

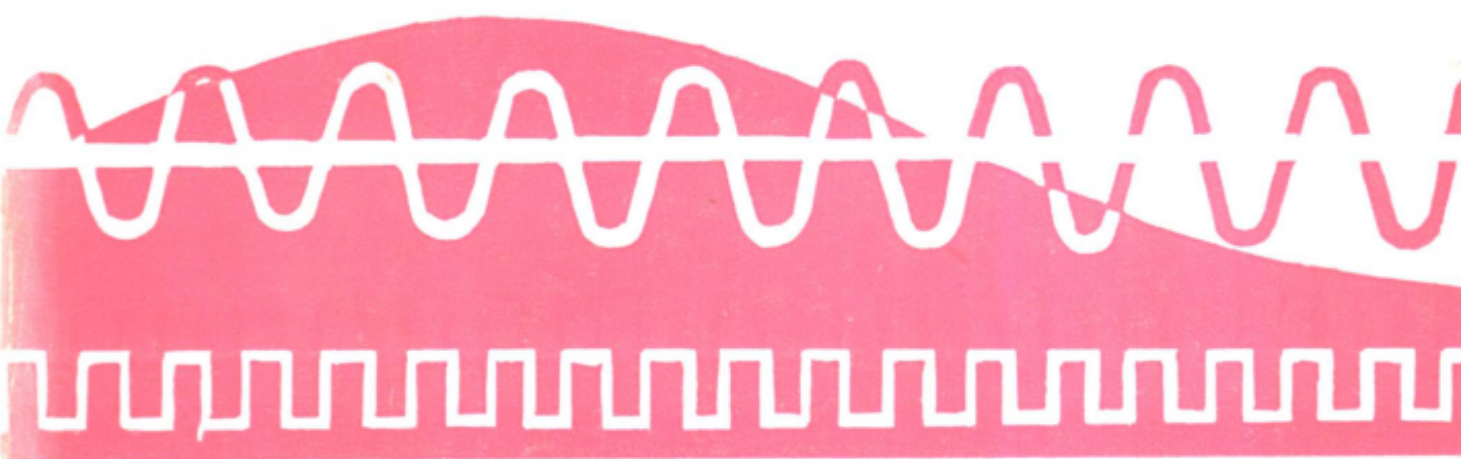
高等學校教材

739579

光電測距

張坤宜 編著 中南工業大學出版社

ELECTRO—OPTICAL DISTANCE MEASUREMENT



ELECTRO—OPTICAL DISTANCE MEASUREMENT



責任編輯：童芳遠

封面設計：顏平平

ISBN 7-81020-374-6/TV·017

定價：6.00 圓



高等學校教材

光電測距

張坤宜 編著

中南工業大學出版社

光 电 测 距

张坤宜 编著

责任编辑：章芳远

*

中南工业大学出版社出版

中南工业大学出版社印刷厂印装

湖南省新华书店发行

*

开本：787×1092/16 印张：13.5 字数：327 千字 插页：1

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数：0001—2000

*

ISBN 7-81020-374-6/TV·017

定价：6.00元

内 容 简 介

《光电测距》是一本测绘专业教科书。本书经测绘教材委员会评审通过，被定为全国测绘教材。

本书以光电测距仪器结构、原理、应用和检测为基本内容，比较全面系统地介绍光电测距技术。在介绍光电测距仪器方面，以典型仪器为主导，加强整机原理分析和应用方法的叙述，突出普遍性。本书系统阐述了光电测距成果处理的理论和方法；较全面地分析了光电测距的误差影响；详细介绍了光电测距仪器的检测方法。书中还用较多的篇幅介绍全站型光电测距仪以及其它测距仪器的结构和原理。

本书适用于大专院校测绘专业教学，也可作为相应专业大专班的培训教材。

本书也可作为测距仪用户及有关专业科技人员的参考书。

前 言

80年代,电磁波测距技术发展非常迅速,其中以激光、红外光为载体的光电测距技术的发展尤其引人注目。在这期间,测程远、精度高的光电测距仪与日俱增,功能齐全的全站型仪器也不断出现。与此同时,测距仪器的应用与检测理论和方法也在不断发展,日臻完善。光电测距仪已成为测绘的常规仪器应用于生产实践中,光电测距技术已是测绘技术人员不可缺少的有力手段。

