内 容 提 要

本书从自动电平调节系统的基本概念和多孔磁心自动电平调节系统主要特点的简要叙述开始，详细介绍了多孔磁心的工作原理、基本特性和多孔磁心导频控制器的结构原理。重点地介绍了多孔磁心导频控制器电路的分析和计算方法，同时对多孔磁心导频控制器电路的调节过程、电路的调测方法也作了分析和介绍。最后还简要地介绍了自动电平调节系统动态的分析方法。

本书理论联系实际，可供从事长途载波通信设备制造、维护、设计、安装施工方面的人员，通信院校载波专业的工农兵学员和教师阅读参考。

多孔磁心自动电平调节系统

《多孔磁心自动电平调节系统》编写组编

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
新 华 书 店 发 行

开本787×1092 1/32　1975年 11 月　第 一 版
印张：4　页数：64　1975年11月河北第一次印刷
印刷字数：84 千字　印数 1—15,700 册

统一书号：15045·总2056—有520

定价：0.33 元

毛主席语录

要无产阶级政治挂帅，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。

要从有实践经验的工人农民中间选拔学生，到学校学几年以后，又回到生产实践中去。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前　言

遵照伟大领袖毛主席关于**“要从有实践经验的工人农民中间选拔学生，到学校学几年以后，又回到生产实践中去”**的光辉指示，北京邮电学院从工人农民中间选拔的首届工农兵学员，经过三年多的上大学、管理大学、改造大学的战斗历程，已经在1974年七月毕业，满怀革命豪情又回到三大革命的实践中去。毕业前，学员们在毛主席无产阶级教育路线指引下，在批林批孔运动的推动下，怀着为毛主席争光，为工农兵争气的决心，到各个工厂、科研和施工单位进行毕业实践。在毕业实践中，学员们坚决把为无产阶级政治服务，为社会主义经济基础服务作为选题的方向。在各单位党委的领导和教师的指导下，虚心向工人阶级学习，与工人、技术人员紧密结合在一起，破除迷信，解放思想；勇于实践，大胆创新，取得了较好的成绩。

“多孔磁心自动电平调节系统的设计”就是这次毕业实践中的一个项目。六十年代末期，多孔磁心才开始用到载波通信设备中。利用它作为“记忆”和控制元件的自动电平调节系统，由于具有“记忆”性能，又比数字式自动电平调节系统电路简单、节省元件，因而改善了系统的调节性能和可靠性。参加这次毕业实践的工农兵学员和教师，与邮电522厂的有关技术人员结合在一起，在学习邮电505厂等兄弟单

位先进经验的基础上，经过反复分析和实验，提出了从磁路上消除多孔磁心非单值性的措施和改善系统动态特性的方案，取得了一定的成果，改善了系统的性能。

本书就是在这次毕业实践的基础上，由参加设计试制工作的全体工农兵学员和教师，邮电522厂的技术人员组成三结合的编写小组集体编写的。本书在简要地叙述了自动电平调节系统的基本概念和多孔磁心自动电平调节系统的主要特点后，较详尽地介绍了多孔磁心的工作原理和基本特性。控制器是自动电平调节系统的核心部件，它在很大程度上决定着整个系统的性能。因此本书把多孔磁心控制器电路的分析与计算作为一个重点来介绍。至于其它部件，如调节放大器、导频放大器以及导频窄带滤波器，可以参考有关电子电路和网络方面的书籍，本书就不作分析了。一个自动电平调节系统的好坏最终表现在它的动态和静态特性上，因此本书最后一章简要地介绍了系统动态的分析方法，并具体地分析了多孔磁心自动电平调节系统的特性，书中给出了一些理论计算和实测结果，这些结果对如何改善系统特性可供参考。

由于我们进行这项工作的时间还很短，不论在实践经验还是在理论水平上都还很差。因此，书中不免存在谬误之处，希望阅读本书的同志们提出宝贵的意见。

本书编写组

目　　录

第一章　概述……（1）

1.1　自动电平调节系统的任务……（1）
1.2　自动电平调节系统的构成和种类……（3）
1.3　多孔磁心的特点及其在自动电平调节系统中的应用……（7）

第二章　多孔磁心作用原理及特性……（11）

2.1　多孔磁心作用原理……（11）
1.　分层磁化原理……（11）
2.　多孔磁心作用原理……（16）
3.　用脉冲信号控制多孔磁心……（20）
2.2　多孔磁心脉冲控制特性和激励输出特性…（27）
1.　多孔磁心的脉冲控制特性……（27）
2.　多孔磁心的激励输出特性……（30）
2.3　消除非单值性的方法……（33）
2.4　选择多孔磁心的原则……（37）

