

胡 征教授论文选

HU ZHENG JIAO SHOU
LUN WEN XUAN

電子工業出版社

胡 征教授论文选

电子工业出版社

1993

(京)新登字 055 号

内 容 提 要

本书选编了胡 征教授自 1978 年以来发表的学术论文 40 余篇。论文共分 5 部分: 非正弦正交函数及时域电磁学, 通信理论与技术, 矢量量化技术及其应用, 图像编码, 语音识别与合成。

本书可作为有关学科教学、科研的参考书。

胡 征教授论文选

责任编辑 叶德福 (特邀)

电子工业出版社出版(北京普惠北里)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

西安电子科技大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 15.875 字数 370 千字

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷 印数 1-400 册

ISBN 7-5053-2069-6/TP·533 定价: 25.00 元

序

通信技术是推动人类社会进步的动力之一，通信的水平是社会发展的标志。在当代，人们把通信和计算机这两大技术，作为信息社会结构中的基础结构，这说明，推动信息社会的形成和今后的发展，最重要的技术是通信和计算机以及两者的结合。因此，对通信理论的研究和技术的发展，理应受到高度的重视。

胡征教授是我国长期从事通信理论和技术研究，卓有成就的学者之一。在人民共和国刚刚成立之初，他毅然从美国回来，献身于祖国通信事业的建设。40多年来，在这个领域中，他辛勤耕耘，精心培育，大胆探索，深入求证，为国家培育了大批高层次人才，奉献出丰硕的成果。现在出版的这本《文选》，是他给我国通信事业的一份新的厚礼。

《文选》是从胡征教授1978年以来发表的80多篇论文中精选编成的。这是他10多年来率领他的学术梯队，在通信领域中研究成果的结晶。《文选》的内容丰富，包括：非正弦正交函数的应用、通信理论与技术、矢量量化技术、图像编码、语音识别与合成等，覆盖了新的通信理论和技术很宽的范围。这些研究工作及其成就，为我国的通信学科开拓了新的道路，填补了不少空白，起到了重要的促进和推动作用。从《文选》中我们看到：一位老科学家孜孜不倦的进取精神，一个学术集体的成长壮大。《文选》展示了开拓者的足迹，散发着鲜花的馨香。

我和胡征教授相识已经40多年，深知他的道德文章。看到《文选》，不胜喜悦，旧谊新情，促我欣然命笔，为之序。衷心希望胡征教授老当益壮，再谱新篇。

但愿人长久，鬓虽霜，又何妨。

中国电子学会理事长

孙俊人
1993.5.31

目 录

第一部分 非正弦正交函数及时域电磁学

1.1 时域电磁学	3
1.2 关于沃尔什函数的论战	11
1.3 NOVEL NANOSECOND PULSE GENERATORS	13
1.4 自适应多路增量调制技术——一种扩大通信容量的方法	16
1.5 构造正交变换的若干方法	23

第二部分 通信理论与技术

2.1 语音/数据综合传输系统性能分析	33
2.2 采用 DSI 技术的电路/分组混合交换系统性能分析	40
2.3 一种支持语音/数据综合的交换技术	47
2.4 回波抵消器中一种变步长自适应算法	52
2.5 一种新的不需要帧同步模数模加密方案	57
2.6 多种呼叫批到达多窗口排队模型	64
2.7 THE TIMED RECONFIGURATION OF VCPB SS - TDMA	72

第三部分 矢量量化技术及其应用

3.1 图像信号矢量量化器的设计和硬件实现	79
3.2 矢量量化在语音编码中的应用	85
3.3 图像信号 Walsh - Hadamard 变换域中的乘积码矢量量化	91
3.4 VQ 码书生成的一种快速算法	97
3.5 AN ALGORITHM FOR DESIGN OF FINITE - STATE VECTOR QUANTIZATION WITHOUT ERROR - INFINITE - PROPAGATION	100
3.6 NEW SCHEME FOR VECTOR QUANTIZATION OF SPEECH SIGNALS	106
3.7 映射矢量量化系统	109