为了适应新技术的发展,我们在总结多年教学实践基础上,编著了《光电测距》教材,该教材在大专院校多年使用中受到了欢迎。此后,测绘教材委员会对《光电测距》进行了严肃认真的评审,测绘专家对该书提供很多宝贵意见。该书经修改后的内容更为充实,更具有广泛的适应性。《光电测距》经测绘教材委员会审定,被定为全国测绘教材。

《光电测距》是一本专业技术教科书。该书以光电测距仪器结构、原理、应用和检测为基本内容,比较全面系统地介绍光电测距技术。在介绍光电测距仪器方面,着眼于以典型仪器为主导,详细进行整机原理分析,突出普遍性,不求机型样样俱到。为使教学更好地面向实践,本书加强了应用技术和检测技术的内容,以期提高掌握光电测距技术的能力。书中还介绍了全站型光电速测仪、双波束测距仪与微波测距仪。

光电测距仪是大地测量、国土测量与管理、工程测量以及城市规划与建设、铁道公路勘测、地质、矿山、冶金、煤炭、石油、电力、水力等部门的重要工具,《光电测距》在这些部门都有较大的实用价值。该书不仅可作为大专院校测绘专业的教学用书,也可作为测绘等专业技术人员的参考书,以及相应专业大专层次培训班的教材。

《光电测距》的教学时数为50学时左右,在教学中可与实验指导书相配合。

由于本人水平有限,书中存在的缺点、错误在所难免,敬请专家和读者多提宝贵意见。

《光电测距》的出版得到了中南工业大学及该校资源开发工程系领导的关怀,得到了张学庄教授、肖复河教授、罗时恒副教授等老师的帮助。

该书出版尤其得到了港胞陈守吉先生的大力资助,特此一并致谢。

张坤宜

1990年11月于广州

目 录

前言

第一章 导论	(1)
第一节 波的有关概念	(1)
第二节 光的若干性质	(3)
第三节 电子电路中信号的频率变换	(6)
第四节 光电测距与电磁波测距	(8)
第二章 光电测距的基本原理	(10)
第一节 概述	(10)
第二节 相位法测距的基本原理与结构	(11)
第三节 相位法测距的测尺频率选择	(15)
第四节 脉冲法测距的基本原理	(20)
第三章 光电测距仪的基本部件	(22)
第一节 光电测距仪的光源	(22)
第二节 光的调制与调制器	(27)
第三节 光电转换器	(36)
第四节 反射器	(40)
第四章 相位测量方法与装置	(42)
第一节 自动数字测相	(42)
第二节 手动移相平衡测相	(49)
第三节 手动变频平衡测相	(54)
第四节 内外光路测量	(56)
第五章 红外光电测距仪	(58)
第一节 概述	(58)
第二节 DI4L测距仪简介	(60)
第三节 DI4L测距仪的基本结构与原理	(62)
第四节 DI4L测距仪的使用	(67)
第五节 DM503测距仪	(70)
第六节 红外测距仪使用中的有关问题	(75)

第六章 激光测距仪	(78)
第一节 JCY-2 型激光测距仪的结构与原理	(78)
第二节 BJC-1 型激光测距仪的结构与原理	(85)
第七章 光电测距的辅助设备	(93)
第一节 蓄电池及其使用	(93)
第二节 气象仪器及其使用	(97)
第三节 便携式测频仪	(100)
第八章 光电测距中光的传播	(102)
第一节 光速与折射率	(102)
第二节 一般大气状态的折射率	(105)
第三节 光在大气中的衰减	(107)
第四节 光电测距仪的测程	(109)
第九章 光电测距的成果处理	(112)
第一节 仪器改正	(112)
第二节 大气改正	(116)
第三节 几何投影改正	(119)
第十章 光电测距的误差	(127)
第一节 光电测距的误差表达式	(127)
第二节 比例误差	(128)
第三节 测相误差	(132)
第四节 其他非比例误差	(135)
第五节 测距精度与削弱误差影响	(137)
第十一章 光电测距仪器的检验	(140)
第一节 概述	(140)
第二节 测距精度与测程的检验	(141)
第三节 测距仪基本性能的检验	(143)
第四节 周期误差的检验	(147)
第五节 周期误差与加常数同时检验	(153)
第六节 测距仪常数的野外检验	(155)
第十二章 全站型光电速测仪	(166)
第一节 概述	(166)

