

清 华 大 学

硕士学位论文摘要汇编

1 9 8 5

第三分册

电力系统动态等效及励磁系统自适应控制的研究

电力系统自动化专业研究生 戴 彬 指导教师 王世纓 沈善德

随着各学科的互相渗透,控制理论越来越多地用于电力系统中。

国外在自适应励磁方面已有一些研究和试验:

第一类是参考模型自适应系统,它是以一参考模型来表达对系统的动态要求,在同一输入下,比较模型与被控系统的输出,由输出误差探纵自适应器,来改变调节器参数,达到控制系统的目的。这一类系统适合于大型发电机组和核电厂。

第二类是随机自适应控制系统,它是由计算机来充当辨认器,当辨认出系统结构、运行方式后由控制器计算增益值,再调节参数,达到自适应控制。由于计算机速度和辨认法的限制,还不能做到完全实时控制,因此有了“查表自适应控制”,将不同状况下的控制增益离线计算好存入计算机内存中。

国内在自适应励磁控制方面还处于刚刚开始研究阶段。本文在动态等效方面和自适应励磁方面做了一些工作。

电力系统的动态等效是把一个三机系统经随机动态估计法等效为一个具有可变电抗和功角的单机无穷大系统,发电机用 Heffron 模型。这是为多机系统励磁器的设计所做的一个尝试。

在等效模型的基础上,用特征根法进行了 PSS 自适应参数的选择,作为对自适应效果的一个校核。由计算结果得出自适应参考的必要性。

由 Z-80 单板机、ADC 模数转换器、出口电路构成自适应装置,调节器则由常规励磁加上 Pss 装置组成,自适应控制采用离线计算存表,在线辨认查表的方式,网络结构选用单机经双回线路接无穷大系统。

由于单板机内存少,其计算功能较弱,所以采用非常数模型法辨认,用系统的动态响应来辨认。辨认量是三维:

$$Z = [Z_1 Z_2 Z_3]^T$$

Z_1 ——用来辨识正常运行和故障状态,当发电机功率和机端电压同时下降时判为故障状态;

Z_2 ——用来辨识网络结构,不同的网络结构 X_e 应有不同的脉冲响应;

Z_3 ——运行负荷的判定,直接测定 P 、 Q 。

为简化实验工作量,并考虑到 Pss 主要是改善系统动态稳定性,在暂态稳定中不起主要作用;且故障时间极短,单板机速度有限,当辨识器输出信号后能起作用的时间也很短(0.1"左右),所以,辨认量不考虑 Z_1 。由于网络结构只分了单线运行及双线两种, Z_2 可由线路开关量来判别。

将以上方案由硬件及软件实现, 自适应器工作性能良好, 运作正确。

将该自适应装置接入动模试验室中, 分别做了动态稳定试验、暂态稳定试验, 试验结果如下:

1. 单线运行时, $P = 1.0\text{kw}$, $\Delta P = 0.5\text{kw}$

(a) 不加 PSS。稳定。振荡模减很慢。

(b) 加 PSS, 相应于 $P = 2.0\text{kw}$ 时的增益。稳定。振荡时间较(a) 为短, 振幅在第五个周波减较(a) 快。

(c) 加 PSS, 相应于双线 $P = 2.5\text{kw}$ 时的增益。稳定。动态过程介于(a)、(b) 之间。

(d) 加 PSS, 相应于 $P = 1.0\text{kw}$ 时的增益。稳定。振荡平息很快。

由试验结果及响应曲线可以看出自适应的效果还是很明显的。在单线运行, $P = 2.0\text{kw}$, 双线运行 $P = 2.5\text{kw}$ 及 $P = 3.5\text{kw}$ 的情况下, 都有相同的结果。

2. 单相接地短路(瞬时)

0"短路, 0.15"跳故障线路, 0.7"重合闸成功。由录波图可以看出虽 PSS 未能提高暂稳极限, 但整个暂态过程的稳定性却提高了, 这是因为以干扰下的稳定极限的提高为暂稳提供了有利条件。

结论:

本文提出的多机系统经随机动态估计法的等效是设计励磁控制器的一种可行途径。

由特征根法计算的 PSS 自适应参考, 通过动稳、暂稳计算, 说明了自适应的必要性。

用 Z—80、ADC、出口电路组成的自适应装置性能良好、动作正确。

将此装置用于动模系统, 通过传输功率试验, 动稳暂稳试验, 说明了自适应控制的可行性和必要性。

答辩日期 1985 年 6 月 12 日

用于输电网优化规划的功率费用法和“0—1”选线法

电力系统及其自动化专业研究生 周贵安 指导教师 黄 眉 韩英铎

输电网规划的任务是选择一组所需费用最少的新架线路, 形成输电网的扩展方案, 消除初始网中由于负荷和电源的增长而造成的过载现象。这在数学上是一个较难解决的大规模非线性整数规划问题。以往的方法基本上是对问题作线性化处理, 系统潮流不满足直流潮流方程的约束, 计算精度较差, 形成方案的效率较低。

本文利用有功功率在直流潮流方程中对电压相角的可选加性质, 选取新线功率作待求变量, 将新线导纳(或阻抗)作为相应的导出变量, 用端口转移阻抗直接表示新线和过载线之间的潮流关系, 从而建立了功率费用法、导纳费用法等具有线性约束条件、满

足但不显含直流潮流方程的输电规划优化方法。这些方法物理意义清楚,表述简洁,求解过程十分简单,而且精度较高。

功率费用法和导纳费用法均假设线路参数可连续变化,前者适用于投资费用可表示为新增输电容量的线性函数的情况,后者适用于投资费用可表示为新线导纳的线性函数的情况,两者都可求得新线导纳的最优“分数”解。根据这种分数解可大致确定应架哪些、架多少回线路,从而有效减小了整数规划方法的解题范围。和以往的方法相比,这两种方法计算精度要高,提供的信息较多,计算量和内存量都很小。