第三章　多孔磁心导频控制器……（41）

3.1　导频控制器的结构原理……（41）
3.2　控制器单元电路的分析计算……（45）
1.　比较控制电路……（45）

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

2. 脉冲发生器电路……（54）
3. 输出电路……（59）
4. 锁定电路……（68）
3.3 多孔磁心导频控制器主干电路及其调测…（69）
1. 导频控制器的调节过程……（71）
2. 反馈校正网络对控制特性的影响……（74）
3. 导频控制器调测要点……（76）
第四章 系统调节特性 ……（81）
4.1 技术指标……（81）
1. 静态误差ΔP_δ……（81）
2. 最大过调度σ ……（82）
3. 调节速度V……（85）
4. 调节时间T_d……（86）
4.2 单站的调节特性……（86）
1. 动态特性的分析方法……（86）
2. 各环节的动态和静态特性……（90）
3. 系统的调节特性……（101）
4.3 多站链接时的调节特性……（109）
1. 继电积分型……（110）
2. 比例积分型……（114）
附录 磁心特性的测试方法……（118）

第一章 概 述

1.1 自动电平调节系统的任务

在长途载波通信系统中，首先应当使整个增音系统电平稳定，才能保证电话通路得到足够小的净衰耗频率特性失真和信号噪音比不小于额定值。实际上增音系统由于通信线路和增音设备性能受各种因素影响，当载波通信系统传输距离较长时，如果不采取必要的技术措施，就不可能使高频传输通道电平稳定。自动电平调节系统的任务就是使整个增音系统的电平稳定在规定的范围。

增音系统传输电平随时间变化的因素比较复杂，主要是由于线路随环境温度变化而造成的。架空明线直接暴露在大气中，导线电阻和隔电子绝缘程度均与气候密切相关，尤其是出现冰凌时，线路衰耗变化极大。地下电缆主要是心线电阻等受土壤温度的影响，因为大地热容量较大，一年中土壤温度相对气温变化范围是比较小的。在一个额定增益相同的增音段中，由环境温度变化而造成的电缆衰耗变化，无论是幅度还是速度虽比明线为小，但是电缆衰耗一年内随土壤温度变化的范围还是非常可观的。我国地下1.2米左右（除边远地区外）土壤温度变化范围约为0°C至26°C。传输距离为1500公里的中同轴电缆音频转接段，在8.5兆赫处由土壤温度变化而引起的衰耗变化约±29.5奈，这远远超过了通

路净衰耗允许的波动范围。由于同轴电缆衰耗频率特性是遵守$\sqrt{f}$的规律，故可采用一个主导频进行自动电平调节。1500公里的对称电缆音频转接段的衰耗在252千赫处约±6.36奈；在112千赫处约±4.43奈；在12千赫处约±6.36奈，可以看出对称电缆衰耗频率特性的变化是比较复杂的，可分解为平、斜、曲三种分量，分别由平、斜、曲三个导频进行自动电平调节。

自动电平调节系统具有分散的特点，它对多站调节动态特性提出了较苛刻要求。不仅要保证电话通路净衰耗在允许范围内，还要求高频通道的增音系统任何一点的传输电平值都保持在规定的范围。为了实现这一点，一般的电缆载波增音系统都倾向于采取用土壤温度补偿和导频调节的混合方式。通过电平自动调节来消除前面地温站的累积偏差和补偿导频调节站前一增音段由土壤温度变化而引起的电缆衰耗变化。

在同轴电缆增音系统中，有大量的增音机存在，因元部件参数老化——而造成的传输频率特性变化，需要自动电平调节（即辅助调节）来补偿。除上述种种衰耗随时间的慢变化外，实际上高频传输通道还存在衰耗快速的随机变化，如电源变化；测量时跨接仪表等均可能造成阶跃式的电平突变。因此自动电平调节系统的调节速度不仅应跟得上土壤温度变化引起的电缆衰耗变化的速度，而且对通路净衰耗在±0.23奈（即±2分贝）内阶跃变化时，其动态响应对通路质量不应产生坏的影响。

