16.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本书是为了适应电力系统微机保护技术发展的需要，使从事电力系统继电保护工作的技术人员及高校相关专业学生能够比较全面地了解和掌握微机保护技术而编写的。

本书对电力系统微机保护的硬件组成和软件算法、抗干扰措施等方面作了比较全面系统的介绍，使读者对微机保护系统组成结构、工作原理和设计方法能有一个系统的认识。在编写中，力求内容系统性与先进性统一，强调基本概念和基本工作原理的阐述，注重理论讲解和实例分析的结合。各章后都附有小结和习题。希望读者通过本书的学习，能对电力系统微机保护知识有比较全面的掌握。

全书共分六章。绪论及第二、三、四章及附录由张明君编写，第一、五、六章由弭洪涛编写。

由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2002 年 2 月

目 录

绪论	(1)
第一章 微机保护的硬件系统	(6)
第一节 比较式数据采集系统	(7)
第二节 压频转换式数据采集系统	(24)
第三节 数据采集系统与微机的接口方式	(34)
第四节 开关量输入/输出回路	(42)
小结	(45)
习题	(45)
第二章 数字信号处理	(46)
第一节 数字信号和离散系统的基本概念	(47)
第二节 数字滤波器的主要性能指标和分类	(56)
第三节 简单滤波器及级联滤波器	(60)
第四节 用零、极点配置法设计数字滤波器	(72)
第五节 滤波器运算结构形式的选择	(78)
小结	(80)
习题	(81)
第三章 微机保护的算法	(82)
第一节 输入量为正弦函数的算法	(83)
第二节 输入量为周期函数的算法	(94)
第三节 输入量为随机函数的算法	(105)
第四节 解微分方程法求阻抗	(109)
第五节 保护功能算法	(115)
小结	(122)
习题	(123)
第四章 典型微机保护举例	(125)

第一节 微机距离保护..... (125)

第二节 微机变压器保护..... (152)

小结..... (175)

习题..... (176)

第五章 提高微机保护系统可靠性的措施..... (178)

第一节 干扰及其抑制..... (178)

第二节 故障的自动检测..... (192)

第三节 多重化与容错技术..... (198)

小结..... (202)

习题..... (202)

第六章 电力系统微机保护与控制综合自动化系统..... (203)

第一节 综合自动化系统的结构和功能..... (203)

第二节 综合自动化系统的通信..... (209)

第三节 RCS-9000 变电站综合自动化系统 (210)

小结..... (224)

附录..... (225)

参考文献..... (231)

绪 论

随着电子技术和计算机技术的发展，电力系统的继电保护也突破了传统的继电器保护形式，出现了以微处理器为核心的电力系统继电保护形式。我们把以微处理器为核心组成的电力系统继电保护称为电力系统微机保护。

一、电力系统微机保护的应用和发展概况

早在 20 世纪 60 年代后期，就有人提出了利用计算机构成电力系统继电保护的设想，但是，由于当时计算机的质量和可靠性还不能满足要求，且其价格昂贵，因此，这一设想未能付诸实施。

70 年代初，数字计算机首先在电力系统离线计算方面得到应用。此后，在电力系统微机保护方面的理论探索也有了进展，特别是保护算法、数字滤波等方面的研究发展尤为迅速，有大量相关论文在此时期发表。

70 年代中期，大规模集成电路和数字技术的飞速发展，特别是价格便宜的微处理器的出现，给微机在电力系统继电保护上的发展应用提供了有利条件，从而引起了广大继电保护工作者的兴趣和关注，促使微机保护的研究出现了热潮。

1975 年初，英国 GEC 公司应用微处理机于变电所的控制和自动重合闸上的情况已有报道。1979 年，美国电气和电子工程师学会（IEEE）的教育委员会组织了第一次世界性的计算机保护研究班。之后，世界各大继电器制造商都先后推出了各种商业性微机保护装置，微机保护逐渐趋于实用。在电力系统微机保护技术方面，日本、美国、英国、德国发展最快。从 70 年代后期开始，各国都在此方面继续作了很多努力，使电力系统微机保护技术逐渐成熟起来。