本文提出的“0—1”选线法既充分利用了“0—1”隐枚举法解题迅速的优点,又能使潮流满足直流潮流方程的约束,精度较高。它和功率费用法(或导纳费用法)配合使用,能有效求解复杂电网的规划问题,花费很少的计算时间就可形成若干相当好的可行方案。这不仅能大量减轻规划人员的劳动强度,提高工作效率,而且大大增加了方案选择的范围,增多了获得更好方案的机会。计算实例表明了上述诸方法的功能。

此外,本文还发展了几种为确定方案进行附加计算的方法,这些方法分别具有调整电源出力以减轻线路过载程度,确定待选线路、评价网络输电能力和可靠性的功能,为形成和评价方案提供了更多定量的指导信息。

包括上述方法的计算机程序已用 FORTRAN—77 语言编制,和已有的交流潮流、动稳定等常规计算程序组成了一个功能较全的输电规划程序包,并已交有关设计部门试用。

答辩日期: 1985 年 6 月 14 日

包含水电机组的互联发电系统可靠性研究

电力系统及其自动化专业研究生 延发龙 指导教师 孙绍先 郭永基

发展可靠性理论和探求更有效的可靠性分析方法,这是电力系统的发展和电力系统可靠性研究的深入的必然要求。在我国近几年的电力系统可靠性实践中,一个比较突出的问题就是:如何根据我国的具体情况、应用和发展电力系统可靠性的理论和方法。这些问题已经引起了人们的关注。

元件(系统)停运表串联合的概念和方法的提出,是对传统的离散状态分析法的发展。它使得许多运用离散状态分析进行的可靠性分析大为简化。但是,在过去的研究中,由于没有考虑一般多状态元件(主要是非频率平衡元件)的情况,因而在一定程度上限制了其应用范围。随着电力系统的发展和可靠性研究的深入,多状态元件模型愈来愈多地被采用。本论文研究、发展和应用了元件停运表串并联结合的思想和方法。从有关基本概念出发,推导了适用于一般多状态元件(包括频率平衡和非频率平衡元件)的累积频率计算公式。在此基础上,重新推证了元件串并联的有关公式,从而扩展了串并联方法的适用范围。讨论了并联系统减少元件时,修正系统停运表的方法,并且提出了

元件并联结合逆问题的概念,改进求解计算方法。与以前的相应方法比较,本论文的方法物理意义明确,便于应用,且能节省计算时间。

水电机组是一种最典型的能量受限机组,其本身有许多特点,且在系统运行过程中常担任一些特殊功能。这些都使得水电机组对系统的可靠性有特殊影响。在我国的许多电力系统中,水电机组往往占有较大的比重。因此,研究能够反映水电机组特殊影响的可靠性分析方法是很有意义的。本论文在分析水电机组特征的基础上,研究了水电机组在(只承担基荷、只承担峰荷、部分承担基荷和部分承担峰荷)三种典型运行方式下,考虑其水能限制等影响的可靠性分析方法。所研究的方法在计算中应用了元件并联结合的方法;能够较好地反映水电机组的主要特征;能够计算多种可靠性指标(包括频率指标);物理意义明确,计算简单、便于应用。

应用在串并联和水电机组两个方面的研究成果,同时考虑到我国的一些具体情况,本论文建立了多区域互联发电系统可靠性的分析方法和相应的计算机程序。所建立的方法和程序以系统和元件的停运表及其结合运算为基础,考虑了水电机组水能限制等特征对系统可靠性的影响。

本论文分别对 IEEE—RTS 和 1983 年的华中互联电力系统进行了计算分析。初步证明了本论文的分析方法和计算机程序的合理性和正确性;表明本论文的方法和程序具有简便、灵活和实用的特点,便于在多区域互联发电系统的规划设计中进行发展方案的比较和可靠性评价,且能够较好地适应我国许多电力系统水电比重较大的特点。

本论文的研究表明:将电力系统互联运行可以获得较大的(技术和经济)效益。运用量化的可靠性方法,可以对这种效益作出合理的和定量的评价,可以定量地对不同的系统发展方案进行比较,从而为系统的发展规划提供合理的和定量的决策依据。

研究还表明:在有水能限制的情况下,水电机组的运行方式对系统的可靠性有较大影响。水电机组承担峰荷可以提高系统的运行可靠性。

答辩日期:一九八五年六月十四日

冲击截波测量的数字仿真及误差分析

高电压工程专业研究生 王建强 指导教师 张仁豫 戚庆成

研究电力设备在冲击高电压下的绝缘特性,应尽可能测准试验电压的幅值和波形。

而现行的国际高电压试验标准和我国国标对冲击截波测量准确度只规定了幅值误差的允许范围,对波形误差并未提出明确要求。此外,为了保证测量系统的准确度,试验标准以响应时间 T 作为主要衡量参数。大量研究已经表明,对大多数振荡型测量系统,试验标准对响应时间的要求并不足以保证截波幅值测量准确度。

以往国内外研究上述问题时所采取的主要方法是将测量系统简化成集中参数模型进

行分析,并着重研究截波幅值测量误差,而对波形误差却很少有文章加以深入讨论。

根据目前研究状况,本文采取计算机数字仿真及试验研究的方法,分析测量系统方波响应参数与截波测量误差的关系,其中包括幅值误差、截断时间误差和过零系数误差,以期找出影响截波测量的主要响应参数,并探讨保证截波幅值与波形测量准确度的条件。

针对截波具有幅值高(几百万伏)、持续时间短(零点几到几微秒)的特点,本文将测量系统看作整体,采取了以分布参数电路为主的计算模型,即高压引线按均匀无损线、分压器按多节链型电路处理。同时,也与集中参数简化模型进行比较,以期对两种模型作出一定评价。