第四部分 图像编码

4.1 第二代图像编码的兴起与发展	117
4.2 A NEW IMAGE CODING SCHEME BASED ON DIRECTIONAL FILTER AND VECTOR QUANTIZATION	126
4.3 A NEW HIGH COMPRESSION IMAGE CODING SCHEME	132
4.4 A HIGH COMPRESSION IMAGE CODING SCHEME BASED ON DECOMPOSITION AND EDGE MODEL	137
4.5 一种自适应的边缘检测算法	142
4.6 A NEW METHOD TO OBTAIN DIRECTIONAL IMAGES	146
4.7 低通图像的自适应混合矢量量化编码	151
4.8 运动补偿块匹配位移估值算法及其改进	156

4.9	序列图像编码中位移估值新算法——二维遗传优化算法	162
4.10	一种新的方向图像的获取与编码方法	168
4.11	A NEW IMAGE COMPRESSION METHOD BASED ON FRACTALS AND HUMAN VISUAL SYSTEM	174
第五部分 语音识别与合成		
5.1	一种应用矢量量化的语音合成新方法	183
5.2	矢量量化用于汉语孤立字语音识别	189
5.3	类声母类韵母概念应用于孤立汉字语音识别	194
5.4	MAIN-STATE HMM APPLIED TO CHINESE SYLLABLE RECOGNITION	201
5.5	XD-5220 汉语语音合成开发系统	204
5.6	论汉语语音系统的科学性	209
5.7	VOICE INPUT CHINESE TEXT EDITER	213
5.8	用于语音识别的神经网络研究	218
5.9	A NEW SELF-ORGANIZATION ALGORITHM OF FORMING A PHONEME MAP	226
5.10	INTRODUCING NEURAL PREDICTOR TO HIDDEN MARKOV MODEL FOR SPEECH RECOGNITION	231
5.11	HMM COMBINED WITH NEURAL PREDICTION MODEL FOR SPEECH RECOGNITION	237

第一部分

非正弦正交函数及时域电磁学

1.1 时域电磁学

[提要] 本文简要介绍近 20 年发展起来的时域电磁学。分六节：引言，波形的产生，时域度量技术，天线，时域特征分析和应用。从这些浅显易懂的介绍，可以看出时域电磁学所包含的主要内容、特点及其发展前景。

一、引言

从频率的观点去分析、认识和解决问题，是我们很熟习的方法，也是十分有用的方法。用时域法去观察、分析、认识和解决问题，对我们也并不陌生。例如，在脉冲技术里，我们讨论各种波形时，用的就是时域法。那末，时域电磁学（Time - Domain Electromagnetics）又有什么新鲜的东西值得介绍呢？是的，时域电磁学并不是陈旧的学问，它从开始发展到现在，还不过 20 年。它正处于方兴未艾的阶段。这是因为在纳秒脉冲技术，取样示波器和数字电子计算机大大前进以前，我们对微波网络、天线和电磁波散射等问题，不可能在时域里进行实验和计算。这里我们也就顺便回答了什么是时域电磁学的问题。时域电磁学不仅能够解决频域法所不能或不易解决的问题，而且能够使我们某些问题有一些新的看法。这些都是我们在下面要介绍的。最后我们还将介绍它的一些具体应用。

二、波形的产生

我们要产生尽可能窄的视频脉冲（又称基带脉冲），作为测试信号。脉冲愈窄，愈逼近冲击脉冲（或 δ 函数）。这可以用雪崩二极管或雪崩三极管来产生。测试信号也可以是阶跃函数，这可以用水银开关或隧道二极管来产生。这些方法的缺点是：输出不够大，最大电压不过百多伏；脉冲的重复频率不能变。下面我们先介绍一种视频窄脉冲产生器，它没有上述两个缺点；其次介绍功率很大的窄视频脉冲产生器，它适用于天线辐射；最后介绍一种脉冲调制信号产生器，它适用于微波网络的测量。

1. 无偏压俘越二极管（TRAPATT）窄脉冲产生器

参看图 1。图中的触发电路是根据 E. J. Snyder 等人提出的雪崩三极管串-并联式窄脉冲产生器的设计思想改进而成。 E_0 对三只雪崩三极管并联供电，在输入信号的作用下，三只管同时产生雪崩击穿，在 V_3 的输出端获得三只管串联输出电压，很适合触发俘越二极管。