1.2 自动电平调节系统的构成和种类

自动电平调节系统由载波终端机发送支路的导频稳幅振荡器和在各导频增音机或终端机接收支路的导频接收器，导频控制器以及调节网络等组成，自动电平调节系统如图1.1所示。

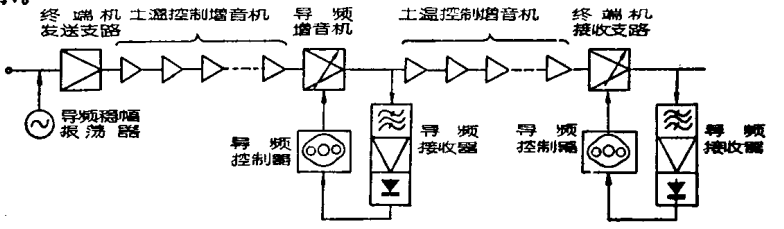

图 1.1 自动电平调节系统示意图

终端机发送支路线路放大器输入端接入导频稳幅振荡器，其频率一般用主振器或专门的晶体振荡器来控制，达到一定的频率稳定度要求。导频频率通常位于电话通路之间的频率间隔中，也有的安排在传输通道频谱之外，在高频段还是在低频段依具体情况而定。导频应不影响电话等信号的传输，而又便于用简单的窄带滤波器选出，且不受电话等信号的干扰。为了使自动电平调节接收环路的传递系数不需很大，就可得到较高的调节准确度，导频应位于传输频谱中衰耗变化最大部分或接近衰耗变化最大部分。为了满足导频电平有较高的幅度稳定度的要求，一般都采用稳幅振荡器来产生导频。以使导频经线路传输后，其电平随时间的变化能准确地反映高频传输通道衰耗的变化。导频电平还应大大低于电话通路传输电平以减小群路负荷，但又应对噪音具有足够的抗干扰能力。

导频经线路传到每个导频增音机或终端机接收支路，由导频窄带滤波器选出，经导频接收器放大整流，产生与接收到的导频电平成比例的直流电压，再经导频控制器比较放大后，输出直流加热电压，控制调节四端网络的热敏电阻，使高频传输通道的增益或衰耗发生变化。

调节四端网络（也可以是二端网络）是自动电平调节系统用来直接补偿线路衰耗变化的设备。一般由可变衰耗器或可变均衡器组成，接在线路放大器的输入端或反馈回路中，因其衰耗是可变的，故输入阻抗和输出阻抗变化较大。若接于线路放大器输入端进行衰耗频率特性调节时，为满足阻抗匹配要求必须接入缓冲阻抗的衰耗器，从而使增音系统的固有衰耗增加。若接于线路放大器的反馈回路进行增益频率特性调节时，对增音系统不带来附加的衰耗。

导频接收器由导频窄带滤波器，导频选择放大器，整流器三者组成，要求具有高的稳定性。因为在导频接收环路中，如果将导频控制器输入端的基准电压作为输入，而把调节四端网络输出（即线路放大器输出）的导频电平作为输出则可将导频接收环路看作一个负反馈环路，导频控制器和调节四端网络处于K（放大）回路中，而导频接收器处于β（反馈）回路中，当$K\beta \gg 1$时导频接收环路的稳定性完全决定于β回路，即决定于导频接收器的稳定性。

导频窄带滤波器对多路信号电流具有足够高的衰耗，抑止其它信号串扰导频，同时又应具有高的输入阻抗以消除其对多路信号电流的跨接影响。导频放大器是具有很高增益的选择放大器，在放大导频信号的同时对多路信号产生附加的抑制，它具有温度补偿电路，在允许的温度范围内，增益能

保持很小的偏差。放大后输出的导频电压经整流器整流，产生与接收导频电平成比例的直流电压送入导频控制器。整流器的时间常数只要选择得能再现导频包络的变动而对较高频率的干扰有一定抑制作用就可以了。

导频控制器主要是将与导频电平成比例的直流电压与基准电压进行比较，将比较后的偏差值进行放大，最后输出直流加热电流送到调节四端网络的旁热式热敏电阻加热丝，以控制热敏电阻阻值的变化达到自动电平调节的目的。导频控制器是自动电平调节系统中最使人们感兴趣的部件。控制器原理的方案是多种多样的。按控制器实现控制的物理方法分类有直流控制式、交流控制式、脉冲数字式；按执行元件分有机电式、热电式、电磁式等，但是其作用都是相同的。导频控制器必须保证自动电平调节系统电平调节的精确性、稳定性。同时还应保证由它组成的调节链路输出端的静态和动态品质达到一定要求。控制器还必须具有“记忆”能力。以便在导频电平突然中断时把高频传输通道在发生故障前的工作状态“记忆”下来，使线路放大器保持故障前的增益，这样，导频虽中断，但增音系统各点电平仍维持在导频中断前的状态，只要不是因线路或增音设备损坏而造成的导频中断，电路仍可正常工作，导频发送设备也就不需要复杂的快速转换设备。有了“记忆”能力还能使得因线路、电源等中断而造成的电路中断，在障碍消除后在较短时间内恢复正常。从要求有“记忆”性能的观点来看，过去使用过的一些控制器（如直流控制式）是不能满足上述要求的。机电式和由机电式改进而来的磁电式虽有“记忆”能力，但都存在着机械转动的元件，因此有制造复杂、笨重、寿命短、成本高等等