第二节	光电测角原理.....	(168)
第三节	TC2000全站型光电速测仪.....	(172)
第四节	DI3000测距仪.....	(181)

第十三章	微波测距与多波束测距.....	(186)
------	-----------------	---------

第一节	微波测距原理.....	(186)
第二节	多波束测距原理.....	(188)

附录一：国内外若干电磁波测距仪

附录二：水蒸汽气压 e 表

附录三：群折射率公式推导

附录四：平台法同时检验周期误差、加常数电算程序

第一章 导 论

第一节 波的有关概念

波是客观现实中常见的物理现象。人类的生活、生产实践及科学研究都离不开它。例如，人们讲话发音就有声波的出现；开矿时的大爆破便有冲击波的形成等。这类波借助空气等物质，引起这些物质的分子振动使波由近及远传播出去，这类波称为机械波；现代生产力高度发展的最有力工具——电力及无线电，也是以波的形式由近及远传播的，这类波称为电磁波。在广义上，振动是引起波的根源，振动的中心称为波源。同时波又是以振动为基础的传播过程，波传播过程中所存在的物质称为媒质或介质。

波的传播形式各有不同，但我们可以用比较简单的正弦波（或余弦波）来描述它。从物理学中可知，描述波的数学模型常常是遵循正弦函数（或余弦函数）的振动方程或波动方程。

振动方程

$$Y = A \sin(\omega t - \varphi_0) \quad (1-1)$$

式中： Y 是波的振动质点在 t 时刻离开平衡位置的幅值。

波动方程

$$Y = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (1-2)$$

式中： Y 是描述波线上任一点处的质点在 t 时刻离开平衡位置的位移。

上二式中： A 表示波的振幅； ω 表示角速度； x 表示质点与波源的距离； v 表示波的传播速度； φ_0 表示初相位

从上面的方程中可以看出，波本身具有振幅（ A ），波长（ λ ），频率（ f ），速度（ v ）和相位 $\left\{(\omega t - \varphi_0) \text{ 或 } \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)\right\}$ 。其中：

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-3)$$

式中： T 称为周期，单位用秒（s）表示。 $1\text{s} = 10^3\text{ms}$ （毫秒）， $1\text{ms} = 10^3\mu\text{s}$ （微秒）， $1\mu\text{s} = 10^3\text{ns}$ （纳秒）。 f 的单位是赫兹（Hz），千赫兹（kHz），兆赫兹（MHz）。 $1\text{MHz} = 10^3\text{kHz} = 10^6\text{Hz}$ 。 f 与 λ ， ω 与 v 之间存在如下的关系，即

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1-4)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (1-5)$$

在光电测距中， λ 的单位常用米（m），微米（ μm ）和纳米（nm）表示，其中 $1\mu\text{m} =$

10^{-3}mm , $1\text{nm} = 10^{-9}\mu\text{m}$ 。 λ , f , A , v 是描述波的特征的重要参数。

从图1-1电磁波谱中可见，无线电波、光波以及射线等波族，它们各自的传播特征与本身的波长 (λ) 有着密切的关系。但是，和机械波的一般波动规律相比较，电磁波在传播过程中仍然表现出反射、折射、干涉、衍射和偏振等现象。电磁波的重要特性在于它是以电磁场交替产生并由近及远地传播，而且无需借助媒质（介质）就能表现出来。

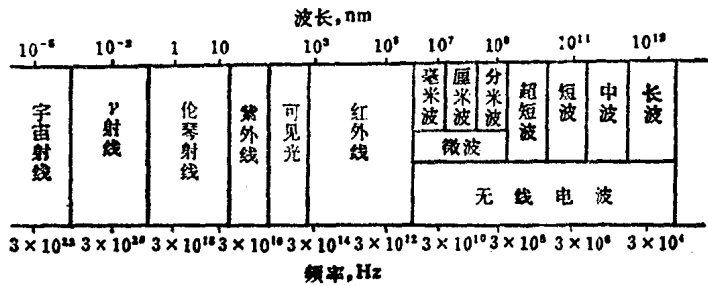


图1-1 电磁波谱

波的相位也是描述波的特征的重要参数。从式1-1中可以看到，用 $\omega t - \varphi_0$ 表述相位，指的是波中某一质点在某一时刻与起始时刻的振动状态相比较所存在的角度值。当 $t = 0$ 时，则 φ_0 反映了波开始传播时所具有的初相位。对于某一波束而言，在波束的同一横截面上，各点的 $\omega t + \varphi_0$ 保持不变，称为相位均匀；否则，称为相位不均匀。描述光束横截面上各处相位变化的程度，称为相位均匀性。