80年代初，我国在微机保护方面开始起步。1984年初，华北电力学院杨奇逊教授研制的第一套微机型线路保护样机试运行后通过鉴定。1984年底，在华中工学院召开了我国第一次计算机继电保护学术会议，标志着我国微机保护工作进入了重要的发展阶段，后来又有更多的高校和科研机构作了许多探索。目前，微机保护技术已趋于成熟，各种类型的微机保护装置已在全国各大电力网络中投入运行。

二、电力系统微机保护装置的特点

电力系统微机保护装置之所以能被推广和应用，是因为它具有传统继电保护无法比拟的优越性。

（一）性能优

微机具有高速运算、逻辑判断和记忆能力，微机保护是通过软件程序实现的，因而微机保护可以实现很复杂的保护功能，也可以实现许多传统保护模式无法实现的新功能。许多传统保护模式存在的技术问题，在微机保护中找到了解决办法。例如，距离保护的阻抗继电器动作特性的复杂形状现实，距离保护中系统振荡和短路的区别，变压器差动保护中励磁涌流和内部故障的鉴别等问题，都有了新的解决方法。

微机保护还具有故障参数追忆、故障测距等功能，可以自动打印记录故障前后各电气参数的数值、波形以及各种保护的动作情况等，供故障分析用。

此外，微机保护的软件不受电源电压波动、周围环境温度变化及元件老化的影响，故微机保护的性能比较稳定。

显然，微机保护的性能优于传统保护。

（二）可靠性高

微机保护具有自诊断能力，能不断地对装置各部位进行自动检测，可以准确地发现装置故障部位，及时报警，以利处理。

在抗干扰方面，微机保护除在硬件上采取电磁屏蔽、光电隔离、加退耦电容等一系列抗干扰措施外，还采取数据有效性分析、

多次重复计算、自动校核等软件措施，使微机保护能自动纠错，即能自动地识别干扰和排除干扰，防止干扰引起微机保护误动作。此外，装置还采用多重化措施，进一步提高保护的可靠性。

可靠性是继电保护的生命。微机保护采用了许多传统保护无法实现的抗干扰措施，有效地防止了保护的误动和拒动。目前，微机保护的平均无故障时间长达十万小时以上，说明微机保护是十分可靠的。

（三）灵活性强

各种类型的微机保护所使用的硬件和外围设备可通用，不同原理、特性和功能的微机保护主要取决于软件。

微机保护功能通过软件来实现，使其具有极大的灵活性。通常，可以在一套软件程序中设置不同的保护方案，用户根据需要来选择，也可以根据系统实际运行条件或故障情况随机变化，使保护具有自适应能力。例如，当运行方式改变需要改变保护整定值时，只需在存储器中预置几套保护整定值，临时在装置面板上用小开关进行切换即可。当系统发展需要改变保护原理或性能时，则只需将其程序加以修改，置换相应的预编程序的存储器芯片或改写 EPROM 中的程序即可。

微机保护的灵活性是传统保护不可比拟的。

（四）调试维护工作量小

传统的继电保护装置，如机电型、整流型、晶体管型继电保护装置，调试工作量都很大，尤其是一些复杂保护，例如调试一套高压输电线路保护装置，常需要三周或更长时间。而微机保护几乎不用调试。微机保护装置是由硬件和软件程序两大部分组成，若硬件完好，对于已成熟的软件，只要程序和设计一样，就会达到设计要求。因此，微机保护用不着像传统保护那样，逐台做各种模拟试验来检验保护装置每一种功能是否正确。再者，微机保护具有自诊断能力，能对硬件和软件进行自检，一旦发现异常就会发出报警。通常，只要加电后没有警报信号，就可确认装置完好，因而调试维护工作量很小。

（五）经济性好

经济性包括装置的投资费用和运行维护费用。随着大规模集成电路技术的发展和微机的广泛应用,微机硬件价格不断下降,而传统的继电器价格在同期内却一直上升。目前,我国的微机保护装置价格已和传统保护价格持平或更低,在性能价格比方面更具优势。可以预期,这种发展趋势将会继续下去。