在算法上,本文引进了快速付立叶变换作为数字仿真手段,并将时域行波理论推广到频域,简化了数值计算程序,加快了运算速度,加强了程序的通用性,解决了高压引线末端接有高阶随时间或频率率化的阻抗时所带来的计算困难。此外,根据频域算法的固有特点,避免了时域数值计算中所出现的误差累积效应,因而,算法具有较高的计算准确度。

通过对两种模型及不同参数的测量系统进行大量计算,本文认为,集中参数简化模型具备实际测量系统的主要物理特性,能够反映截波测量的基本规律,只是用来确定幅值误差不够精确。分布参数模型能更真实地反映测量系统实际特性,因而能用来较准确地分析和研究截波幅值与波形的测量误差。

结从计算果还可看出,一般测量系统均应将方波响应拟合成等效波形来确定响应参数,其中等效波形的上升时间 T_{fe} 和过冲 δ_e 为决定测量误差的主要响应参数,反映高频分量的频率比 k_f 为影响幅值误差的附加参数。由 T_{fe} 、 δ_e 和 k_f 所组成的一套响应参数可用于正确估计截波幅值与波形的测量误差,由此提出了保证截波测量准确度的条件。对幅值误差,考虑了频率比影响后的修正公式为

$$u_{corr} = \begin{cases} u_{om} + 0.66 \frac{T_{fe}}{T_{c2}}, & 0 < \frac{T_{fe}}{T_{c2}} \leq 0.12 \\ u_{om} + 0.66 \frac{T_{fe}}{T_{c2}} - \left(3.46 \frac{T_{fe}}{T_{c2}} - 0.415 \right) \delta_e, & 0.12 < \frac{T_{fe}}{T_{c2}} \leq 0.2 \end{cases}$$

式中 u_{om} : 截波输出电压幅值

T_{c2} : 截波输出电压截断时间

截断时间测量误差的修正公式为

$$T_{corr} = \begin{cases} T_{c2}, & 0 < \frac{T_{fe}}{T_{c2}} \leq 0.12 \\ \frac{T_{c2}}{1 - 0.66 T_{fe}/T_{c2}}, & 0.12 < \frac{T_{fe}}{T_{c2}} \leq 0.2 \end{cases}$$

过零系数测量误差仅与过冲 δ_e 以及上升时间 T_{fe} 有关,和频率比无关。所提供的 $\delta_e \sim T_{fe}$ 工作区可保证过零系数测量准确度。

本文最后对上述理论分析进行了试验验证, 其结果两者基本相符。

答辩日期: 1985 年 6 月 5 日

真空开关开断电感性电流时的操作过电压的计算机模拟

高电压工程专业研究生 刘卫东 指导教师 钱家骊

真空开关是一种较为新型的开关设备, 由于它的体积小、重量轻、安全、使用寿命长等优点, 正在得到越来越多的使用。真空开关开断电动机、变压器等电感性负载时, 由于它的截流和较强的高频熄弧能力, 也导致了在某些场合下出现严重的操作过电压, 造成负载绝缘损坏事故。研究解决真空开关开断电感性电流时的操作过电压问题是一项迫切的任务。

真空开关开断电感性电流时能够出现截流、多次重燃和三相同步开断三种形式的过电压。过电压的出现与真空开关的特性和具体的电路条件有关, 由于真空开关开断过程中触头分断相角、截流、触头间隙击穿和电流高频过零熄弧是随机的, 所以操作过电压的出现也是随机的。

过去对真空开关操过电压问题的研究主要采用试验的方法。试验研究对于认识真空开关操作过电压产生的机理、获得理论分析和计算的试验依据是必不可少的, 通过试验也可以直接观测操作过电压的大小。然而, 试验研究必然要受各方面条件的限制, 工作量比较大, 具有一定的局限性。为此人们还提出了一些估算真空开关操作过电压的方法。估算方法分析问题比较简单, 但是由于真空开关开断电感性电流的过程比较复杂, 估算过程中要做比较多的近似和假设, 不能得到操作过电压出现的概率分布, 误差也较大。

本文建立了真空开关开断电感性电流时的操作过电压的计算机模拟计算方法。给定真空开关和电路条件, 在较简单的实验室试验基础上, 借助于计算机计算, 可以方便、灵活而较为准确地分析计算真空开关开断电感性电流时的操作过电压。

在开断电感性电流的过程中, 真空开关的作用可概括为与截流、触头间隙击穿和电流高频过零熄弧有关的三个随机特性, 即: 截流特性, 介质强度特性和高频熄弧特性。作者通过振荡回路试验可以清楚而有效地观测一给定真空接触器开断电感性电流时的多次重燃过程, 对多次重燃现象有了更为清楚的认识, 获得了该真空接触器的三个随机特性, 考虑了较多因素对真空开关随机特性的影响。

鉴于真空开关开断电感性电流产生操作过电压具有随机性, 本文在试验获得真空接触器的随机特性的基础上, 利用蒙特卡罗模拟法在计算机上模拟了真空接触器开断电感性电流的过程, 并统计了操作过电压的分布。

模拟真空开关开断电感性电流产生操作过电压的过程, 其关键是模拟多次重燃过

程。作者在相同的条件下分别进行了试验和模拟计算,比较大量多次重燃过程的试验和计算结果,两者间的良好吻合说明:试验得到的真空接触器的随机特性是合理的,在此基础上进行的操作过电压的模拟计算是有效的。

借助于计算机模拟计算,本文分析了真空开关和负载间的电缆的长度对操作过电压的影响。电缆长度主要影响电弧重燃后电路中高频分量的频率和衰减,不同高频分量频率和衰减下的模拟计算结果表明:高频分量频率越小,衰减越大,操作过电压则越低;而当频率较大时,频率变化对操作过电压的影响趋于饱和。由此得出定性结论:存在一个危险的电缆长度,在这个电缆长度附近操作过电压最大。

