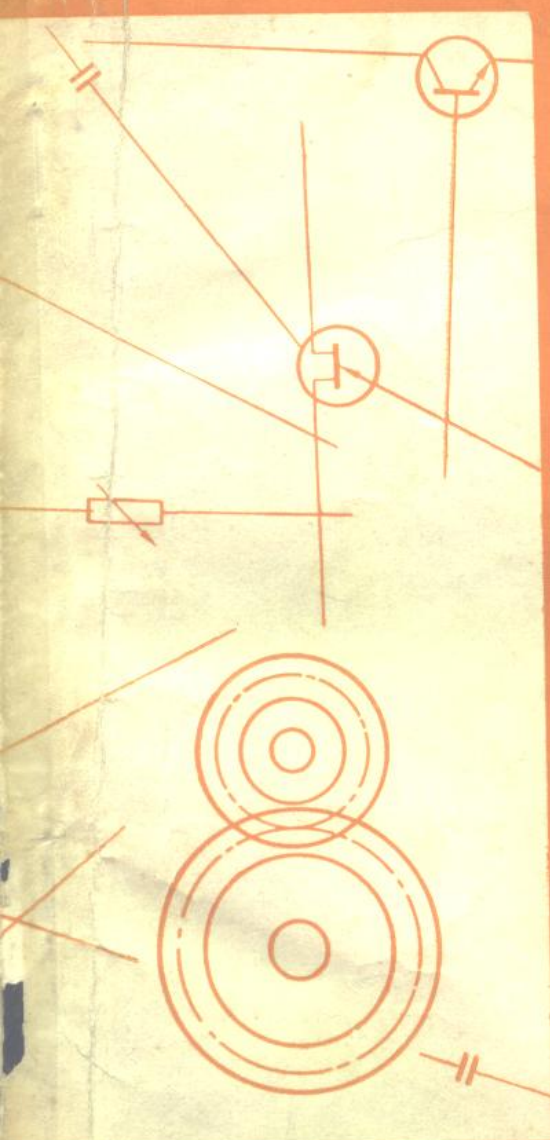


仪表元件丛书



数据采集系统中的放大器

仪表元件丛书

数据采集系统中的放大器

阎秀兰 袁蓓蓓 郎文鹏 编著

机械工业出版社

本书扼要地阐述了放大器的基础知识，较系统地介绍和分析了数据采集系统中放大器的特点、原理、指标和测试方法。以SF-72型数据放大器为例进行了理论分析，并对数据采集系统中的集成电路放大器进行了讨论，还具体分析了数据放大器和各种现场信号源、多路采样器及模-数转换器相配的若干实际问题。最后还介绍了数据采集系统中放大器的选型及国外产品实例。本书可供从事仪器仪表及自动化的工程技术人员和工人阅读，亦可供有关院校师生参考。

仪表元件丛书

数据采集系统中的放大器

阎秀兰 袁蓓蓓 郎文鹏 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可登记证字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $12 \frac{7}{8}$ ·插页1·字数284千字

1982年6月重庆第一版·1982年6月重庆第一次印刷

印数 0,001—4,600·定价1.35元

*

科技新书目：24—92

统一书号：15033·5242

出版者的话

仪器仪表是实现四个现代化必不可少的技术装备，而仪器仪表元件（简称仪表元件）是仪器仪表中具有独立功能的最基本的单元，它是仪器仪表的基础，能完成信号的检测、传递、转换、放大、贮存、运算、控制和显示等功能。仪表元件的品种和质量直接影响着仪器仪表的性能。

目前，仪器仪表已广泛应用于国民经济各部门。为了适应仪器仪表工业发展的需要，进一步做好仪表元件基础知识的普及工作，在国家仪器仪表工业总局的直接关怀下，我们编辑出版了这套《仪表元件丛书》。

本丛书预定为十一分册，分别为《热敏电阻器》、《集成电路在仪器仪表中的应用》、《半导体光电器件》、《宝石支承》、《仪表齿轮》、《金刚石压头》、《数据采集系统中的放大器》、《磁电转换元件》、《自动平衡仪表放大器》、《自动平衡仪表电机》、《集成运算放大器》等，将陆续出版。