此外,微机是一个可编程的智能装置,可实现多种功能,微机保护的多功能化也提高了其经济性。至于运行维护费用,由于微机保护装置的功耗较传统保护装置功耗小,其运行费用较低。同时,微机保护具有自诊断功能,能及时发现装置故障,使维护工作量大为减少,改变保护整定值和调试的方便则可缩短停电时间和节省人力,其经济效益也是可观的。

综上所述,微机保护的经济性优于传统保护,特别是从发展的观点来看更是如此。

（六）多功能化和综合应用

微机保护很容易实现保护以外的其他功能。例如,微机保护可以对故障时发生的全部暂态现象进行故障录波和记录,借助几个微机保护装置之间故障后暂态数据的交换,可对事故进行周详分析。微机保护还可根据需要,随机打印出当前各电气量数值,省去了人工记录。

微机保护可以扩大数据应用范围,如利用变电所的远动装置,为中心调度所提供功率潮流等运行数据,也可以进一步将保护、控制和监视等功能统一设计、协调配合,实现电力系统监视、控制、保护的综合自动化,进一步实现电力系统计算机网络控制管理。

微机保护已成为当代继电保护的更新换代产品,展示了其广阔的发展前景。

三、电力系统微机保护的基本组成

电力系统微机保护由软件和硬件两个部分组成。

软件是指微机执行的程序。它用来实现各种输入量的实时采

集、运算处理和逻辑判断功能，控制各硬件电路的有序工作，发出各种保护出口命令。

微机保护的硬件系统主要由 CPU（微处理器）主机系统、模拟量数据采集系统和开关量输入/输出系统三部分组成。CPU 主机系统是保护装置的控制中心，它的作用是由微处理器执行存放在 EPROM（程序存储器）中的程序，对由数据采集系统输入至 RAM 区（数据存储器）中的原始数据进行分析 and 运算处理，以完成各种保护功能。