本文在真空开关开断电感性电流时的操作过电压的模拟计算方面进行了初步性的工作,在本文工作基础上,通过进一步的工作,各种情况下真空开关开断电感性电流的操作过电压的分析、计算问题是可以解决的。

答辩日期:一九八五年六月十一日

微通道板测量毫微秒 X-射线技术的研究

高电压工程专业研究生 刘生义 指导教师 杨津基

研究等离子体焦点发射毫微秒 X-射线脉冲,不仅有助于了解 X-射线的产生机制,而且对于认识焦点的聚焦过程也是有用的。本文研制了全部微通道板探测器,对测量方法本身进行了研究,并利用它测量毫微秒 X-射线时间分辨的图象,获得了初步结果。

微通道板必须工作在清洁的高真空(真空度 $\leq 10^{-6}$ mmHg柱)中。本文比较了动态真空和静态真空两种方案,为微通道板设计了无油机组的动态真空系统。解决了铍片的封接、引出电极的耐高电压强度和安装工艺等问题。真空系统的试验和运行表明,真空度一般好于 1.2×10^{-7} mmHg,四个引出电极能承受 8kv 电压。

应用传输线放电型脉冲发生器的原理,设计了微通道板所需的毫微秒脉冲电源。对氢闸流管和三电极火花间隙两种快速开关进行了比较研究。利用后者作为脉冲发生器的快速开关,能产生脉宽在 10~50ns 范围内可调,幅值为 -7kv 的高压毫微秒脉冲。脉冲的波形和幅值有较好的稳定性。

由同步信号、时延装置、毫微秒脉冲电源以及微通道板组成了可调时延的同步回路测量系统。利用焦点装置放电时 dI/dt 波头作为同步信号,使焦点装置与测量系统组成了闭合同步回路,减小了同步的分散性。对于同步回路的各个触发环节,着重研究解决了前级触发脉冲的上升陡度、脉冲幅值的稳定性以及各个触发环节本身的工作状态稳定等问题,从而将整个同步回路的总分散性控制在 ≤ 57 ns 的范围内。微通道板测量系统与焦点装置可以同步运行并能配作相对延迟调节。

为了确定 X-射线图象的拍摄时刻,以焦点装置的电压波形幅值所在的时刻作为

时间参考点 ($t=0$)，同时测量微通道板的脉冲电压波形，用它们的相对时间来确定拍摄时刻。我们曾将微通道板系统用到 DPF-100 等离子体焦点装置上测量 X-射线，获得了相对聚焦阶段不同时刻 $t=-161\text{ns}\sim+56\text{ns}$ 范围内的 X-射线图象，曝光时间为 20ns ，显示了焦点的不同状态。这个结果表明所研制的微通道板探测器，及其同步回路测量系统是比较成功的，这种测量 X-射线时空分辨图象的技术，为深入研究毫微秒 X-射线的发射过程提供了重要手段。

答辩日期：一九八五年六月十三日

横向磁场中旋转电弧的研究

高电压工程专业研究生 张力超 指导教师 吉嘉琴

本文对磁旋弧式断路器中磁场与电弧相互作用的问题进行了较为深入的研究。本文首先介绍了有关横向磁场与电弧相互作用机理的研究概况，分析了在强磁场下对大电流电弧进行理论和实验研究所遇到的主要困难。为了进一步了解磁旋弧式断路器的工作情况，作者对 1atm 空气中的磁旋弧式模型开断装置中的交流电弧进行了实验研究。在 $0\sim 470\text{mT}$ 的直流磁场下，对交流电流为 $200\sim 1300\text{A}$ 的磁旋转电弧进行了电弧电压与电流波形的测量和电弧运动形态的测量。实验研究表明，电弧在横向磁场的作用下旋转运动；在电极表面上，电弧弧根的运动是跳跃式移动，在弧根跳动的间隔，电弧被弯曲、拉长，因此电弧的运动形态和电弧长度都是不断变化的，电弧长度的变化将直接影响电弧电压的变化。实验指出，电弧不仅在电极半径方向被弯曲、拉长，而且在电极轴向也被弯曲、拉长，因此电弧长度远大于电极间隙的垂直距离。实验研究还表明，增加磁场，电弧电压和电弧长度增加，电弧电压的增加主要是因为电弧长度的增加。

在横向磁场的作用下，旋转电弧与周围气体产生相对运动。因为电弧运动所产生的对流传热影响电弧的温度分布，所以电弧的流场分布对能量平衡的作用非常重要。但是由于电弧方程的求解非常困难，计算电弧的温度分布和流场分布难以实现。因此，本文从物理概念出发，在二维电弧通道模型的基础上，假定电弧截面上的温度分布状是形类似椭圆的扁状温度分布，并通过一个待求的温度分布形状系数 μ 来确定电弧的等温线分布。根据所假定的温度分布，在温度分布最大值点的能量平衡基础上，建立了磁旋转交流电弧动态过程的简化计算模型，并根据简化计算模型，计算出在不同磁场和不同电流下的电弧电导，从而计算出交流电弧的电压、电位梯度等参数。计算结果表明，计算得到的电弧电位梯度与实验数据较为接近。

本文通过分析和研究指出，增加交流电弧大电流期间的磁场，电弧电压和电弧电位梯度提高，因而增加了电弧的输入能量，使消弧室中集聚的能量增加，不利于交流电流过零时电弧的熄灭；增加交流电弧电流过零期间的磁场，则能够增强电流过零期间的对

流散热,使电弧的零区电阻增大,残余电导减小,有利于交流电流过零时电弧的熄灭。因此在磁旋弧式断路器的设计中,应该减小在交流大电流期间的磁场,而增大在交流电流过零期间的磁场,提高断路器的熄弧能力。所以在 SF₆ 磁旋弧式灭弧装置中,采用交流移相磁场是必要的和合理的。