本丛书以介绍各类仪表元件的结构原理、特性、设计计算为主，对制造工艺、性能测试和应用知识也作了简单的阐述。在写法上，力求通俗易懂，深入浅出。从基本概念出发，对仪表元件的有关问题进行论述。

值此《仪表元件丛书》出版之际，我们向为丛书的编写做了大量组织、指导工作的沈阳仪器仪表工艺研究所的领导及从事具体工作的王崇光、董世章等同志表示深切的谢意，并向大力支持丛书编写的各有关单位领导及编者，表示衷心的感谢。

目 录

出版者的话

第一章 概论	1
第一节 放大器在采集系统中的作用	2
一、数据采集装置	2
二、数据采集系统中所用的放大器	4
第二节 数据采集系统中放大器的技术指标	6
一、数据放大器的静态特性指标	7
二、数据放大器的动态特性指标	17
第三节 数据采集系统中放大器的分类	21
一、数据采集系统中放大器的分类方法	21
二、数据采集系统中放大器的分类	23
第二章 基础知识	38
第一节 放大器的抗干扰特性	38
一、串模干扰及其抑制法	39
二、共模干扰及其抑制法	45
第二节 放大器的低漂移特性	55
一、放大器的零点漂移	55
二、调制式直流放大器的低漂移性能	59
三、自动稳零双通道式放大器	64
第三节 放大器中的反馈	67
一、反馈的概念	67
二、负反馈形式	69
三、增益的稳定度与静态精度	82
四、负反馈对放大器其他性能的影响	87
第四节 放大器的频率特性及其稳定性	91
一、放大倍数的复数表示法	91
二、典型网络的幅频与相频特性	93

三、放大器的幅频与相频特性	110
四、负反馈放大器的稳定条件和相位补偿技术	118
第三章 SF-72 型数据放大器	129
第一节 SF-72 型数据放大器概述	129
第二节 SF-72 型数据放大器的线路分析	130
一、电位放大器	130
二、隔离器	146
三、传递放大器	153
四、电源	156
第三节 SF-72 型数据放大器的频率特性	156
一、电位放大器的电压增益 K_v	157
二、隔离器与滤波器的传递系数 K_f	166
三、传递放大器的电压增益 K_s	177
第四节 SF-72 型数据放大器的技术指标及其测试	179
一、技术指标	179
二、测试方法	180
第四章 数据采集系统中的集成电路放大器	196
第一节 混合组装差分直耦式放大器	196
一、源极跟随器	198
二、共源差分级	198
三、共源-共栅串接差分级	198
第二节 混合组装双通道自稳零式放大器	206
第三节 集成运算放大器对称组装(动态桥)式数据 放大器	210
第四节 射极反馈式数据放大器	216
第五节 动态校零式放大器	230
第六节 共模自举放大器	243
第五章 应用	248
第一节 放大器和现场信号的关系	250
一、信号源形式	250

二、放大器和信号源的连接	252
三、屏蔽线的不正确接法及误差分析	255
四、非隔离式抗共模干扰的放大器	264
五、信号源内阻的影响	267
六、放大器和其他测量仪表的联用	272
七、信号传输线的敷设	274
第二节 放大器和采样器的联配	276
一、采样驱动回路和信号回路间漏阻抗的影响	278
二、两线采样引起的共模误差	281
三、分组采样	283
四、采样开关开路的影响及过载恢复电路	285
五、采样信号间的相互影响(相邻点的交叉干扰)	289
六、直流增益和数据脉冲增益	292
七、数据脉冲基线积累现象	300
第三节 放大器和模-数转换器的联配	306
一、放大器和逐次比较式模-数转换器配试	306
二、放大器和其他模-数转换器的配试	323
第四节 放大器容性负载的影响	327
第五节 正确的接地、走线及抗电网干扰	331
一、正确的接地和走线	331
二、抗电网干扰	334
第六章 采集系统中放大器的选型及国外产品举例	336
第一节 放大器的选型	336
一、隔离式浮空放大器	336
二、非隔离式放大器和隔离式系统的联用	342
三、电容切换式放大器	343
四、每个信号源配用一只通道放大器	346
五、量程自动切换放大器	354
六、脉冲式数据放大器	370
七、采样保持放大器	371