在研究问题时，必须首先确定波的起始点及其波传播的起始时刻。对于一连续波来说，波的实际起点和起始时刻的确定是困难的，但是可以用参考坐标系的方法予以实现。对于一个连续正弦波而言，给出一个平面坐标系（图1-2），使波的振动传播对称于该坐标系横轴 x ，该 x , y 坐标系的原点 O 就是波传播的起始点，同时确定波以该原点起始时刻为 0 。这样，人们在研究问题的时候，把注意力集中在坐标原点附近及右边的情况，而把左边的情况予以忽略。

初相位 φ_0 的确定是建立参考坐标系以后的第二件工作。其方法是，以正弦波上升与横轴 x 相交点到原点之间相应于整周期最小的相位角定为该波初相位。图1-2中，正弦波上升过横轴 x 之交点 a , b , c , d 等，只有 b 点与原点间之相位最小，则 bo 之距离的相位夹角 φ_0 就是我们需要的初相角。这时在振动方程中 φ_0 的前面符号为正。

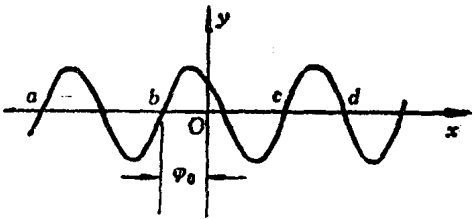


图1-2

如果如图1-3的情形，其 φ_0 的前面符号应为负。总之，波形所反映出来的 φ_0 不大于 180° 。

相位差，即波的相位之差。对于二个频率相同的信号波而言，相位差是相对于某一时刻 t 两波质点间的相位之差。如图1-4中， e_1 , e_2 两同频信号波在 t_1 时刻的相位差可以用 a , b 两质点的相位差表示。已知 t_1 至 O 点的相位为 φ ，则 a 点相位为：

$$\varphi_a = \varphi + \varphi_{01}$$

b 点的相位为：

$$\varphi_b = \varphi + \varphi_{02}$$

用 $\Delta\varphi$ 表示 a, b 两点在 t 时刻的相位差, 则

$$\Delta\varphi = \varphi_a - \varphi_b = \varphi + \varphi_{01} - \varphi - \varphi_{02} = \varphi_{01} - \varphi_{02}$$

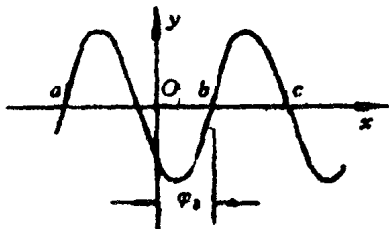


图1-3

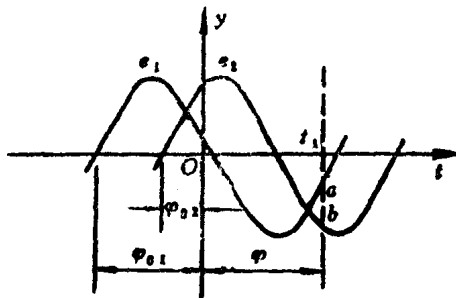


图1-4

所以说, 两个同频信号波的相位差就是它们的初相位之差。如果 $\Delta\varphi > 0$, 则 e_1 超前 e_2 , 否则便是 e_1 滞后 e_2 , 如果 $\Delta\varphi = 0$, 则二波同相。

相位差也常常用于表达某一信号波在某一时刻波线上不同质点间的相位之差, 这时往往引用了相位移的概念。从波动方程式1-2和图1-5中可知, 相位移是相对于距离来说的。设波线上 a 点离 O 点的距离为 x , 当 O 点的方程为 $y_0 = A \sin \omega t$, a 点的方程便为 $y_a = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$, 则 O 点与 a 点的相位移 $\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi_a = \omega \cdot \frac{x}{v}$ 。