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

缺点。采用由电平鉴别器、脉冲发生器、二进位可逆计数器等组成的脉冲数字式导频控制器虽有“记忆”能力，但需要的半导体器件太多，目前尚难全部做成集成电路，同时它使用的电源种类多、耗电大、价值高、使用元件多，可靠性也差，如要增加“记忆”步数提高调节准确度就得增加2进位可逆计数器的位数，并给译码电阻制造带来困难。此外当电源中断时二进位可逆计数器就将失去原来的“记忆”状态，这是脉冲数字式导频控制器的主要缺点。另一种不用热敏电阻而用场效应管的导频控制器，其作用是在场效应管可变电阻区将变化的电压转换成可变电阻，以控制调节四端网络。这种控制器主要元件是储存电容和场效应管，场效应管的控制电压是从储存电容器两端取得的，由于电容器的电压可以长期储存，因而具有“记忆”性能。场效应管由控制电压变换成可变电阻时没有时延，其调节特性完全由储存电容器充放电的时间常数决定。但是场效应管的输入阻抗虽高却为有限值，再加上电容器绝缘和机盘绝缘也是有限值，所以场效应管导频控制器的“记忆”时间是有限的，因此，在“记忆”状态下线路放大器增益不可能长期不变，而存在着缓慢的电平漂移。由于场效应管存在着非线性特性，在电路上又是电的直接耦合，从控制电压变换成可变电阻时又没有惯性，这些因素使得采用场效应管对高频传输通道非线性噪音的影响大于旁热式热敏电阻的影响。

目前也有人提出利用电解作用原理，由直流电控制利用电化学的方法改变交流回路阻抗的模拟“记忆”元件，做成具有“记忆”性能的导频控制器。但由于惯性很大，“记忆”误差大，使用温度范围狭窄、易于过载、寿命和可靠性均无

把握等种种原因尚未实际使用。就目前已掌握的情况来看，采用多孔磁心作为导频控制器的“记忆”元件，无论从技术上或经济上比较，条件都比上述几种元件成熟。

1.3 多孔磁心的特点及其在自动电平调节系统中的应用

多孔磁心就是一种具有矩形磁滞回线的铁磁材料（例如锂锰铁氧体，故又称为矩磁材料）根据使用的要求制成二孔以上孔间相互有磁耦合的磁心。早在1958年我国工人和技术人员在毛主席为我党制定的“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”的总路线指引下，就已把多孔磁心用于自动控制和计算机中，在无产阶级文化大革命的推动下，近二年来多孔磁心又进一步用到长途载波通信系统的自动电平调节控制器中。

多孔磁心的特点是：它的“记忆”性能比上述几种“记忆”元件理想。矩磁材料制成的多孔磁心剩磁感应强度B_r与饱和磁感应强度B_m接近相等，因而控制磁通消失后，剩磁感应强度B_r“记忆”住了原来的磁化状态，利用剩磁感应强度B_r作“记忆”理论上可保持任意长的时间而不消失。多孔磁心控制器加上反馈校正回路后，“记忆”步数可以做到数千步以上，用一般的测试方法无法分辨因而可以认为调节特性是连续的，故其调节准确度高，静态误差小。利用剩磁感应强度Br来“记忆”与控制器供电状态无关，即使电源中断磁心仍在原来的剩磁状态，保持“记忆”不变。多孔磁心是无源部件没有机械运动，因而寿命长可靠性高，采用锂锰铁氧体

制成的宽温多孔磁心，有工作温度范围较宽，能承受较大的过载冲击而不损坏，成本低等优点。但多孔磁心孔径尺寸小线圈绕制困难，在强外磁场干扰的情况下需要磁屏蔽。

利用多孔磁心做成的导频控制器，为了满足单值调节特性的要求（这是多孔磁心导频控制器很关键的性能），可以在多孔磁心控制电路中加偏流，同时利用限制控制脉冲幅度的方法来实现；也可采用将多孔磁心的打开绕组和闭锁绕组分别绕在恰当的支路上来解决这个问题。实践证明采用三孔磁心将打开绕组绕在小孔上，闭锁绕组绕在大孔上，输出绕组绕在另一小孔上（参见图3.1），只要绕组匝数和磁心尺寸选择适当，就可做到单值调节、输出落差大、磁心打开或闭锁速度均匀。