第二节 国外产品举例	380
一、8300XWB 系列调幅式变压器隔离放大器	381
二、调宽式变压器隔离放大器系列	384
三、光耦合放大器	387
四、脉宽调制光耦合放大器	392
五、多路隔离式采样放大器	398
六、隔离式采样保持放大系统	400
参考文献	402

第一章 概 论

为了实现集中控制，必须首先采集必要的参数，收集必要的数据。数据采集系统就是在这种要求下发展起来的。它通过多路采样开关、放大器、模-数转换器等所构成的数据采集装置，把多路的模拟信号（快速变化的或缓慢变化的）集中采集起来，并转换成数字信号形式，再送入数据处理系统。图 1-1 所示的就是一般数据采集系统的示意图。

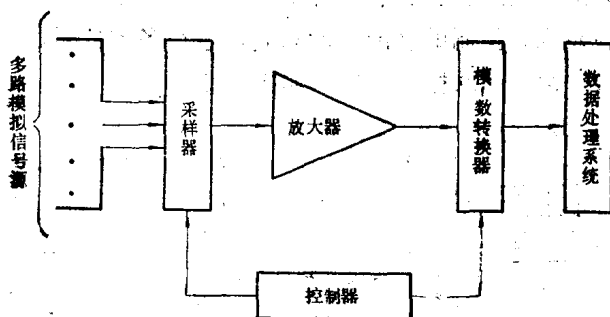


图1-1 数据采集系统示意图

图中的放大器是完成放大任务的电子装置。它将采集来的微弱信号增强到可以察觉和利用的程度，以达到对数据的检测或控制的目的。对于在数据采集系统中使用的放大器与一般场合使用的放大器有什么区别？数据采集系统对放大器有什么要求？在数据采集系统中使用的放大器有什么特点？放大器在数据采集系统中如何应用等问题均将在本书中予以介绍。

第一节 放大器在采集系统中的作用

在工业生产和其他过程中，正确地采集数据并不是轻而易举的事情。因为生产过程本身是比较复杂的，来自传感器的信号一般都是比较微弱的低电平信号。而且信号所处的环境往往是比较恶劣的，干扰和噪声往往很大。放大器的作用除了将微弱的信号进行放大，增强功率外，还要能够抑制干扰和降低噪声并满足数据脉冲反应时间的需要。使得所采集的数据信号有足够大的电平，而且是及时和不失真的。