答辩日期: 1985 年 6 月 22 日

多绕组变压器线圈的波计算过程

理论电工专业研究生 王赞基 指导教师 肖达川

大型变压器线圈的波过程计算对于变压器的绝缘设计具有重要的实际意义。变压器制造厂正力图使之能逐步代替制造电磁模型以及变压器的冲击测量。本文综述了国内外三十年来利用计算机分析变压器波过程方面的主要工作,分析了多线圈变压器特别是自耦变压器线圈波过程的特点,提出了一些改进的计算方法。

考虑到集中参数的等值电路与冲击条件下的变压器线圈分布参数网络尽可能等效以及工程上对计算的要求,同时也考虑各种求解电路方程的方法对电路规模的限制,本文对比较关心的线圈(例如高压、中压线圈等)采取以饼式线圈的一对线饼为一个单元、其余线圈(例如低压线圈)以几个饼或十几个饼为一个单元建立等值电路。引线或连线在必要时可以做为单独的单元考虑。单元总数可达 100 左右。

通过分析和计算比较,本文认为对于考虑铁芯影响的多线圈变压器的“漏电感”计算可以采用两种方式:一种是将单位匝电感阵所有元素减去该阵中最小元素,然后再根据各单元实际匝数求得支路电感阵;另一种是直接利用低铁芯导磁率(比如 μ_r 取 30~50)下所计算的铁芯电感。两者对于波过程的计算结果几乎没有差别。对于大型变压器的波过程计算,对于铁轭与线圈端部距离比较小的变压器,采用有铁轭的计算铁芯电感的模型要好些。

本文认为对于大型变压器的波过程计算,电容参数的计算精度对波过程计算有更大的影响。对于采用分区结构的线圈,由于各式线饼的纵向电容计算公式不一样,比如纠结式线饼的纵向电容主要取决于匝间几何电容,连续式线饼的纵向电容主要取决于饼间几何电容,等等,因此,由于各种电气参数取值不准确可能造成各分区的纵向电容计算误差不一样,因而影响整个线圈的冲击电压初始分布。本文提出一种计算相邻线圈相对或斜对两单元之间的部分电容的方法,从而改善线圈间电容支路的结构。这种方法比用测量或按同轴圆柱电极计算两线圈之间总电容的方法要准确些,对波过程计算结果有一定改善。

根据变压器线圈等值电路的特点,本文提出一种直接生成节点电压方程式系数矩阵及方程右边项的方法。对于大型变压器线圈等值网络,该法比用关联矩阵生成系数矩阵的方法大大节省计算机内存及计算时间。

本文采用求方程系数矩阵广的义特征值求解电路方程。通过在各次谐波解表达式中加一衰减因子 $e^{-\delta k}$ 来考虑涡流损耗。选取 $\delta k/w_k = aw_k + b$ 。参照国外文献的经验曲线以及本文的计算经验,对于大型变压器,可取 $a \approx 0.06 \times 10^{-6}$, $b = 0.02 \sim 0.025$ 。

若干台实际产品变压器的波过程计算与冲击测量结果进行比较。结果表明本文的方法及所编制的程序具有一定的工程应用价值。

答辩日期 1985 年 8 月 28 日

用 LS 和 LMS 时序混合自适应噪声 消除法作胎儿心电信号处理

生物医学仪器及工程专业研究生 韦大同 指导教师 周礼采

在围产期监护中,从利用无损方法获得的腹部心电信号中提取胎儿的心电波形和胎儿心率等信息,具有重要的临床意义。腹部心电信号具有较强的非平稳特点,去除其中的母亲心电干扰是长期以来人们一直在研究的问题。自适应算法具有一定的跟踪时变非平稳特性的能力,其中结构最简单。运算量最小的 LMS 算法在提取胎儿心电信号的过程中已获得一定成功。但是, LMS 算法是在均方意义上近似最优,放敛速度慢,有较大的算法噪声,迭代步长 μ 的选择依赖于输入信号的统计特性,选取不合适可能因母亲心电去除不净而出现“伪胎儿心电波形”,也可能在母亲心电的 QRS 波群与胎儿心电的 QRS 波群相重叠时造成胎儿 QRS 波的失真以至丢失。本文通过理论分析和实验比较,进一步讨论了 LMS 及其主要的几种改进算法的性能和存在问题;研究了在 FECD 处理中收敛速度与失调噪声的矛盾;指出阶次过低或者延迟数选取不当也会出现“伪胎儿心电信号”,加窗的 LMS 算法对处理质量的改善具有随机不定性;讨论了 IIR 结构的 LMS 算法在 FECD 处理中出现的问题。

本文首次将近年来得到迅速发展的准确 LS 快速迭代算法——LSL 噪声消除算法用于 FECD 的处理中。从迭代公式、最优判据和设计的多种实验,仔细比较了 LSL 和 LMS 算法的收敛速度和跟踪性能,分析了阶次、指数遗忘系数 λ 对算法性能的影响和原因。从中可以看到,LSL 算法比 LMS 算法有着明显的优越性,能够在一定程度上克服收敛速度与失调噪声的矛盾,参数选取的范围也比较宽。均方误差的学习曲线和参数的估计及时变跟踪实验表明,LSL 算法在用于时变非平稳信号的处理过程中时,指数遗忘系数 λ 越小,参数估计的偏差越大,跟踪速度越快,有可能导致自适应滤波器输出信号的失真。本文指出,其原因就在于引入了 λ 而使输入信号的时间统计特性的估计成为有偏估计,使本来不相关的主输入与参考输入成为相互有关。由此进一步分析了 LSL 算法直接用于 FECD 处理时出现的非平稳模型误差,提出了 LS 和 LMS 时序混合自适应噪声消除系统。