电阻 R_0 的接入，是为了保证电路的正常工作。因为若不接入，则 V_3 的集-射电压大

约只有 E_c 的一半,这就不能满足三只雪崩三极管同时正常工作的要求。静态时,各管集电极对地电压为 E_c ,发射极对地电压为零, V_i 处于零偏。输入信号到来时,三只管同时产生雪崩击穿,当 R_b 两端电压即 V_i 两端电压上升到大于二极管雪崩击穿电压以上时, V_i 产生雪崩击穿,其两端电压降到导通压降, R_b 上产生大幅度窄脉冲输出(见图2)。我们用国产雪崩三极管和俘越二极管, $E_c = 140\text{ V}$, 输出峰值电压可达 220 V , 峰值功率可达 8 百多瓦。这里重复频率受输入信号的控制。

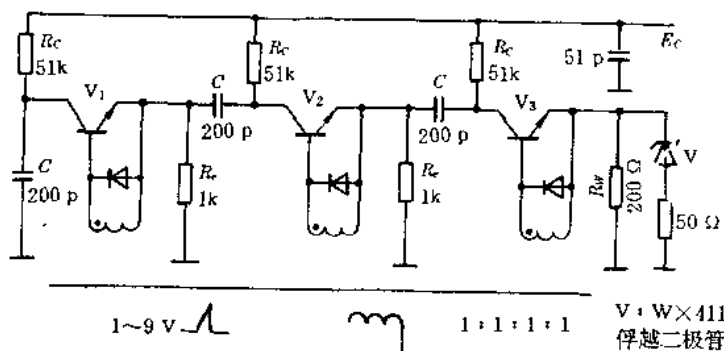


图1 无偏压俘越二极管窄脉冲产生器

200mV/division
($\times 200$)

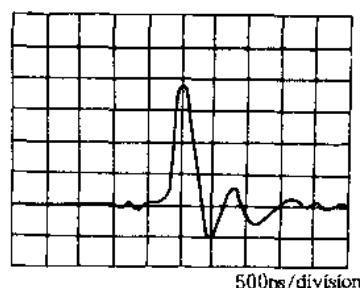


图2 输出电压波形

2. 赫兹冲击脉冲产生器 (Hertzian Impulse Generator)

赫兹冲击脉冲产生器所产生的脉冲,宽度可以很窄,峰值功率可以很大。其电路图见图3。

它的工作过程如下: 50 kV 电源通过 $200\text{ M}\Omega$ 的电阻,对电容器充电。如果火花放电空隙调整在 10 kV 放电,则当电容器充电过程中火花放电空隙间的电压达到 10 kV 时,空隙间的等离子体就会被击穿而点火。在点火这一瞬间,空隙的电阻很小,可以认为是短路。那末 2 pF 电容器上的 10 kV 向 $50\text{ }\Omega$ 的传输线放电,产生很大的脉冲。电容器放电后,等离子体消失,电容器通过 $200\text{ M}\Omega$ 的电阻重新被充电。由于放电的时间很短(这决定于电容器和传输线所形成的时间常数),因此所产生的脉冲很窄。上图可产生重复频率为 10 kHz 的脉冲,脉冲宽度可小到 100 皮秒,峰值功率可达 0.3 MW 。

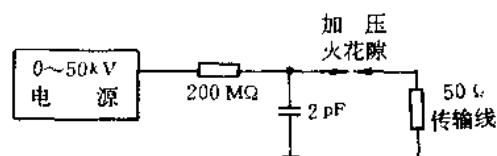


图3 赫兹冲击脉冲产生器

(2 pF 电容器可用很短一段传输线代替)

