

自动增益控制与对数放大器

袁孝康 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书内容作为构成自动幅度调节系统的专门分支,而较为完整和系统地论述了自动增益控制系统与对数放大器的理论和设计问题。全书分上下两篇。上篇为自动增益控制系统基础部分,阐述了AGC电路的基本特性和系统的稳态特性、过渡过程(其中又提出和采用了对数折线法)及系统的稳定性,还讨论了脉冲AGC系统及一些设计和实验问题;下篇为对数放大器部分,阐述了对数放大器基础和真对数放大器、似对数放大器等,并提出了一些新的分析方法和理论。

本书可供无线电技术领域中有通信、雷达、电子对抗、广播与电视和各种电子测量设备方面的工程技术人员阅读参考,也可供高等院校相关专业师生的教学参考。

自动增益控制与对数放大器

袁孝康 编著

责任编辑 林秀权

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张14 309千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷 印数: 20,001—3,000册

统一书号: 15034·3188 定价: 2.85元

前 言

自动增益控制系统与对数放大器，现时已经广泛地应用在通信、雷达、电子对抗、广播电视和各种电子测量设备中。它们的基本作用是压缩输入信号的动态范围。由于自动增益控制系统一般是一个闭环系统，因此完成这种压缩作用需要一定的调节时间；而对数放大器则能实现动态范围的瞬时压缩。此外，自动增益控制系统与对数放大器还具有一定的信息处理功能。自动增益控制系统已经有一个较长的发展历史了，而对数放大器只是在最近二十年内才迅速地发展起来。现时已有大量文献论述自动增益控制系统和对数放大器，但是大多数偏重于个别电路技术的描述，且比较零散。特别是自动增益控制系统，作为一个具有参数反馈作用的非线性调节系统，其理论研究还不够成熟。《锁相技术》一书的作者 F. M. Gardner 曾经声称：“在现有资料中，自动增益控制环路的响应速度是一个在任何深度上都还没有被探索过的问题。”（见该书中译本 110 页，科学出版社，1971 年）。显然，这种状况是不能令人满意的。

作者在广泛收集、整理、消化现有文献资料的基础上，主要结合自己的理论研究成果和实践经验，写成了《自动增益控制与对数放大器》一书。在这本书中，将力图比较完整和系统地论述自动增益控制系统与对数放大器的理论和设计问题，并就主观愿望而言，也将尽可能以较为清晰易懂的语言，由浅入深的方式，简明而又较为严谨的推算，把有关问题阐

IV

述清楚。对此希望本书能对于从事接收系统和有关领域的科研、教学、设计工作的同志们有所帮助。

尽管作者怀着良好的愿望，力争把本书写好，但是由于水平限制，在很多地方仍然是力不从心，这就使得本书存在着不少的缺点和错误。作者愿意接受广大读者的检验，并且真诚地期待着同志们批评指正。

航天部上海航天局总工程师穆虹同志对本书给予了较高的评价，并且在百忙中审阅了本书的手稿，提供了许多宝贵的意见，这对作者是很大的鼓励和支持，在此书出版之际，仅向他致以衷心的感谢！并向许多关心和支持本书出版工作的同志们致以热忱的谢意！

编 著 者

目 录

上篇 自动增益控制系统基础

第一章 概 论	2
§1.1 自动增益控制系统的作用	2
§1.2 自动增益控制系统的分类	6
§1.3 自动增益控制系统的工作特点	11
§1.4 自动增益控制系统的主要质量指标	14
第二章 控制增益的方法和特性	19
§2.1 改变直流工作条件控制放大器的增益	20
§2.2 改变交流工作条件控制放大器的增益	33
§2.3 用电控衰减器获得增益控制	47
§2.4 增益控制特性的一般表示方法	60
§2.5 指定增益控制特性的获得	64
第三章 自动增益控制电路的基本特性	67
§3.1 自动增益控制电路的一般组成和幅度特性	67
§3.2 自动增益控制电路的转移函数和频率特性	70
§3.3 脉冲自动增益控制电路的转移函数和频率特性	86
第四章 自动增益控制系统的稳态特性	107
§4.1 自动增益控制系统的静态调节特性	107
§4.2 自动增益控制系统的增量频率特性	120
§4.3 自动增益控制系统对正弦包络信号的响应	142
§4.4 自动增益控制系统对非正弦的周期性包络信号的响应	149
§4.5 双环自动增益控制系统对正弦包络信号的响应	163
第五章 自动增益控制系统的过渡过程	176