通过分段,降低了对自适应算法的跟踪速度的要求,使指数遗忘系数 λ 的取值尽可

• 3—10 •

能接近于 1, 减小了失调噪声, 在很大程度上区分了不同的统计特性, 克服了非平稳模型误差。在母亲的 QRS 波段采用 LS 算法来解决 FECG 处理中的主要矛盾——去除母亲心电干扰, 提高去噪质量; 在其余部分采用失调噪声小、收敛速度慢而运算量小的 LMS 算法, 大大提高了运算效率, 使得运用高质量的 LS 准确算法的运算量降到传统的 LMS 算法的水平, 可望在不久的将来得到实时运用。

根据对腹部心电信号的具体分析, 本文提出: 用信噪比的平均改善(平均增益)来定量比较不同的算法和参数 FECG 的处理质量, 具有简单、实用的优点, 是一种比较客观的指标。通过大量的参数比较实验, 本文分析了不同的阶次、延迟和指数遗忘系数 λ 对处理质量的影响及其原因。提出了自适应 lattice 滤波器的一种新的自动定阶算法, 不需要附加的乘法就可根据对波形分滤率的要求选取合理的阶次, 提高了 LS 滤波的效率, 减小了对人的依赖。用新的观点解释了选取延迟数的必要性, 提出了通过互相关最大值寻求合适的延迟数的经验公式。在附录中, 推导了从 lattice 结构中的反射系数求得自适应最优维纳滤波器权系数的算法。通过硬件接口设计和软件调试, 我们在 Cromemco 系统 III 上实现了从 A/D 转换最终输出胎儿心电波形和胎儿心率的 LS 和 LMS 时序混合自适应胎儿心电处理系统。用该系统对从临床获得的二十多例腹部心电信号进行处理, 信噪比平均可提高 20~40 倍(相当于 13~16dB) 胎心率的正确检出率在 92% 以上。这就为今后的实时处理, 向临床提供高质量的胎儿心电图展示了美好的前景。

答辩日期: 1985 年 3 月 9 日

微血管通透性测量方法的研究——微处理 机控制的电视图象测量系统

生物医学仪器及工程专业研究生 韩可都 指导教师 宗孔德 金其莹

研究微血管通透性, 在基础医学和临床医学中具有重要意义。微血管通透性是影响机体物质交换的重要因素之一, 对于细胞、组织的营养供给、代谢产物的排泄, 维持内环境相对稳定等都十分重要。不同脏器的微血管通透性不同, 研究阐明脏器通透性的特殊规律, 可以加深对种各基本生理过程和脏器特殊功能的认识。在临床上通透性的异常改变是常见的病理生理现象, 研究水肿、炎症、充血等基本病理过程以及各种致病因素下通透性的改变动态, 有利于进一步认识基本病理过程和发病机理, 指导临床抢救和治疗。

本文概括介绍了研究微血管通透性的常用方法及其优缺点。将放射性同位素、色素、荧光素等示踪标记物注入循环血液中, 通过测定不同时刻取出的组织标本中标记物的量, 可以得到标记物在血液中的浓度及其减少的速率, 在淋巴管中出现的时间和浓度

或者透至各器官组织中量的,对全身或各器官微血管通透性进行分析研究。应用显微镜或电镜进行观察,可以在组织和细胞水平上研究通透方式、通透部位以及通透范围等。而利用显微电视技术,还可以对标记物通透扩散过程进行动态观察和直接测量。通过整体和器官水平的研究,积累了大量资料,取得了一定的进展,但是不能了解通透部位和详细过程。在组织和细胞水平上进行的研究,许多发现可以进一步解释整体和器官的研究结果,特别是对通透扩散过程进行的直接测量分析,可以得到关于微血管通透性的更多信息。除了显微电视信号分析方法以外,在微血管水平上对液体交换和物质转运的定量测量方法,还有微阻塞方法(micro-occlusion method)和微电极方法等,在通透性研究中,显微电视信号分析方法显示出更大的优越性。

但是已有的显微电视信号分析方法,仅仅分析电视图象中一条扫描线上灰度的变化,用于微血管通透性的分析测量,不太全面,同时方法、设备比较复杂,未广泛应用。目前在微血管水平上的研究,许多还是半定量的,迫切需要准确、简便的定量测量手段。显微电视图象的分析测量方法,对进一步解决微血管通透性的定量测量问题是一个很有意义的课题。

作者根据医学科研单位提出的要求以及透过程的信号特点,为描述标记物通透的范围、浓度及数量,确定以面积和灰度作为测量的基本量,并且进一步提出测量面积——灰度积分,研制了微处理机控制的电视图象测量装置。由于应用数字图象分析方法实现电视图象的面积测量,成本高、速度慢,而模拟信号分析方法没有记忆功能,不能将测量时图象分割的结果“冻结”显示,因此作者在装置中设计采用模拟电路与数字电路相结合以及局部图象分析,以缩短测量时间,提供记忆功能。并且应用微处理机控制:软件与硬件相结合,实现各种控制和测量,不仅成本低,操作简便,而且便于进一步增加功能、扩大应用。

本文介绍了这一装置的功能、硬件结构、主要软件程序和工作原理。该装置由视频模拟电路、窗口发生电路、图象显示存贮电路、字符显示存贮电路、逻辑控制电路以及CPU、PIO、D/A转换器等硬件电路组成。在微处理机软件程序的管理下,可以进行阈值电平的调整,测量部位和范围的选择,实现电视图象的面积、灰度、面积——灰度积分和距离的测量。

作者分析了测量面积时应用模拟信号比较方法做电视图象阈值分割,电视图象中噪声干扰的影响。在信噪比较低时,噪声使简单阈值分割产生较大失误率。针对这一问题,作者提出用计数检测方法对多次比较采样结果进行累计判断,减小分割误差,并且应用计算机进行了模拟图形的阈值分割实验。在测量装置中,实现了用计数检测方法做图象的阈值分割,测量面积。这种方法计算工作量小,速度快,而且便于实现,效果也比较好。