我们可以定义一种品质因素,来评价一种脉冲产生器。品质因素为峰值功率除以上升时间。此脉冲产生器的品质因素约为 10^{14} W/s 。

3. 脉冲调制 (Pulse - Modulated) 信号产生器

对于微波网络或元件,我们最感兴趣的是它对它的中心频率及其附近频率的响应。这时用脉冲或阶跃调制信号去测试,是最合适的。即测试信号为

$$f(t) = \sin \omega_0 t \cdot u(t)$$

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

这种信号的建立时间为零， ω_0 为所测网络或元件的谐振频率。

脉冲调制信号产生器的电路如图 4 所示。用隧道二极管产生阶跃电磁波在传输线上传播。传输线上有开路和短路支节。电磁波在传输线上传播时，在支节的始端和末端都会产生正的或负的反射波，入射波和反射波相加或相减，就会产生脉冲或脉冲串。这些脉冲本来是方波，经过低通滤波器的圆滑作用，基本上变成正弦波。在图 4 里，我们可以看出，每增加一节支节，所产生的波形的幅度将减小一半。因此用这种方法所产生的高频波的个数受到限制。太多了，幅度将变得很小。一般最多能得到 16 个高频波。

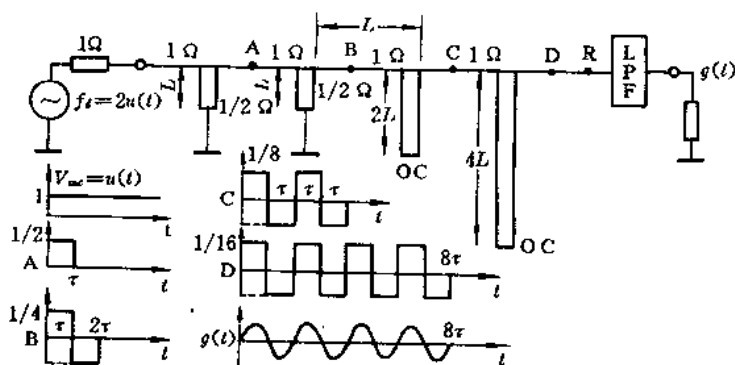


图 4 脉冲调制信号产生器

三、时域度量技术 (Time - Domain Metrology)

我们知道，一个线性时常网络的性质，可以用它的冲击响应来完全确定。但是对于分布参数的微波网络来说，要想直接观察到它们的暂态波形，却不是容易的事。到了 60 年代初期，人们研制出取样示波器，这就使观察暂态波形成为可能。后来，人们又研制出上升时间很短（在亚纳秒数量级）的基带脉冲或阶跃函数，这就为测试提供了信号。因为测试信号的上升时间必须比暂态响应小很多。

用时域法去测量宽频带微波元件或网络的散射参数，我们可以用上升时间很小的基带脉冲或阶跃函数，输入到元件或网络；并将它的反射和传输暂态响应记录下来。然后对这些波形进行离散傅里叶变换。这样，就可以得到反射系数、传输系数和系统函数（它是冲击响应的傅里叶变换）。这里要记录的是三种暂态波形：输入、反射和传输暂态波形。测量方框图如图 5 所示。图中的传输线是作延迟线用的，它们的延迟时间要选择得使相邻冲击信号所产生的暂态波形，在所观察的时间窗孔里不会重叠。我们知道，反射系数和传输系数都是频率的函数。因此，用这种时域法，可以从一次测量里，得出宽频带范围内的散射系数和传输系数，这比频域法方便。

时域测量技术的另一个引人注意的用途是测量物质的复数磁导率和电容率（即介电常数），而且是在很宽的微波范围内给出这些参数的。这里我们也是利用反射波和传输波。测试方框图如图 6 所示。