§5.1	自动增益控制系统的运动方程式	176
§5.2	用折线法分析一阶自动增益控制系统的过渡过程	182
§5.3	用对数折线法分析一阶自动增益控制系统的过渡过程	194
§5.4	用折线法分析高阶自动增益控制系统的过渡过程	199
§5.5	用对数折线法分析高阶自动增益控制系统的过渡过程	220
§5.6	用转移函数法分析高阶自动增益控制系统的过渡过程	223
第六章	自动增益控制系统的稳定性	232
§6.1	按特征方程式的系数分析稳定性	232
§6.2	按幅相频率特性分析稳定性	237
§6.3	按对数频率特性分析稳定性	240
§6.4	稳定裕量	243
第七章	脉冲自动增益控制系统	247
§7.1	脉冲自动增益控制系统的稳定性	247
§7.2	脉冲自动增益控制系统的增量频率特性	274
§7.3	脉冲自动增益控制系统的过渡过程	276
第八章	自动增益控制系统的设计和实验	279
§8.1	一般设计考虑	279
§8.2	增益控制特性曲线的最佳化问题	290
§8.3	一阶自动增益控制系统的设计	297
§8.4	二阶自动增益控制系统的设计	307
§8.5	自动增益控制系统的实验	315

下篇 对数放大器

第九章	对数放大基础	320
§9.1	引言	320
§9.2	对数放大的基本特性	321
§9.3	对数放大器的某些应用特性	332
第十章	真对数放大器	339
§10.1	引言	339

§10.2 单级真对数放大器.....	340
§10.3 逐级进入式真对数放大器.....	348
§10.4 双增益级真对数放大器.....	366
§10.5 对数放大器的调试.....	382
第十一章 似对数放大器	387
§11.1 引言.....	387
§11.2 线性放大-限幅级串联相加似对数放大器	388
§11.3 双增益级似对数放大器.....	400
§11.4 用折线段逼近对数曲线的一般化理论 (综合设计法) ...	406
§11.5 非线性放大-限幅级串联相加似对数放大器	418
§11.6 并联非线性相加似对数放大器.....	423
主要符号表	435
参考文献	439

上篇 自动增益控制系统基础

第一章 概 论

§ 1.1 自动增益控制系统的作用

自动增益控制系统是一个在电子学领域中应用很广的系统。在广播、电视、通信和雷达接收机中几乎都不可避免地要加以采用，并且对于它们的性能有重要影响。

自动增益控制系统之所以广泛应用于接收机中，是由于下列原因造成的：接收机距辐射源的距离可以有很大变化；电波在空间传播有明显的衰落现象；以及其他一些干扰因素，使得作用在接收机输入端的信号强度有很大变化和起伏。但是，接收机的终端设备一般只能处理幅度变化不大的信号，信号过强过弱或忽大忽小都会使终端设备失效。

因此，必须设置一个幅度调节系统，来保证接收机输出信号幅度的平稳性。自动增益控制系统（今后常常简称为 AGC 系统）就是一个自动幅度调节系统，其基本作用是：当输入信号的幅度在很大的范围内变化时，严格地控制放大器的增益，使其输出信号的幅度保持不变或者只有很小的变化。也就是说，AGC 系统是一个动态范围压缩装置。

图 1-1 示出一个可以实现声音电平动态范围自动压缩的实际 AGC 系统。其工作原理可以简述如下：加到系统的输入端上的声频电压，经倒相器 BG_1 作用后，变成二个等值反相的信号，经过二极管桥路和 $20k\Omega$ 电阻组成的电控衰减器作用后，加到差分放大器 BG_2 、 BG_3 的输入端上，经放大后输出。差分放大器输出的两个反相电压还加到射随器