经过对模拟图形进行的测量校验和对实际通透信号进行的初步测量研究,证明该装置所具备的测量功能为应用显微电视方法研究微血管通透性提供了定量测量手段,可以利用这一显微电视测量系统进一步开展微血管通透性的定量分析和研究。

答辩日期:一九八五年六月十五日

ADPCM 编译码器的硬件实现与计算机模拟

通信与电子系统专业研究生 俞 捷 指导教师 冯重熙

由于 64kb/s PCM 的数字通信在传输中所占频带较宽, 目前压缩数码率的研究受到国内外的广泛重视。自适应差值脉码调制(ADPCM)就是应用于压缩数码率的一种编码技术。国际电报电话咨询委员会(CCITT)已将 32kb/S ADPCM 的算法标准化为 G.721 建议。

本文概述了 ADPCM 发展的历史及其现状; 探讨了用 Intel—2920 模拟信号处理器实现 ADPCM 编译码器, 对该编译码器的算法选择, 考虑了 2920 芯片的计算能力, 并使之尽可能得到充分利用。在实验中, 采样率为 6.5KHZ, 相应数码率为 26kb/S。将以下几种算法写入 2920 芯片, 进行了客观信噪比的测试和主观试听:

①采用杰恩特自适应均匀量化器, 分别结合一阶、二阶、四阶固定极点预测器。阶距 Δ 的自适应方程为

$$\Delta_{j+1} = \Delta_j \cdot M_j$$

M_j 为 j 时刻的乘子。

②采用带衰减因子的杰恩特自适应均匀量化器, 分别结合四阶固定极点预测器、四阶固定极点加一阶自适应零点预测器。 Δ 的自适应方程为

$$\Delta_{j+1} = (a + b\Delta_j) \cdot M_j$$

其中 $0 < a < b < 1$ 。 b 决定了衰减速度, 与古德曼提出的指数衰减相比, 性能有所下降, 但易于实现。

实验结果表明, 预测阶数越高, 信噪比越高, 四阶固定极点预测的 ADPCM 编译码器测试结果已接近满足 CCITT 的 G712 标准; 加一个零点自适应略微改善了大信号时的信噪比; 由于 Δ 的初值不一致使收端产生错误, 这与误码引起的错误是同一性质, 在实验中发现第②类算法能成功地抵制这一影响。对第②类算法进行了主观试听试验, 得到了满意的话音质量。

使用 2920 芯片目前还无法实现 CCITT 建议的 32kb/s ADPCM 标准算法, 在本论文中对该标准算法进行了初步的理论分析, 并给出了计算机模拟的结果。

最后, 本论文对带固定预测器及杰恩特量化器的 ADPCM 系统的量化噪声和收敛问题作了一些讨论。

答辩日期 1985 年 2 月 1 日

一种可变参开关电容网络的设计实现

通信与电子系统专业研究生 左 宏 指导教师 尹达衡

近年来, 半导体集成电路工艺与技术水平飞速发展, 各种各样的数字和模拟集成电

路单片被制造出来, 因而使电子仪器、设备的体积、功耗、稳定性、可靠性等各个方面都有相当的改进。关系半导体集成电路技术发展的课题可归结为两个方面: 一方面是进一步增加集成度、减小功耗、提高成品率等; 另一方面是发挥集成电路的特点, 设计新的电路形式, 反过来促进集成电路的发展。七十年代后期发展起来的开关电容电路就是利用 MOS 工艺技术制做出的一种新的模拟电路形式。这种电路的特性由电容比决定, 因此在要求获得精度高、工艺简单的各种模拟电路方面, MOS 开关电容电路具有很大的吸引力。

为了发展我国的半导体集成电路技术, 电路工作者的一个任务就是研究更多适合于集成的电路形式。开关电容电路为电路工作者提供了这种可能。本文所研究讨论的一种可变参开关电容网络的分析、设计方法及集成电路实现就是这种实践。

本文共分两章。

第一章介绍一种开关电容电路的分析方法及为此编制的计算机程序。

首先介绍了目前比较流行的几种分析方法: 状态变量法, 节点法, 改进节点法和等效电路法, 并对其优劣做了简单讨论。

一般电路设计人员关心的是开关电容电路的频域特性。因此, 能够得到可适用于一般模拟电路分析程序, 又能比较简单地计算出开关电容电路的频域解的分析方法是等效电路法。本文是以 Knob 的分析方法为基础, 给出一种多端多相开关电容网络的等效电路分析法。

Knob 的等效电路分析法的基本思想是对于任意给定的端开关电容网络 S , 求出其电荷转够的 Z 矩阵关系为:

$$[q(z)] = \frac{1}{1-z^{-1}} [C(z)][U(z)]$$

对其进行 $Z-j\omega$ 域变换, ($Z=e^{j\omega}$), 则有:

$$[q(e^{j\omega})] = \frac{1}{1-e^{-j\omega}} [C(e^{j\omega})][U(e^{j\omega})]$$

寻找一个等效模拟网络 A , 其电流——电压关系为:

$$[I(j\omega)] = [Y(j\omega)][U(j\omega)]$$

那么在离散时间点上, 模拟网络 A 流进端口的电荷与开关电容网络 S 相同, 即应有:

$$[Y(j\omega)] = \frac{j\omega}{1-e^{-j\omega}} [C(e^{j\omega})]$$

由此得到等效电路的导纳矩阵。

这种分析方法的关键在于求出 $[C(z)]$ 矩阵。在此基础上, 本文给出在几个基本的电路结构和相位关系的约束条件下, 开关电容网络 $[C(z)]$ 矩阵形成方法。