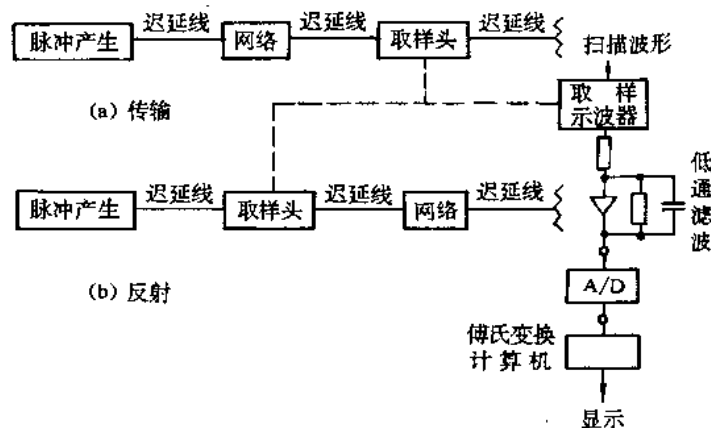


图 测量暂态响应的系统

上升时间小于 50 皮秒的脉冲，来自脉冲产生器，沿同轴延迟线传播，通过示波器的取样头，入射至被测物质的样品。一部分波被样品所反射，一部分波穿过样品向前传输。此传

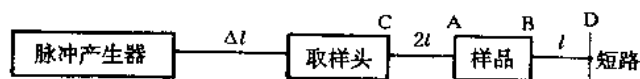


图 6 时域测量系统

输波到了同轴线的短路末端，又被反射，经样品而至取样头。可以证明，从这些波形可以得出这片样品的反射系数 $S_{11}(\omega)$ 和传输系数 $S_{21}(\omega)$ ，以及从 $S_{11}(\omega)$ 和 $S_{21}(\omega)$ ，可以计算出复数磁导率 μ 和电容率 ϵ 。图中的同轴延迟线，也是选择得使入射波、反射波和传输波不致重叠。

四、天线

雷达发射的波形，我们总希望它的频带愈宽愈好。因为频带愈宽，精度和分辨力愈高。目标识别和精细成像，同样要宽频带信号。宽频带信号的极限就是冲击脉冲。因此，近 10 多年来出现了对冲击雷达 (Impulse Radar) 的研究。

研究辐射和接收冲击脉冲的天线，不宜用常规的频域法，因为这是研究稳态的方法。我们应该用研究暂态的方法。亦即研究天线在时域里的性质。用时域法去研究天线，将使我们对抗线的性质有新的理解。例如，按常规的说法，为了使失真很小，我们要求天线的系统函数，在给定的频带内，具有平坦的振幅谱和线性的相位函数。而在此频带之外，我们很少作规定。问题在于：带内的数据只能用来预计系统对阶跃函数的总的响应，而不能用来精确地预计稳定时间。响应的细微结构，决定于带外的特性。

我们能够方便地写下对抗线的冲击响应的限制或规范。尤其我们可以对抗冲击响应的持续时间精确地限制在 τ 秒。具有这种性质的天线或器件，称之为冲击响应时间有限 (Time-Limited Impulse Response) 的天线或器件。一般说来，这种系统具有一些有趣的数学性质。例如，它们的拉氏变换是一个全函数，即在整个复数 p 平面里没有极点。

要想观察到窄脉冲在天线系统的效果，只有当脉冲在系统上的传播延迟能够与脉冲的上升时间或宽度相比拟的时候，才有可能。当这个条件满足时，则在任何时候，只有

系统的某些部分与辐射过程有关。

辐射和接收窄脉冲的困难是高效率、高保真度和强方向性。在采用时域法测量天线以前,人们很少注意扩散问题(Dispersion)。具有高效率、强方向性的天线,时间扩散(Time Dispersion)很严重。克服时间扩散的工作,虽然取得一些进展,但是后来人们干脆利用时间扩散去作空间脉冲压缩(Spatial Pulse Compression)。

利用地-平板测量装置(Ground-Plane Range)可以了解冲击脉冲的辐射(详见下文)。

从地-平板测量装置上的试验,我们发现两种天线在辐射冲击脉冲方面比较好:单极天线和 TEM 模喇叭天线。前者的保真度优异,但效率低,方向性差。后者的效率高,方向性中等,且有微分波形的性质。这种天线可能是最通用的。泪珠状天线(称为 GWIA 天线)也较适用。

设计这类天线的一个共同基本问题是如何得到真正的平衡-不平衡的变换器问题,即从平衡的天线到不平衡的传输问题。目前最好的方法是利用取样示波器作平衡-不平衡变换器,用两根同轴线接到平衡的天线系统。

在辐射和接收冲击波形时,还有一些有趣的性质:由于冲击脉冲的直流分量不能辐射,因此接收波形零以上的面积和零以下的面积是相等的。在所有各种波形里,被微分的冲击脉冲,是时间最短的波形。

另一重要性质是,天线的发射转移函数是同一天线的接收转移函数的时间导数。例如,设计一天线,接收冲击脉冲时,失真很小。用此天线去辐射一冲击脉冲的输入,则辐射的波形将是冲击脉冲的微分。