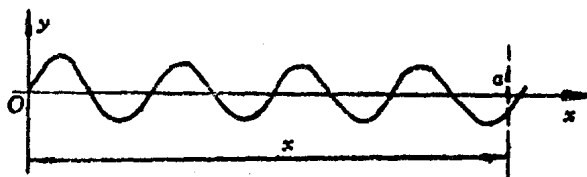


图1-5

显然, 相对于一定距离 x 来说, 该波的相位移 $\Delta\varphi$ 应当是不变的。若 $\Delta\varphi$ 随着时间的推移而发生变化, 说明波在传播过程中相位移 $\Delta\varphi$ 是不稳定的, 这种相位移随时间变化的不稳定性称为相位漂移。在实用上常用相位移对时间的变化率表示相位漂移, 如相位漂移为 $3.8^\circ/\text{小时}$, 表示每小时相位角的变化情况。

第二节 光的若干性质

1. **二象性。**二象性是指光在传播中表现出来的波动性质——即波动性, 以及光在与其他物质相互作用时所反映出来的量子性质——即粒子性。光的二象性, 已经从近代物理学家们大量的实验中得到了证实, 而且进一步揭示了二性的内在联系。不管这些揭示的近似程度如何, 而光的二象性已经在实际应用中发挥了巨大的作用, 其中光的传输技术及其对光的探

测技术都已经成熟地应用在光电测距中了。

2. **偏振性。**从本质上看,光的幅射是原子内部物理变化形成的。根据麦克斯韦电磁波理论,某一原子发生物理变化所辐射的光波必然具有电磁波传播的特征。用电矢量 E 和磁矢量 H 描述其传播形式如图1-6所示。 E, H 这两个互相垂直的矢量分别在两个互相相垂直的振动面 $yo z, xoz$ 振动,并沿着相同的方向 z 传播。毫无疑问,其传播过程有相应的固定平面 $yo z, xoz$ 。由于 H 矢量比 E 矢量的作用处于可以忽略的地位,人们在研究实际问题

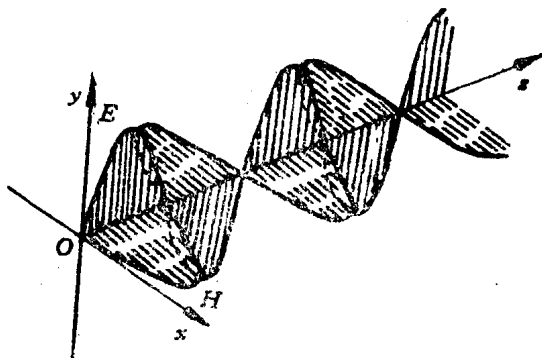


图1-6

时,往往对 H 矢量不予考虑,主要涉及到 E 矢量的固定振动面 $yo z$ 。这种光的电矢量 E 只限于一个平面的传播,就称为光的偏振性。实际上,任何光源都包含着数量众多的参与发生物理变化的原子,而且其电矢量的方向与大小是无规则的,但这种无规则的总和时间平均值是相等的。这样的光称之为自然光,其光的偏振性便表现不出来了。

从自然光中获得偏振光,即光矢量按一个固定方向振动的线偏振光,有很多切实可行的方法。例如,有利用介质二向色性原理、光的反射和光折射原理以及介质双折射原理等获得偏振光的方法,所有这些,在《物理学》中学生已经熟悉,这里就不再重复了。

3. **方向性。**方向性是指光源发射光束的散射程度,这种散射程度用散射角的大小表示。一般说来,光的散射角有两种表示形式:一种是平面散射角,即点光源发出的光束边缘光线间的夹角,用 θ 表示,单位为弧度。如图1-7所示, O 为点光源, θ 表示平面散射角。当 $\theta = 2\pi$ 弧度时,表示光在平面上是四周发散的;另一种是球面立体角,如图1-8所示。所谓球面立体角,由光束单位长度的半径 R 及其边缘光线到达点所围成的发光面积 S 决定,用 ω 表示,即

$$\omega = \frac{S}{R^2} \quad (1-6)$$

式中:

$$S = \frac{\pi}{4} R^2 \theta^2$$



图1-7

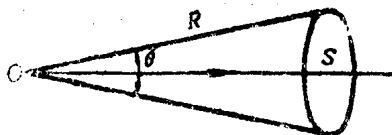


图1-8

表示发光面的面积。把 S 代入式1-6中,得

$$\omega = \frac{\pi}{4} \theta^2 \quad (1-7)$$

球面立体角的单位为球面度。普通光源向四面八方发光,据推证的球面立体角为 4π 球

面度*。

光电测距所用的光源发射光束方向性一般用平面散射角表示, θ 值约为 1.4×10^{-5} 弧度。如用球面立体角表示, ω 值约为 1.5×10^{-6} 球面度。这种光源发射的光束几乎是一束平行光线。