模拟量数据采集系统的作用是将电力系统中取到的电压、电流等模拟量转换成数字量，送入 RAM 区中，供 CPU 主机系统读取运算。

开关量输入/输出系统的作用是完成各种保护的出口跳闸、信号警报、外部开关的输入及人机对话等功能。

第一章 微机保护的硬件系统

微机继电保护的硬件一般由数据采集系统、主机和开关量输入/输出系统三大部分组成，如图 1-1 所示。

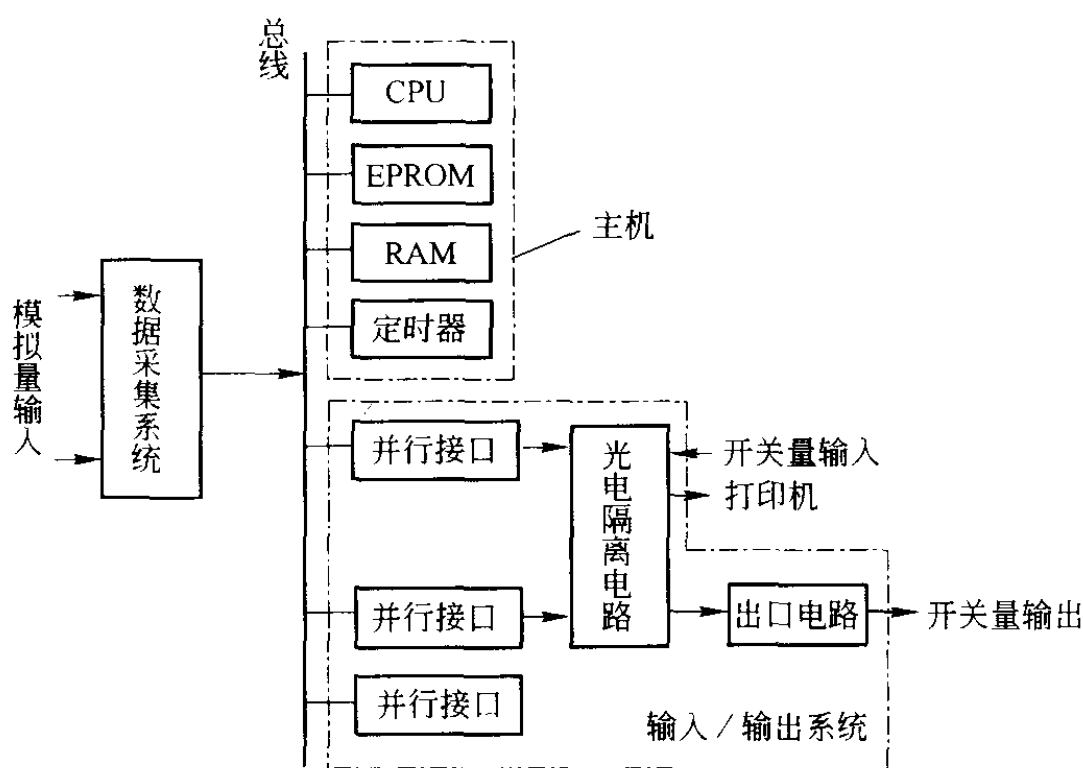


图 1-1 微机保护硬件系统框图

数据采集系统的作用是将输入至保护装置的电压、电流等模拟量准确地转换成所需的数字量。按其中的模数转换器类型可分为两类：一类是比较式数据采集系统，主要采用逐次逼近式模数转换器实现数据的转换；另一类是压频转换式数据采集系统，采用 V/F 变换器（VFC）实现数据的转换。

主机系统包括中央处理单元（CPU）、只读存储器（通常采用 EPROM）、随机存储器（RAM）及定时器等。系统工作时，CPU 执行存放在 EPROM 中的功能程序，同时对由数据采集系统输入

至 RAM 区的原始数据进行分析处理，从而实现各种继电保护功能。

开关量输入/输出系统由并行接口扩展芯片（8255 等）、光电隔离器件以及中间继电器等组成，其任务是完成各种保护的出口跳闸、信号报警、外部信号输入、信息输出和人机对话等功能。

第一节 比较式数据采集系统

通过比较式模数转换器实现数据采集的系统，称为比较式数据采集系统，如图 1-2 所示。它包括电压形成回路、前置模拟低通滤波器（ALF）、采样保持器（S/H）、多路转换开关（MPX）和模数转换器（A/D）等功能块。

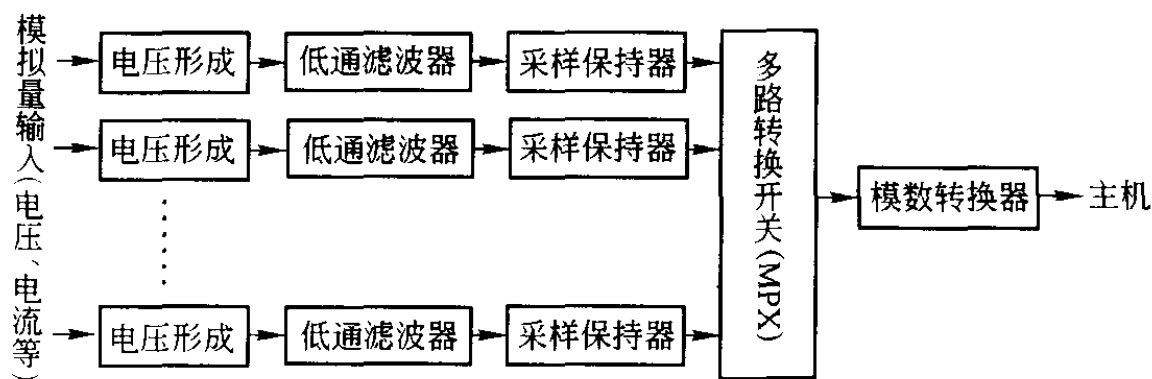


图 1-2 比较式数据采集系统组成框图

一、电压形成环节

微机保护系统的输入量通常是被保护对象的电流互感器（TA）和电压互感器（TV）的二次电流、电压等模拟量。由于模数转换器只能对一定范围内的输入电压进行转换，故必须对输入的电流、电压信号进行处理。电压形成环节的作用，就是将电流、电压信号变换成满足模数转换器量程要求的电压信号。电压形成环节除要求线性度好、波形不失真外，还要求起屏蔽和隔离作用，以免微机保护系统受二次回路暂态过电压及浪涌过电压的危害。