五、时域特征分析 (Time - Domain Signature Analysis)

由于亚纳秒脉冲技术的发展,在时域里直接作电磁特征测量,已成为可能。由于数字电子计算机的发展,在时域里直接对电磁特征进行计算,也已成为可能。测量和计算是在对目标用光滑的冲击波形照射下进行的。高斯脉冲

$$e(t) = \frac{a_0}{\sqrt{\pi}} \exp - a_0^2 t^2$$

就是一种光滑的冲击波形。当 a_0 趋向无穷大时,则 $e(t)$ 收敛于 δ 函数。光滑冲击脉冲的响应,在其所占频率范围内,包含有关目标的电磁散射性质的所有信息。这是把电磁散射问题,变为在时域里求暂态解的问题。下面我们简要介绍时域特征分析的基本内容。

1. 时域散射测量技术

确定目标特征的常规方法是用单一频率去照射目标,然后测量回波的振幅和相位。此方法的缺点是:目标附近物体所产生的回波不易消除,除非将散射测量仪置于昂贵的无回波室里;其次如果要想得到宽频带或暂态响应,则测量必须在宽频带内多次重复进行。

时域法就避免了这些缺点。这个方法是,用光滑的冲击波形照射目标,在时域里直接测量目标的暂态响应。此响应是有用处的,因为第一,它包含了所有的信息(在光滑冲

击波所含频率范围内)。由于它与目标的真实几何形状有密切的关系,因此它对目标分类特别有用。第二,将冲击响应作傅里叶变换,可得雷达截面或频率响应。第三,利用卷积可以从冲击响应得到目标对任何其它波形的响应。

时域散射测量法的方框图示于图7,其相对几何位置示于图8。

信号源是一高压开关,产生300 V的阶跃电压,其上升时间小于100 ps。此信号从单极天线辐射出去。天线穿过一个直径为6.1 m (20英尺)的圆形金属板,此金属板作为地,将其它设备和导线等隔离。由于此金属板起电磁波镜面的作用,因此,此测量仪只限于测量对地为对称形的目标的散射。天线辐射出的波,为目标所散射,并为喇叭天线所接收。此接收天线将信号光滑和散分,因此它所给出的是目标的光滑冲击响应。接收波形为取样示波器所取样。取样示波器是为初始信号所触发的,且其取样门偏移受微处理机的控制。未经处理的数据,在示波器上显示,而取样-保持波形通过低通滤波器、数字化、送入微处理机,并自动保存在磁带上。微处理机联接到通用计算机,以便作进一步处理。

此测量装置的突出特点是测量暂态的速度快和简单,而且一次时域测量,可以代替多次频域里的振幅和相位测量。测量的频率范围从100 MHz至4.5 GHz。此仪器可用来分析研究问题,校对计算结果,以及预计真实目标为实际雷达波形照射时所产生的响应。

2. 时-空微积分方程接术

历来电磁散射问题大多是在频域里求解的。经典的边值问题解法,只适用于目标表面与坐标面相重合或平行的少数几种目标。对其它目标,应用近似法,如几何光学等,可以得到散射响应的估值。随着高速数字计算机的发展,这种频域微积分方程技术也就发展起来,值得许多任意、简单形状物体的散射问题,得到解决。频率则从零起深入至谐振区域。不过在谐振附近会遇到某些困难。同样,这种微积分方程技术也可以在时域里进行,以得到暂态解,而且还可避免频域解中所遇到的内部谐振问题。

时-空微积分方程技术是这样的:设有一入射电磁波照射到一个目标上,此目标的表面将产生电流,使表面上的边界条件得到满足。这些表面电流于是产生散射场。因此,只要表面电流的表达式找出来了,问题也就基本解决了。因为空间任一点的电磁场,可以从表面电流的分布计算出来,尤其是远区场。