4. 亮度(辐射度)。在物理光学的光度学理论中把单位时间内每平方厘米表面垂直发射在单位球面立体角的能量定义为光源表面的亮度(或辐射度)。为了便于说明光亮度(辐射度)性质, 光的亮度(辐射度)可用下式表示:

$$B = \frac{E}{S\omega t} \quad (1-8)$$

式中: B 表示光的亮度(辐射度);

E 表示在时间 t 秒内, 在 ω 球面度范围内光源的辐射能量;

S 表示光源的发射面积

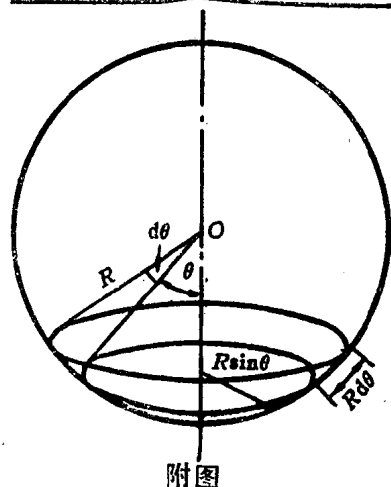
式1-8说明, 若光源的散射角 ω 很小时, 则光束所具有的亮度(辐射度)便很大, 表明光源的辐射能量 E 集中。光电测距一般要求所用的光源尽可能具有这种空间、时间上能量集中的性质, 从而使光束在大气传播中显示出很强的穿透能力, 实现远距离的往返传输。

5. 单色性。光有颜色, 这是从光的色散实验中易于观察得到的现实, 可见光中表现 7 种颜色光的连续光谱, 反映了光的颜色与波长的密切关系。研究表明, 光的波长决定光的颜色。表 1 中给出可见光中 7 种颜色光的波长范围, 这是从《物理学》学习中已经熟知的事实。可以设想, 一定波长的光波决定光的颜色, 单色光就是相应单一波长光波。由于参与发光的众多原子的辐射波其波长参差不齐, 存在 $\Delta\lambda$ 的微小差异, 造成可见光的连续光谱很难分清某一波长相应的颜色界限。这样, 可用其一定的波长范围, 或给出其波长代表值并附加该光存在的波长范围的波长差 $\Delta\lambda$ (或称频谱宽度) 表述该光的颜色性质。显然, 在客实际中很难找到单一波长的单色光。那么, 光的单色性就是用该光 $\Delta\lambda$ 的宽窄来表示。如果 $\Delta\lambda$ 窄则单色性高, 否则单色性差。表1-1中, 红色光之 $\Delta\lambda = 110\text{nm}$, 紫色光 $\Delta\lambda = 50\text{nm}$, 便可知紫色光的单色性高于红色光。

在光电测距中, 光的单色性很有用处。在仪器制造上, 采用单色性高的光源, 有利于排除其他颜色光的影响, 对于提高测距精确度极为有利。

表 1-1

颜色	波长范围(nm)
红	650~760
橙	590~650
黄	570~590
绿	490~570
青	460~490
蓝	430~460
紫	380~430



附图

*注: 设 O 为光源, 一个与沿垂线成 θ 角、对中心构成的平面角为 $d\theta$ 的球带元, 其球面立体角 $d\omega$ 为: $d\omega = \frac{2\pi R \sin \theta \cdot R d\theta}{R^2}$ 。对于从 θ_1 到 θ_2 的球带, 其球面立体角为 $\omega = \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\omega = 2\pi(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$ 。当 $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 180^\circ$ 时, $\omega = 4\pi$ 。见附图。

6. **相干性。**光作为波的形式,具有相干性。光波间的相干性质必须存在同频率、同传播方向、有固定的相位差以及波的振动方向相同等条件。另外,具有同频率、同传播方向、有固定相位差的偏振光的合成所表现的特殊干涉是在振动方向互相垂直的情况下实现的。关于这些问题的论证在第三章介绍。

在物理光学中引用相干长度 ΔL 表示光波间的相干性,即

$$\Delta L = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda} \quad (1-9)$$