这种分析方法也可以讨论开关存在 Switch on Resistor 时, $[C(z)]$ 矩阵的形式。

为此编制的计算机分析程序是在 JUPITER 通用电路分析程序上实现的。

本章最后用此程序对几个实用 MOS 开关电容电路进行了模拟计算, 其结果与所给指标基本吻合。

第二章介绍一种可变参开关电容网络的设计方法和实现。

在模拟集成电路中, 开关电容的主要作用是取代电阻。当抽样频率远远高于工作频率时, 等效电阻约为抽样周期与电容的比 $R = \frac{T}{C}$ 。通过改变抽样频率 f 或电容 C , 就可以改变等效电阻 R 的大小。但是, 改变抽样频率使时钟电路复杂, 改变开关电容 C 又要占用过多的芯片面积。我们采用几种不同的电容与开关相位的组合, 从开关电容上抽取电荷, 达到改变等效电阻的目的。这种方法只增加不多的几个时钟相位, 时钟电路并不复杂, 电容个数也不多, 就可以达到较大范围内改变等效电阻的目的。

用此方法, 我们设计了一个可变增益开关电容带通滤波器, 并用 NMOS 集成电路予以实现。

电路实验结果表明基本上达到了设计要求, 也与计算机模拟分析结果基本吻合。

在这一章的最后, 对开关存在 “Switch On” 电阻时, 电路特性发生的变化做了初步研究。

本课题的研究结果表明, 这种可变参开关电容网络的设计方法是可行的, 并可以用 MOS 集成电路工艺实现。所编制的开关电容电路的分析程序可以作为辅助分析手段。

答辩日期: 1985 年 3 月 19 日

基于统计方法的电子线路中心设计

通讯与电子系统专业研究生 徐殿武 指导教师 刘润生 范崇治

一、序 言

任何电子线路的元件值及工艺参数总不可避免地存在着公差及随机扰动, 从而引起性能指标的波动造成不合格品的出现。在大批量生产中, 合格品件数与产品总数之比为电路的生产合格率。电子线路中心设计所要解决的课题, 是要寻找一组具有最大生产合格率的电路标称值 (中心值), 因而具有实际的经济意义, 受到国内外的普遍重视。多年以来在 IEEE 每届电路和系统年会上都要做为一个专题进行研究。迄今为止的中心设计算法可以分为两大类, 一类称为几何方法, 一类称为统计模拟方法。其共同弱点可以说是计算量太大, 从而妨碍了中心设计在生产实际中的推广应用。本文构造的算法大幅度地降低了中心设计的计算量, 因而是很有意义的。

若设 n 维电路参数随机矢量为 $\underline{X}$, 其概率密度函数为 $f(\underline{X})$, 电路合格率可以表示为:

$$Y = \int \cdots \int_R f(\underline{X}) dx_1 \cdots dx_n,$$

其中 R 为电路可行域。引入测试函数:

$$Z(X) = \begin{cases} 1, & X \in R \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

则电路合格率的估计值为:

$$\hat{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z(X_i), \text{ 且 } V_{ar}(\hat{Y}) = \frac{Y(1-Y)}{N}$$

应用统计模拟方法做中心设计的过程主要包括以下步骤: 1. 在某个中心值 μ_k 处估计电路合格率 Y_k ; 2. 生成新的中心值 μ_{k+1} ; 3. 判敛。其计算量主要来源于 1. 和 2.。本文的工作主要集中于降低 1. 和 2. 的计算量。

二、控制变量方法的使用

控制变量法是降低统计结果方差的一种有效方法, 其原理如下: 若欲求

$\theta = \int_0^1 f(x)dx$, 引入函数 $\phi(x)$, 且 $\theta' = \int_0^1 \phi(x)dx$ 已知, 则:

$$\theta = \int_0^1 f(x)dx - \int_0^1 \phi(x)dx + \int_0^1 \phi(x)dx$$

其估计值:

$$\hat{\theta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \phi(x_i) + \theta' \triangleq t - t' + \theta'$$

若 $\sigma_t^2 \simeq \sigma_{t'}^2$, 则有: $V_{ar}(\hat{\theta}) \simeq 2\sigma_t^2(1 - \rho_{tt'})$, 其中 $\rho_{tt'}$ 是 t 与 t' 间的相关系数。则当 $\rho_{tt'} > 0.5$ 时有:

$V_{ar}(\hat{\theta}) < \sigma_t^2$, 即降低了统计结果的方差。当 θ' 已知或其计算量及方差均可忽略时称为具有理想性质的控制变量法。应用其于中心设计就要构造一个具有理想性质的控制变量模型电路, 再要使其同时具有通用性, 往往比较困难。因此本文着重分析了 θ' 计算量和方差均不可忽略的非理想情况, 指出在非理想情况下当 $\rho_{tt'} > 0.5$ 时, 同样可以收到降低模拟结果方差的效果。对两种情况我们都深入分析了其效率。针对直流非线性电路的中心设计, 我们应用原电路的线性化等效电路为控制变量模型电路, 收到了很好的效果。

三、均匀抽样称法

一般的中心设计算法中, 都是按 X 的概率密度函数 $f(X)$ 进行抽样, 本文提出的均匀抽样算法则是在电路零差域 R_T 内进行均匀抽样, 即:

$$Y \simeq \int_{a_1}^{b_1} \cdots \int_{a_n}^{b_n} Z(X) f(X) dx_1 \cdots dx_n$$

其中 b_i, a_i 是零差域 R_T 的边界值。则合格率估计值为:

$$\hat{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z(X_i) g(X_i), \text{ 其中; } g(X_i) = \prod_{i=1}^n (b_i - a_i) f(X_i),$$

这种抽样方法的优点在于: 1. 使中心移动的步长加大, 减少迭代次数。2. 使公共点的利用成为可能。这两点都可以大大降低计算量。而且由于公共点的使用在相邻两次合格率