一、数据采集装置

数据采集装置大致有两种类型，一种是本身具有独立的检测、显示和控制的功能，能独立地进行多点信号的巡回检测，通常称作巡回检测装置，如图 1-2 所示。

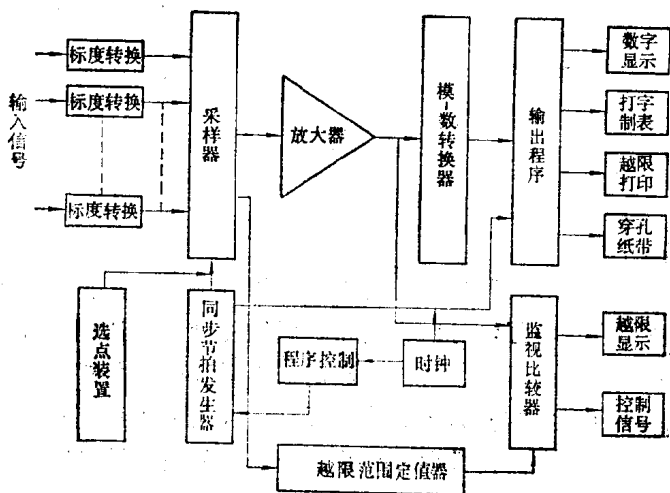


图1-2 巡回检测装置方框图

由图可见,放大器是一个不可缺少的电子装置。它一方面将来自采样器的低电平信号放大到模-数转换器所要求的信号电平,另一方面在放大有用信号的同时,抑制掉有害的干扰信号。否则由被检测对象来的微弱信号(微伏级或更小)不能适应一般模-数转换器对输入信号需高达凡伏的要求。而且被测对象和测量装置(如放大器等)之间往往相距较远,不可避免地会有干扰信号,在干扰严重时,装置甚至不能工作。可见放大器在数据采集系统中是保证检测精度的关键器件。

另一种数据采集装置是应用在工业控制计算机系统里的。这时数据采集装置要和工业控制计算机相连,数据的采集受到工业控制计算机的控制。装置即成为工业控制计算机的外围设备,或者称为工业控制计算机的模拟量输入通道装置。图1-3是工业控制计算机模拟量输入通道的简单框图。

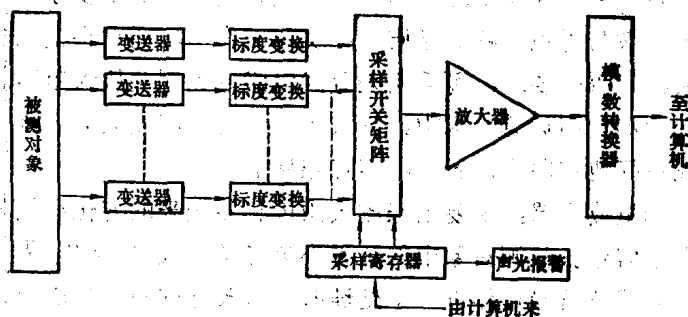


图1-3 工业控制计算机模拟量输入通道方框图

图中的放大器与图1-2中的放大器具有类似作用。这里还必须指出,进入放大器的信号由于是多路信号,它们的输入幅值和参考地电平是不相同的,通常是一系列的数据脉

冲。这些数据脉冲既不是一般的直流信号，也不同于一般的脉冲信号，放大器就是用来放大这些信号的。因此要求放大器既具有直流放大器的性质，能放大数据脉冲的直流电平，又要具有脉冲放大器的性质，有一定反应速度。

二、数据采集系统中所用的放大器

系统中的放大器，要根据所采集的数据过程特征和要求来进行选用。其中直流放大器、测量放大器、脉冲放大器、运算放大器和数据放大器是人们经常关心的。

直流放大器：能放大直流或频率很低的（即信号变化极为缓慢的）信号。通常放大器的各级间采用直接耦合，所以又称直接耦合放大器。直流放大器一般有零点漂移，即在输入信号为零时，可以观察到输出电平偏离零电平或某一已知电平而缓慢地变化。为了得到较大的输出信号，希望有较大的放大倍数，但是放大倍数越大，输出的漂移也就越大，严重时将导致放大器不能工作，可见直流放大器的主要矛盾是放大倍数与零点漂移的矛盾。在实际工作中，通常根据直流放大器零漂的要求，可采用差分式电路或调制式放大电路。在工业测量和计算技术中，常采用调制式直流放大器，因为它能较好地克服上述矛盾，零点漂移很小。

测量放大器：主要用来放大由传感器送来的变化缓慢的低电平信号。被测对象中的这种小信号源，极易受外界干扰，为了使信号在作进一步处理时，有较好的抗干扰能力，即信噪比不致显著下降，通常都必须采用前置放大器。对测量放大器有较高的指标要求，除能保证在通频带内均匀地放大有用信号电压外，还能抑制干扰电压，就是说它必须具有抗干扰的能力，其失真和噪声电平应该很低。