式中: λ 表示光波的波长代表值; $\Delta \lambda$ 是该光波的频谱宽度。

由式1-9可见,光的频谱宽度越窄,即单色性极高,则光的相干长度 ΔL 将越大,表明光的相干性极好。有些光源如激光的 $\Delta \lambda$ 很小,相干长度 ΔL 可达几百米甚至几百公里,这种相干性使经典的干涉测距发生根本性的变革。

第三节 电子电路中信号的频率变换

在无线电工程中,电子电路中信号的处理,其中有信号频率的变换技术,在电子技术中又简称为变频。在光电测距中,高频信号仅仅作为一种测距过程的信息,在某些测距原理中必须予以处理。变频,就是利用差频技术把这种高频信号变换为某一种适合应用的低频信号,用以提高对该信号检测的可靠性,从而提高测距的精度;或者利用频综技术获得所需的各种频率信号,减少振荡器的设置,提高仪器稳定性。

差频技术,首先是不同频率信号的混频,然后利用选频滤波,取出其所需要的低频信号——差频信号,从而实现了变频。因此,变频的过程必须有混频器这一重要的非线性电路及其有关的非线性元件。

图1-9表示变频的原理。其中主机振荡器及本机振荡器都是由高频振荡电路所构成,两振荡器名称的不同只是为了便于区别。两振荡器都能产生遵循正弦函数(或余弦函数)的振荡信号。

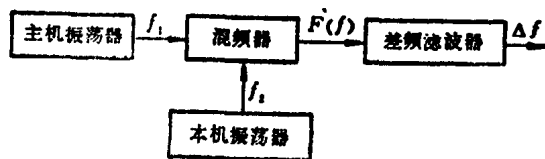


图1-9

设主机振荡器产生主振频率为 f_1 的振荡信号

$$u_1 = u_{1m} \sin \omega_1 t \quad (1-10)$$

其中: $\omega_1 = 2\pi f_1$ 。本机振荡器产生本振频率为 f_2 的振荡信号

$$u_2 = u_{2m} \sin \omega_2 t \quad (1-11)$$

其中: $\omega_2 = 2\pi f_2$ 。当 u_1, u_2 分别进入混频器后,通过该混频器的信号是 u_1, u_2 之和 u ,即

$$u = u_1 + u_2 \quad (1-12)$$

因为混频器是一个具有非线性特征的电子电路器件,其伏安特性近似符合下式,即

$$i = i_0 + au + bu^2 \quad (1-13)$$

展开式1-13,可得

$$\begin{aligned} i &= i_0 + a(u_1 + u_2) + b(u_1 + u_2)^2 \\ &= i_0 + a(u_{1m} \sin \omega_1 t + u_{2m} \sin \omega_2 t) + b(u_{1m} \sin \omega_1 t + u_{2m} \sin \omega_2 t)^2 \end{aligned}$$

$$= i_0 + au_{1m} \sin \omega_1 t + au_{2m} \sin \omega_2 t + bu_{1m}^2 \sin^2 \omega_1 t \\ + bu_{2m}^2 \sin^2 \omega_2 t + 2bu_{1m}u_{2m} \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t$$

利用三角函数公式:

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$$

便可得到

$$i = i_0 + au_{1m} \sin \omega_1 t + au_{2m} \sin \omega_2 t + \frac{1}{2} bu_{1m}^2 - \frac{1}{2} bu_{1m}^2 \cos 2\omega_1 t \\ + \frac{1}{2} bu_{2m}^2 - \frac{1}{2} bu_{2m}^2 \cos 2\omega_2 t + bu_{1m}u_{2m} \cos(\omega_1 t - \omega_2 t) - bu_{1m}u_{2m} \cos(\omega_1 t + \omega_2 t)$$

上式表明, 由于混频器是一个具有非线性的电子电路, 故其电路中除了输入信号原有频率成分 ω_1, ω_2 外(式中第2, 3项)还产生了输入信号所没有的 $2\omega_1, 2\omega_2$ 分量, 以及原有频率之和与差的组合频率 $(\omega_1 + \omega_2), (\omega_1 - \omega_2)$ 分量(即式中第8项、第9项)。显然, 如果系数 $b=0$, 也就是说混频电路呈线性, 则电路将不会包含频率为 ω_1, ω_2 以外的任何频率分量。由此可见, 因混频器具有非线性, 外加二个不同频率信号, 便会产生多个新频率信号, 图1-9中用 $F(f)$ 表示。