早在1958年，我国广大邮电工人和技术人员在党的总路线、大跃进、人民公社三面红旗光辉照耀下，发扬**自力更生，艰苦奋斗**的精神，设计试制电子管对称电缆60路载波设备时，创制出直流控制导频控制器，其特点是采用了限幅和校正（积分特性）网络。在多站链接动态特性方面大大地超过了过去进口的12路载波机的热电式导频控制器。这种直流控制方案的热电式导频控制器，已在我国的3路、12路、60路载波通信设备中得到广泛的采用。

经过无产阶级文化大革命，我国广大邮电职工，在毛主席关于**“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”**的光辉指示鼓舞下，经过短时间的实践摸索，导频控制器又有了新的飞跃，研制出了多孔磁心导频控制器。对于这种控制器的控制特性，根据我们在实践和认识过程中的体会作一简单的介绍。

多孔磁心导频控制器的调节特性与控制器比较放大级电路的参数有很密切的关系。如果在设计比较放大级时，考虑输入电平有很小的突变（如超过±0.05奈时）比较放大电路就出现限幅。那末，微分—积分反馈校正网络的微分校正作用、因限幅作用的限制(这时比较放大级的输出为一固定值)而显得微弱，一般只能做到克服热敏电阻的惯性或稍强一点，这样的调节特性近似“继电—积分”特性。它的主要特点是：无论输入电平突变的大小如何，其初始调节速度都一样。具有这种调节特性的导频控制器链接的站数较多时，在理想情况下过调量约40%。

如果在设计比较放大级时，考虑比较放大级在实际输入突变值（如±0.2奈）的范围内保持线性，而又在多孔磁心控制器电路中选择适当的“微分—积分”校正网络。这样在调节的初始阶段，经微分校正作用产生与输入突变量成比例的提前量进行加速调节（这时积分校正作用很小），微分校正的加速调节作用随时间而逐渐消失，最后由积分校正作用使多孔磁心缓慢地调到稳态值，这样的调节特性近似“比例—积分”特性。只要微分和积分校正网络的参数选取恰当，而热敏电阻时间常数又较小时，就可以大大地改善过调量，实践证明，具有这种调节特性的导频控制器链接的站数为8站时，链路输出端的过调量为10～16%左右。

由于多孔磁心导频控制器具有“记忆”性能，调节步数多、调节精度高、制作简便、生产费用低等优点，并已在载波通信系统中应用。它的这些性能也是现有明线载波系统的导频控制器所不及的，特别是明线载波传输受气候变化影响剧烈，线路障碍比较多，如采用多孔磁心导频控制器，其优

越性能就显得更加突出。因此利用多孔磁心导频控制器来改造现有明线载波的自动电平调节系统，提高通信质量，我们认为是很有意义，值得去实践和推广，是大有可为的事情。

第二章　多孔磁心作用原理及特性

2.1　多孔磁心作用原理

1.　分层磁化原理

多孔磁心是由一种具有矩形磁滞回线的磁性材料所制成的磁性记忆、控制元件。例如由锂锰铁氧体所制成。因为矩磁材料的磁滞回线近似于矩形，所以其剩磁感应强度B_r和饱和磁感应强度B_m近似相等，也就是说在磁场强度小于矫顽磁力H_c的范围内，磁通量没有明显的变化，并且近似等于饱和磁感应强度B_m。

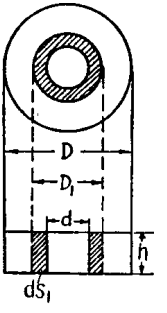

图 2.1　磁心分层磁化

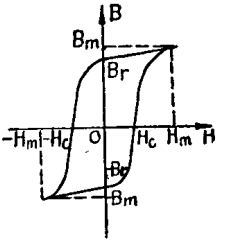

图 2.2　矩形磁滞回线

多孔磁心的工作原理，通常是根据“分层磁化”原理来解释的，这个原理简述如下。

为了说明简单，我们用图2.1的单孔磁心来分析。图2.2是磁心的磁滞回线

图中，D——磁心外径，d——磁心内孔直径

h——磁心高度

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com