电压信号的变换通常由电压变换器 UV 来实现。电压变换器一

般由不带气隙的硅钢片叠装成铁心而成,它可将电压互感器二次电压转换成与之成比例的弱电压,一般为 $\pm 2.5\text{V}$ 、 $\pm 5\text{V}$ 和 $\pm 10\text{V}$ 。

电流信号的变换通常由电流变换器 UA 或电抗变换器 UX 实现。电流变换器一般也是由不带气隙的硅钢片叠装成铁心,其二次侧并联电阻。其工作原理是,将电流互感器的二次电流变换成与之成比例的弱电流,弱电流在二次侧电阻上的电压降落即为所需电压。电流变换器的优点是失真度小,如果设计得当,在最大短路电流时保证铁心不饱和,则其二次电流及并联电阻上的二次电压可基本保持和一次电流波形相同且同相。电流变换器的缺点是,在非周期分量作用下容易饱和,线性度较差,动态范围也较小。

电抗变换器 UX 一般由带气隙的硅钢片叠装成铁心。它可以将电流互感器的二次电流直接变换成与之成比例的弱电压。电抗变换器的优点是线性范围较大,铁心不易饱和,且有移相作用。其缺点是具有阻止直流分量和放大高频分量的作用,当一次侧流过非正弦电流时,二次电压波形将发生严重畸变。可见,在选择电流变换器时,应综合考虑电流变换器和电抗变换器的优缺点。一般来说,高压系统常采用电抗变换器,而低压系统由于谐波影响大、直流分量影响小,常采用电流变换器。

为了保证电压或电流变换的准确性,通常在设计电压变换器或电流变换器时,应考虑满足如下基本要求:

- (1) 铁心磁导率高。要求在发生短路故障时(短路电流可能达到正常工作电流的 $10\sim 20$ 倍),甚至对含有数量接近的非周期分量,电流变换器也不饱和。
- (2) 损耗小。要求原副边相角差尽可能小,基本不失真。
- (3) 各通道的电压变换器之间、电流变换器之间、以及电压变换器与电流变换器之间的原副方相位移要一致。

二、前置模拟低通滤波器

(一) 前置模拟低通滤波器的意义和作用

由奈奎斯特(Nyquist)采样定理可知:如果被采样信号为有

限带宽的连续信号,其所含的最高频率成分为 $f_{\max}$,若采样频率 f_s 不少于 $2f_{\max}$,则原来信号可以完全恢复而不会畸变;否则,将产生频率混叠。

电力系统故障时,故障初瞬的电压或电流里常含有高频分量,其频率往往高达 2kHz 以上。为防止频率混叠,微机保护系统的采样频率 f_s 必须高达 4kHz 以上,这样对微机的中央处理单元(CPU)的速度提出了过高的要求。因为数据采集系统是以采样频率 f_s 不断向 CPU 输入数据,而 CPU 必须在两次采样的间隔时间内,处理完对每一组采样值必须做的各种操作和运算,故 f_s 越高,要求 CPU 的速度越高。如果在故障电压或电流等模拟量进入采样保持器之前,用一个模拟低通滤波器(ALF)将高频分量滤掉,仅让 $\frac{1}{2}f_s$ 以下的频率分量通过,就可降低采样频率 f_s 值,从而降低对微机系统硬件过高的要求。