为了得到表面电流的表达式,我们从空间任一点的总电磁场开始。此总电磁场是入

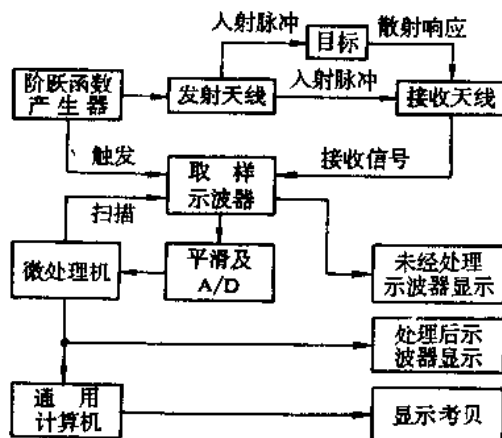


图7 时域散射测量法方框图

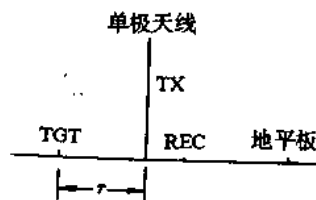


图8 地-平板测量装置

射波和表面电流所产生。采用极限法,将此任意点移动到散射体的表面,然后引入边界条件,就得到时-空微积分方程。此方程可用数值法求解。

3. 其它

这里我们只简单地提一下冲击响应论证技术 (Impulse Response Argumentation Technique) 和逆散射问题 (Inverse Scattering)。前者可以看作是一种混合方法,它将计算出来的光滑冲击响应,与渐近技术 (asymptotic techniques) 相结合,以得到 (非光滑的) 冲击响应的估计值,或等效地说,以得到整个频带内频率响应的估计值。逆散射与前面所述问题刚好相反,给出入射波形和散射波形,求目标的几何形状。这类问题的解,可以直接应用于雷达目标的分类和识别。

六、应用

时域电磁学的用途,在前面各节里已经提到一些,本节我们集中介绍它的具体应用。这一部分,正同时域电磁学的其它部分一样,还处于幼年时期,大量的工作等待着我们去做。

时域电磁学的特点之一是,它的实验所用的是视频窄脉冲。用这种波形作为雷达信号,我们称之为基带雷达 (Baseband Radar),又称为无载波雷达 (Carrier-Free Radar)。如果脉冲很窄很窄,则称冲击雷达 (Impulse Radar)。

从研究的情况来看,这种雷达向两个方向发展:一是在自由空间的应用,二是在地下的应用。前者又分两种情况:如果发射功率比较小,接收时只判断有无目标 (发射机与目标的距离不过几百米,则此种雷达实质上是自由空间时域反射仪 (Free Space Time-Domain Reflectometry)。这类反射仪的应用是很广的,例如用来作运动物体防止碰撞的预警器,汽车的自动刹车,引导油轮入坞,测量大容器内液体的液面高度等等。其特点是可以作到电路简单,价格便宜。其距离则从 1 m (数英尺) 到 1500 m (五千英尺),距离的分辨力可小于 0.3 m (1 英尺)。如果发射的功率很大,则属于冲击雷达。其目的在于对目标作更详细的了解,如目标分类和目标识别。向地下发射信号的雷达,称为入地雷达 (Into-the-Ground Radar)。它是用来探测地下情况的,如探测地下的地质情况,探测地下是否有管道和空洞,测量冰层厚度,探测地雷 (金属的和塑料的) 等。这类雷达的功率,也是不大的,因此深入地下的深度也是有限的,从数米至十多米不等。由于地下情况复杂,因此回波也是十分复杂的。这里根本谈不上保真度。这就需要用计算机来加以处理。这类雷达国际上已经有商品,我国也有单位在研制。

基带雷达的方框图示于图 9。亚纳秒级的基带脉冲送至高保真度的发射天线,发射至自由空间。发射脉冲的一部分由探针取样,并被送至位于接收机的距离选通脉冲产生器。这里一新的矩形波被产生。它与主回波同步,不过适当地迟延一段时间。迟延的时间决定于发射接收天线与目标的距离 (预计值)。图中迟延的时间应为 $(t_1 + t_2) / c$, c 为光速。

除了在距离选通脉冲持续时间内,接收机是不工作的。以简单的“一个回波”接收机 (Single-Hit Receiver) 为例,门限电平置定在 25 mV, 均方根噪声电平约为 1 mV。在距离选通脉冲期间,如果门限电平被超过,则有一信号送至逻辑电路。而逻辑电路则作