BG_1 和 BG_2 的基极上。射随器的发射结处于零偏状态, 因此它们具有一定的门限电压, 只有在幅度足够大的正半周输入电压作用下才能导电。于是, 在它们的公共负载上可以得到全波整流电压。这个负载由锗二极管 D_1 和低通滤波器组成。低通滤波器的输出加到射随器 BG_2 的基极上, 后者提供了二极管桥路的偏流, 从而使电控衰减器的衰减量受到控制。当系统输入端上声频电压的幅度低于门限电平时, 二极管桥路的偏流就没有变化, 整个系统就是一个恒定增益的放大器。输入电平高于门限电平之后, 二极管桥路的偏流增大, 电控衰减器的衰减量也就增大, 从而使输出电平保持在希望的数值上。这样就实现了声音电平动态范围的自动压缩。

图 1-2 示出一个应用在激光通信接收机中的光电 AGC 系统的方框图。激光通过大气传输后, 其功率将在宽广的范围内变化, 为了正常接收, 必须将它的强度变化范围加以压缩, 例如压缩 100 倍 (40dB)。图中, 受控级是由调制器和极化器构成的。调制器可以改变通过它的光的极化, 而光从极化器输出后其强度就受到了调制。光电倍增管将光转变为与其强度成比例的电流, 由运算放大器加以放大, 然后加到调制器的驱动级去进行电压放大, 此电压即对光的极化、进而对光的强度进行调制, 这样就使 AGC 环路闭合起来。图中的电容 C 可用去控制运算放大器的频率响应, $500k\Omega$ 电位计可控制运算放大器的增益, 另一电位计 R 可控制基准电流的大小, 并因此能使极化器输出的平均光强受到控制。有关此系统的详细描述请参阅文献[14]。

在雷达接收机中, AGC 系统不仅能够有效地防止接收机饱和或过载, 而且能够与目标距离无关的从回波信号中提取出角误差信号, 这就为清晰而正确地观测和跟踪目标创造

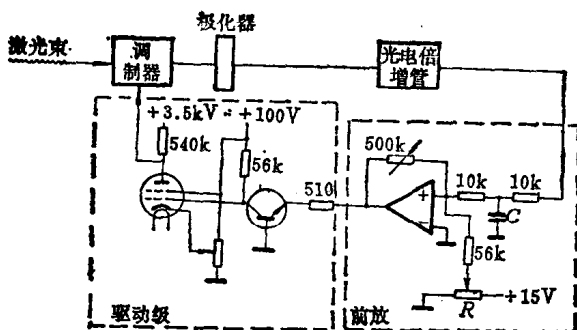


图1-2 一个光电AGC系统

了必要的前提。

一般说来，凡是在要求保持名义输出为常数而不管输入的变化如何的场合，都可以使用类似于 AGC 系统的装置。例如，使振荡器输出电平保持恒定的自动电平调节（ALC）系统，实质上就是一个 AGC 系统。即使是非电量的调节问题，例如恒温、恒压、恒流等问题，也可以用类似于 AGC 系统的方法进行分析和设计。

对于 AGC 系统的一般要求如下：

- （1）保护接收机不饱和或过载；
- （2）保证接收机具有足够的输入动态范围，这时输出电压幅度的变化应当在允许的范围之内；
- （3）在调节增益的过程中不显著恶化输入信噪比；
- （4）在调节增益的过程中保持受控放大器的频率特性不变；

(5) 在调节增益的过程中不使输入信号的有用调制规律失真;

(6) 尽可能地抑制各种不希望的输入起伏(衰落);

(7) 对瞬变的输入信号尽快地发生正常的增益调节作用;

(8) 工作的稳定性和可靠性高;

(9) 具有最小的控制功率消耗。

§ 1.2 自动增益控制系统的分类

AGC 系统种类繁多, 但究其构成方式总可以划分为开环和闭环两种类型。在开环 AGC 系统中, 不存在输出电压对输入端的反馈; 而在闭环 AGC 系统中则有这种形式的反馈存在。因此, 有时直接称开环 AGC 系统为无反馈 AGC 系统, 而称闭环 AGC 系统为有反馈 AGC 系统。因为反馈作用代表输出电压对输入端的影响, 是一种反向作用, 故有时将闭环 AGC 系统称为反向 AGC 系统, 而将开环 AGC 系统称为前向 AGC 系统。