脉冲放大器：脉冲放大器用来放大脉冲信号。即被放大

的信号变化极快。它属于一种宽带放大器。这类放大器通常是由阻容耦合加补偿来实现的。在工业生产和科学实验中，要求脉冲放大器具有很高的反应速度。

运算放大器：运算放大器是一种用来实现信号的组合和运算的放大器，如图 1-4 所示。它的输出信号可以是输入信号的加减或微分、积分等数学运算的结果。在结构形式上，是一个高放大倍数并带有大闭环深度负反馈的宽带直流放大器，即是一个工作在闭环状态下的直流放大器。不同的运算要求，通过反馈网络来实现。

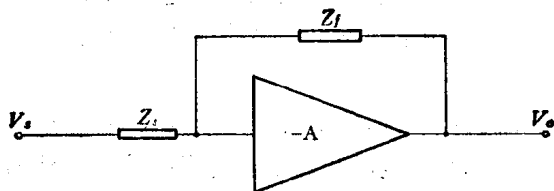


图1-4 运算放大器示意图

其输出与输入的关系，在理想情况下可以用下式表示：

$$V_o/V_s = -Z_f/Z_s \quad (1-1)$$

式中 Z_f ——反馈阻抗；

Z_s ——输入阻抗。

采用不同的输入和反馈阻抗，可以制成多种运算规律的运算器件，例如反相、求和、积分、微分、滤波等。

以上各类放大器在数据采集系统中都有所应用。由于科学技术的发展，在数据采集系统中，还出现了一种要求更高、指标更全面的放大器——数据放大器。

数据放大器：它是用于数据采集系统中的、能正确放大多路采样信号的直流分量，在输入阻抗、输出阻抗、对信号

的反应速度、噪声、漂移、稳定性、精度、抗共模干扰等综合性指标上均能满足采集系统要求的放大器。用于采集系统中的不具有单独抗共模干扰性能的放大器只能称为直流放大器或前置放大器。而有些具有抗共模指标,但反应速度较慢,在建立时间方面不适用于多路采集系统的放大器只能称为测量放大器。由于数据放大器具有较全面的指标,故它也能用于其他测量系统中。在采集系统中使用的、不具有单独抗共模干扰的放大器,可以是直流放大器、运算放大器或宽频带放大器(脉冲放大器)。因此,事实上,用于数据采集系统中的放大器,并非都具有数据放大器的全面的高指标和高性能。换句话说,用于数据采集系统中的放大器并非都是数据放大器。

随着现代科学技术的发展,数据放大器在国外已有系列产品。我国从72年也已开始生产定型产品(如SF-72型)。在集成运算放大器发展的基础上发展了集成数据放大器,使数据放大器克服了分立元件的体积庞大、成本高、调整复杂等缺点,向集成化和小型化发展。在高速采样的数据采集系统中,要求数据放大器的反应速度进一步提高。在某些系统中还要求数据放大器的量程能自动切换。从以上情况来看,数据放大器正向着集成化、小型化、高速化发展。但应指出的是:随着数据采集系统的结构的变革,数据放大器将和采样器、模-数转换器联系起来作为一体进行设计。

第二节 数据采集系统中放大器的技术指标

数据采集系统采用放大器的目的和对放大器的要求均应以不同情况而异。有的数据采集系统对放大器有全面的高性能指标要求,这时就应选用具有全面高性能指标的数据放大

器；有的数据采集系统对放大器只要求某些指标，这时就不必选用数据放大器，而选用其他能满足要求的放大器就行了。例如：有的数据采集系统从整个系统的角度来考虑和解决抗共模干扰的问题，这时就不必选用具有抗共模干扰性能的数据放大器，而选用直流放大器、运算放大器等无单独抗共模干扰的放大器即可。有的系统，有抗共模干扰的要求，但并非多路系统，对放大器反应速度的要求较低。这时也不必选用数据放大器，而选用测量放大器即可。因此，对不同使用要求的放大器，并非全部指标都是重要的。

但从数据采集系统的总的要求来看，对于其放大器的技术指标应有一个综合的较全面的要求。人们习惯地把它归纳为具有“三高三低”的要求，即：要求放大器具有高的输入阻抗、高速度（即反应时间快）、高的抗共模干扰能力，以及低漂移、低噪声、低输出阻抗。由上述可知，数据放大器通常都具有这些高性能指标。