出“有目标”的判决。

除了上述应用以外，高速亚纳秒逻辑线路的发展，冲击着计算机领域，使更高速度的计算机成为可能。人们还研制出亚纳秒单根同轴线方案，用以多路复用计算机终端之间的数据。最近，基带脉冲技术，已应用于研制短距离无线通信问题。这里，电磁污染小，保密性强。其实，在70年代初，有人在研究利用沃尔什波进行通信时，实质上就已接触到这个问题。那时的结论是，此问题值得进一步研究。现在看来更是如此。

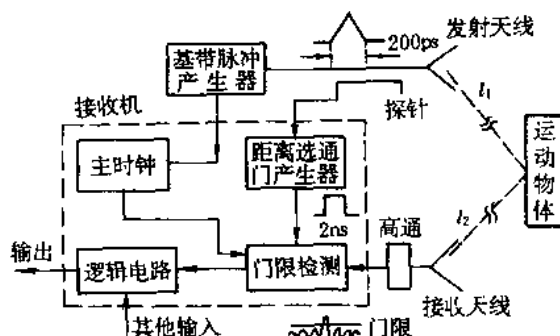


图9 基带雷达方框图

（本文原载于《通信学报》1983年第1期）

1.2 关于沃尔什函数的论战

在发展沃尔什函数及其应用过程中,经历了两次公开的论战。第一次论战,是以美国电气和电子学工程师学会进展(P I E E E)于1974年3月号上所刊登的Blachman所写的《正弦函数与沃尔什函数》一文为标志。Harmuth等10人反对此文的文章则刊载于电磁兼容汇刊1975年8月号。Blachman对此反对文章所作的回答,亦载于同期同刊上。第二次论战,则以美国电气和电子学工程师学会进展于1979年6月号刊载的戴维斯4人所撰写《无线电波传输系统应用“无载波”波形的某些物理条件限制》一文为标志。Harmuth的简短评论文章亦同时刊出。这两次论战,实质上都关系到沃尔什函数或非正弦正交函数是否有发展前途的问题。

Blachman文章的主要内容和重要结论如下:“……但文章的主要目的是研究傅里叶级数和沃尔什级数的截短误差和舍入误差。

采用简化的近似方法,我们发现,在给定的均方根总误差下,对光滑的长信号,用沃尔什级数来表示,项数要用许多,系数的精确度要求更大。即使对不连续信号,沃尔什级数也可能要求大得多的项数,这就抵消了快速沃尔什算法在计算机上的优点。沃尔什级数表示长波形,相对说来效率低,这可能说明它在应用方面为什么没有证实为特别有效”。

Harmuth等10人的反对意见,主要集中在推导出上述结论的出发点上。得出上述结论,由于作了两条隐晦的假设。(a)具有不可数的、很多值的连续函数,会在数据处理中遇到。此未明白说出的假设,在现实生活中是永远不会满足的。(b)在推导上述结论的过程中,用了时间- (频率)-带宽乘积这一概念。这就有利于傅里叶级数,正如用时间- (频率)-带宽乘积这一概念,就会有利于沃尔什级数。而且假定时间- (频率)-带宽乘积是大的但却是有限的,这在数学上是错误的。

在分析不连续波形的级数展开时,如果波形的沃尔什分析与其跳跃点同步,则沃尔什系数能够很有效地表示波形。这一点双方是一致的。Blachman认为对他的文章的批评是由于错误的概念、模糊的猜想和没有按“数据处理”来写的原故。

以上是这次论战的大致情况。问题的本质是两种级数的优缺点问题,是频率功率谱与列率功率谱的用处问题。

从两种级数综合波形和两种谱的比较两个方面去看,我们认为沃尔什谱分析和傅里叶分析各有各的用处。有具体例子为证,前者适宜于由方波合成的波,而后者适宜于光滑的波。

第二次论战的中心问题是非正弦电磁波能否应用于雷达和通信的问题。Harmuth发表一系列文章,认为能够有利地应用于超视距雷达、低仰角雷达和扩频通信等。第二次公开论战的标志是1979年6月号PIEEE上发表的、由戴维斯等4人所写的文章,及Harmuth简短的答辩文章。