对数放大器就是一种开环 AGC 系统。它在输入信号的作用下, 自动地造成这样一种增益变化, 使得输出信号幅度与输入信号幅度成对数函数关系。对数放大器具有动态范围宽广、瞬时响应和电路简单等优点, 本书下篇有详细讨论。这里仅需指出, 对数放大器的输出电压幅度在整个动态范围内的变化还是相当显著的(可达 20dB)。除了对数放大器以外, 还有一种经典的开环 AGC 系统, 其方框图见图 1-3。此系统的优点是在输入信号幅度发生很大变化时, 仍能精确做到输出幅度不变; 其缺点是惯性大, 动作迟缓, 对系统参数的变化敏感。因此, 这种开环 AGC 系统的应用有限, 本书不

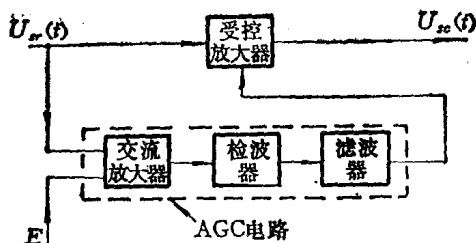


图1-3 开环AGC系统

拟讨论。

闭环 AGC 系统获得了广泛的实际应用。它能以一定的准确度保持接收机的输出电压幅度不变，并且对系统参数的变化不敏感，同时可以具有适中的快速响应。根据作用信号的性质，可以将闭环 AGC 系统划分为连续作用的系统和脉冲作用的系统两类。图 1-4(a)、(b)、(c) 和 (d) 示出连续作用的闭环 AGC 系统的几种可能方案。图 1-5 示出脉冲作用的闭环 AGC 系统的通用方框图。脉冲系统的特点在于反馈电路中有脉冲检波器存在。

上述 AGC 系统又可做成延迟的或无延迟的型式。在延迟式 AGC 系统中，只有当信号幅度超过某一最小电平之后才发生增益调节作用，为此在反馈电路中需引进相应的动作门限电平（常常称为延迟电压）；而在无延迟的 AGC 系统中，则无此门限效应存在，它对任何电平的信号均发生增益调节作用。

AGC 系统可按反馈电路中是否有放大器而划分成放大式〔图 1-4(c) 和 (d)〕和非放大式〔图 1-4(a) 和 (b)〕两种型式。这种放大可在 AGC 检波器之前（交流放大），也可在其后（直流放大）。在脉冲 AGC 系统中一般都采用放大式，

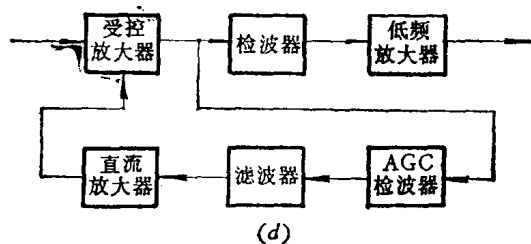
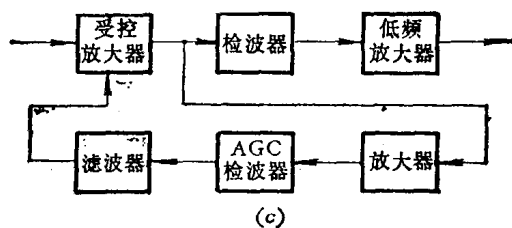
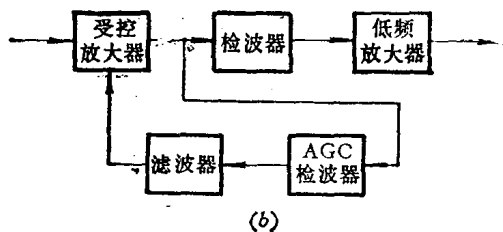
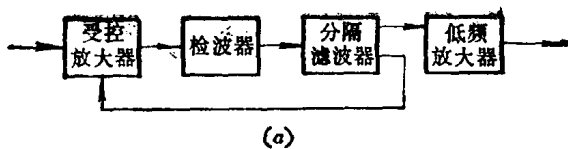