模拟低通滤波器的理想传递特性如图 1-3 所示。低于截止频率 f_c 的各种频率分量通过滤波器时不受阻尼,而高于截止频率 f_c 的分量则被衰减至零。

采用模拟低通滤波器后, $\frac{1}{2}f_s$ 以上的频率分量由模拟低通滤

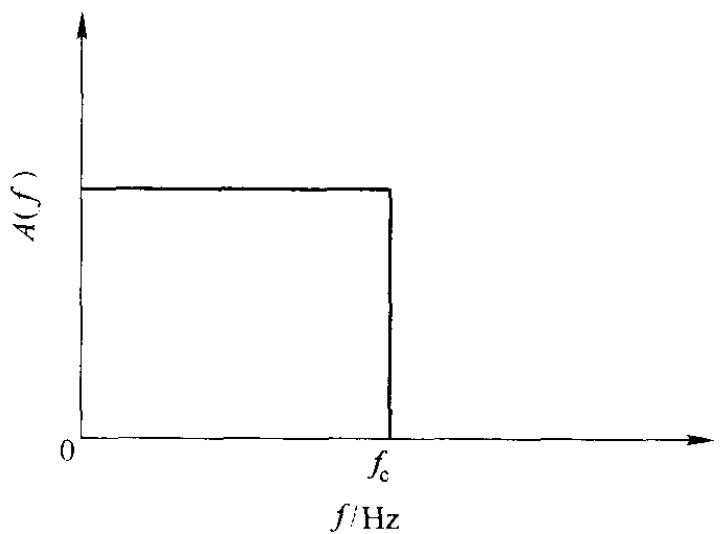


图 1-3 模拟低通滤波器的理想传递特性

波器滤掉,从而避免了频率混叠,而低于 $\frac{1}{2}f_s$ 的其他暂态频率分量可通过数字滤波来消除(见第二章)。

值得说明的是,由于电压互感器和电流互感器对高频分量已有相当大的抑制作用,因此往往不要求模拟低通滤波器具有理想的衰减特性,否则高阶的模拟低通滤波器将带来过长的过渡过程,

影响保护系统的快速动作。

(二) 无源滤波器的结构及特点

微机保护中采用的无源滤波器通常如图 1-4 所示。

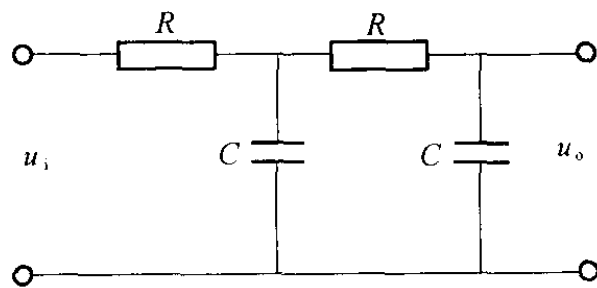


图 1-4 二阶无源低通滤波器

在图 1-4 中, 设 $R=3\text{k}\Omega$, $C=0.47\mu\text{F}$, 则其幅频特性曲线如图 1-5 中曲线 1 所示。

可见, 这种滤波器的频率特性是单调衰减的, 因此它可用于反应基波量的保护上, 但对于反应谐波量的保护, 这种

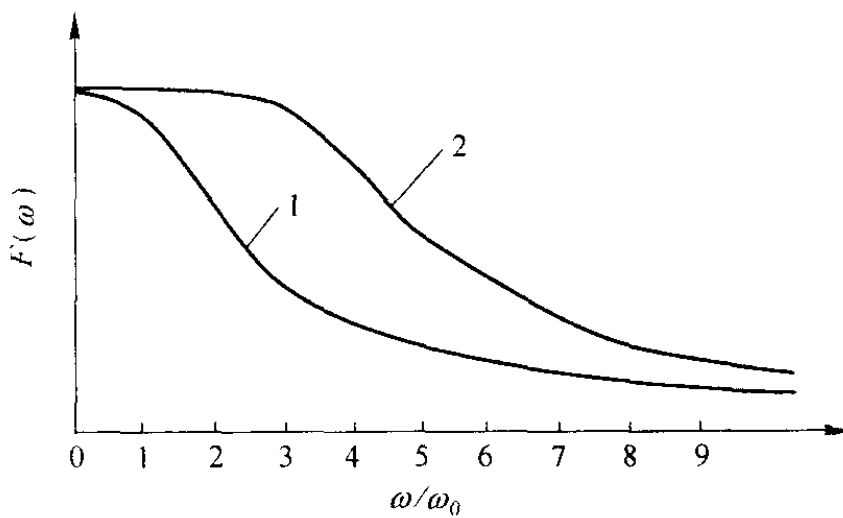


图 1-5 两种滤波器的幅频特性

RC 滤波器对本来在数值上就小于基波量的那些谐波分量衰减过大, 将对保护性能产生不良影响。但是, 由于这种 RC 滤波器具有结构简单、可靠性高、能耐受较大的过载和浪涌冲击等优点, 因此也得到了广泛的应用。