因此，我们以数据采集系统对数据放大器的技术要求来分析数据放大器的技术指标。数据放大器具有的技术指标包括了采集系统对其他放大器的所有要求。

数据放大器的技术指标很多。概括起来可以分为两大类。一类是静态特性指标，一类是动态特性指标。各种采集系统中所用的数据放大器对静态指标和动态指标的要求也各有不同。而我们这里仅从对数据放大器的一般要求出发来讨论它的主要技术指标，为的是更有利于讨论数据放大器的其他问题。为便于记忆和有助于理解，我们把主要技术指标加以分类讨论。

一、数据放大器的静态特性指标

放大器的静态特性即指稳态时的性能。数据放大器的静

态特性指标主要有：增益、线性度、输入阻抗、输出阻抗、共模抑制比、输出电压和电流、漂移等等，下面分别进行讨论。

1. 增益类

数据放大器的增益，通常简称为电压增益（严格讲应为差模电压增益），也常叫电压放大倍数。

数据放大器的增益一般是指：输出电压 V_o 与差模输入电压 V_s （即差模输入阻抗两端的电压）的直流增量的比值，即增益：

$$K = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_s} \quad (1-2)$$

实际上，差分放大器左右两部分不可能完全对称，输出电压将随着共模电压而发生变化。在采集系统中，数据放大器的共模电压比较突出，因而常需引入共模电压增益 K_c 这一指标。其定义是：输出电压 V_o 与共模输入电压 V_{cm} 的增量比，即共模增益：

$$K_c = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_{cm}} \quad (1-3)$$

增益 K 可以用数值表示，也可以用分贝 (db) 来表示，用分贝表示时，

$$K(\text{db}) = 20 \lg K$$

例如： $K = 10^6$

则： $K(\text{db}) = 20 \lg K = 20 \lg(10^6) = 120(\text{db})$

增益与频率有关。即增益 K 是频率 f 的函数。它们之间的关系叫做幅频特性（详见后面）。为了说明增益与频率的关系，在放大器中常常引入一个 -3db 带宽 Δf_{OL} 的概念，它是描写频率特性的方法之一。-3db 带宽的定义是：用分

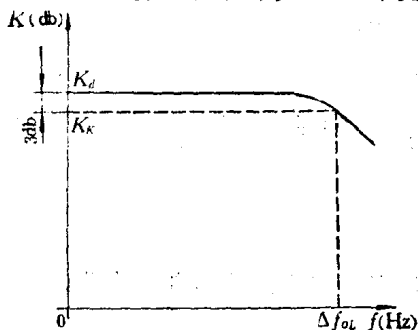
表示的电压增益随频率升高而降低了3db(即-3db)时的频率。如图1-5所示, Δf_{OL} 即为-3db带宽。

$$\begin{aligned} \text{设 } f = \Delta f_{OL} \text{ 时, } K(\text{db}) &= K_K \\ f = 0 \text{ 时, } K(\text{db}) &= K_d \end{aligned}$$

$$\text{则 } 20\lg K_K - 20\lg K_d = -3$$

$$\text{故 } K_K/K_d = 0.707 \quad (1-4)$$

式(1-4)表明: 当频率为-3db带宽时的电压增益(用数字表示)是额定电压增益的0.707倍。



与一般测量放大器比较, 对数据放大器的增益有以下几个要求:

① 增益准确度(增益精度): 数据放大器的增益一般要求可调且可以变换, 变换的增益倍数在仪器面板上标

明。增益准确度的定义是: 放大器面板上的增益倍数和实际增益倍数之差与面板上指示的增益倍数之比, 以百分数表示:

$$\delta = \frac{K_{\text{实}} - K_{\text{面}}}{K_{\text{面}}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 $K_{\text{实}}$ ——实际增益倍数。其数值为:

$$K_{\text{实}} = \frac{V_o}{V_i} \quad (1-6)$$

$K_{\text{面}}$ ——面板上指示的增益倍数。

增益准确度 δ 一般在1%以下, 特别准确的数据放大器