图1-4 连续作用的闭环AGC系统

(a) 共用检波器的非放大式AGC; (b) 独用检波器的非放大式AGC; (c) 具有交流放大器的放大式AGC; (d) 具有直流放大器的放大式AGC。

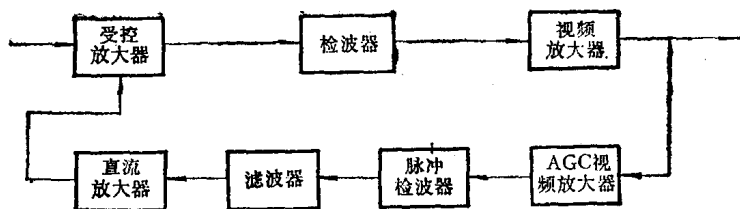


图1-5 脉冲作用的闭环AGC系统

或用视频放大，或用直流放大，或二者兼用。

如果研究的是连续 AGC 系统，则还可按获得控制电压所用检波方式分类。据此可分为共用检波器〔图 1-4(a)〕和独用检波器〔图 1-4(b)〕的系统。

除了上述 AGC 系统以外，在实际应用中有时还需要更复杂的结构线路。例如，可以采用前向和反向 AGC 系统的组合线路（图 1-6），在 AGC 电路中引入附加反馈（图 1-7），以及采用串联和并联作用的多环路 AGC 系统（图 1-8）。

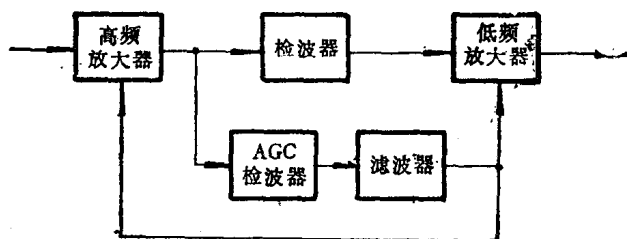


图1-6 前向和反向组合作用的AGC系统

本书着重研究单环路 AGC 系统的运动特征和性能参数。

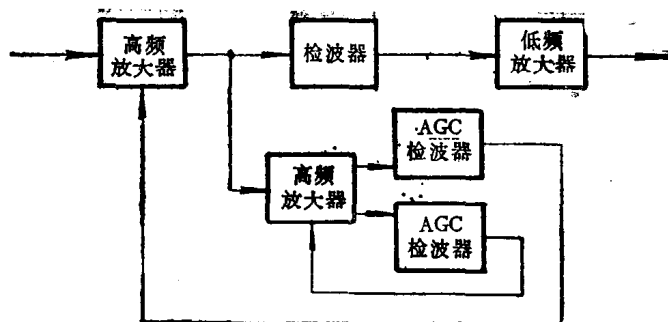
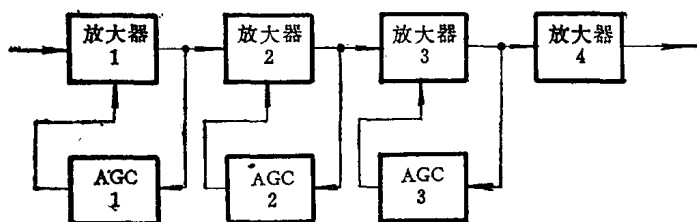
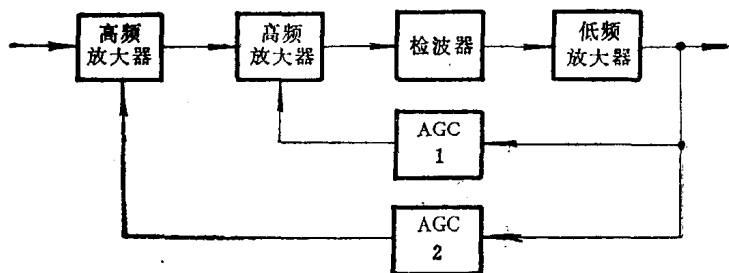


图1-7 AGC电路中有附加反馈的AGC系统



(a)



(b)

图1-8 多环路AGC系统

(a) 各环路串联作用; (b) 各环路并联作用。