(三) 有源滤波器的结构及特点

有源滤波器是指由 RC 与运算放大器构成的滤波电路。通过在 RC 网络中引入有源器件, 就能实现传递函数在 S 域左半平面上出现共轭极点, 得到良好的滤波特性。

在微机保护中，通常采用二阶或三阶有源低通滤波电路。图 1-6 为一种二阶有源滤波器，这种电路也称为单端正反馈低通滤波器。

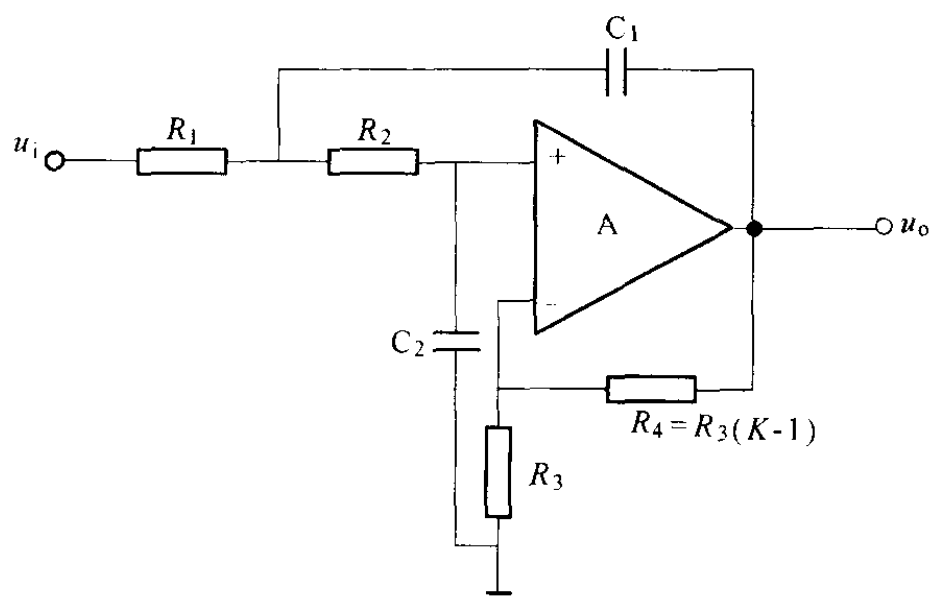


图 1-6 二阶有源低通滤波器

电路中各参数为： $C_1=0.33\mu\text{F}$ ， $R_1=2.27\text{k}\Omega$ ， $R_2=4.55\text{k}\Omega$ ， $R_3=R_4=13.64\text{k}\Omega$ ，截止频率 $f_0=150\text{Hz}$ ，增益系数 $H_0=2$ ，品质因数 $Q=0.706$ ，则幅频特性如图 1-5 中曲线 2 所示。可以看出，这种滤波器的特性更接近于理想特性，此外，这种滤波器还具有结构简单、所用 RC 元件少，当运算放大器频率特性偏离滤波器频率特性时不易引起振荡等优点。

这种滤波器的缺点是，元件参数变化时对滤波器的影响较大，因此它适用于 Q 值要求较低の場合。

三、采样保持器

(一) 采样保持器的作用

输入到微机保护系统的电压、电流等模拟量信号经过电压形成环节变换成所要求的电压值后，再经模拟低通滤波器 (ALF) 进入采样保持器 (S/H)。所谓采样，就是 CPU 每隔一个固定的时间间隔 T_s 读一次数据。 T_s 称为采样周期。采样周期 T_s 的倒数称为