上式第8项存在两输入信号频率之差。设

$$i_{\Delta f} = i_m \cos(\omega_1 t - \omega_2 t) = i_m \cos(\omega_1 - \omega_2)t \\ = i_m \cos 2\pi(f_1 - f_2)t$$

即

$$i_{\Delta f} = i_m \cos 2\pi(f_1 - f_2)t \quad (1-14)$$

式中: $i_m = bu_{1m}u_{2m}$, 式1-14表示了其频率为 $\Delta f = f_1 - f_2$ 的差频振荡信号。差频滤波器, 实际上是一个差频谐振回路, 其内部电路参数谐振于 Δf , 当 $F(f)$ 通过差频滤波器时, 所有其它频率分量因为频率远离差频频率 Δf 而基本上都被滤掉, 只有 Δf 这一差频的信号电流才产生输出电压 $u_{\Delta f}$, 这时

$$u_{\Delta f} = u_m \cos 2\pi(f_1 - f_2)t \quad (1-15)$$

如果输入混频器的 u_2 是具有一定初相位 φ 的信号, 即

$$u_2 = u_{2m} \sin(\omega_2 t + \varphi) = u_{2m} \sin(2\pi f_2 t + \varphi) \quad (1-16)$$

那么, 差频滤波器输出的差频信号的输出电压为

$$u_{\Delta f} = u_m \cos[2\pi(f_1 - f_2)t - \varphi] \quad (1-17)$$

式1-16与式1-17相比, φ 除了前面正负号不同之外其数值没有发生变化。由于 $\Delta f = f_1 - f_2$, Δf 大大地低于 f_2 (或 f_1), 那么 φ 所相应的周期就不相同了。根据式1-3可知, 式1-17中 φ 所相应的周期比式1-16大大地扩大了。这样, 我们可以把高频 f_2 信号 φ 的测定通过对 $u_{\Delta f}$ 这一差频信号 φ 的测定来实现。由于后者属于低频信号, 测定 φ 的周期大, 因而非常有利于提高 φ 的测定精确度。

频综技术, 是目前获得多种高稳定度频率源的有利手段, 基本思想是以较少的频率信号

发生器产生频率信号，利用倍频、和频、差频技术及脉冲电路的分频技术，获得多种频率信号。例如JC Y-3测距仪、DI 4 L红外测距仪采用频综技术设计各种频率信号。

在图1-10中， $f = 4871444 \text{ Hz}$ 是稳定度很高的晶振频率，经 2^{12} 次分频，即4096次分频便得到 $\Delta f = 1189 \text{ Hz}$ 的低频信号。 f 与 Δf 经差频得 $f_1 = 4870255 \text{ Hz}$ 的频率信号。 f_1 的获得实际上是 f 与 Δf 经混频后由差频滤得到的。其余的 f_2 、 f'_2 是 f_1 、 f 信号分别经65分频、64分频得到。

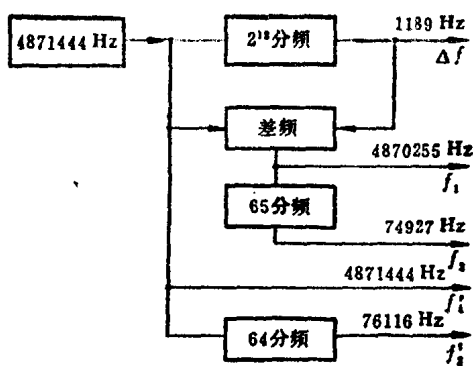


图1-10

第四节 光电测距与电磁波测距

光电测距是一门利用光和电子技术测量距离的大地测量技术。它开始出现于20世纪40年代末期，当时称之为光波测距，核心是利用光波测量距离。

图1-11中，设A摆上发射光波的仪器（测距仪），B摆上光反射器。在这条边上，A点上仪器利用光源器件向B点发射光波，B点上反射器又把获得的光波反射回到仪器。在光的速度 C 已知的情况下，如果仪器能测出光在AB上往返的时间 t_{2D} ，那么，根据速度与时间的关系求路程的原理，便可得到AB的距离 D 为：

$$D = \frac{1}{2} c t_{2D} \quad (1-18)$$

式1-18是光电测距最简单的原理公式。

实现上述原理，涉及到现代科学技术各个领域的一系列重大问题。其中最为突出的关键问题是光速度 C 的测定以及 t_{2D} 的测定精确度。

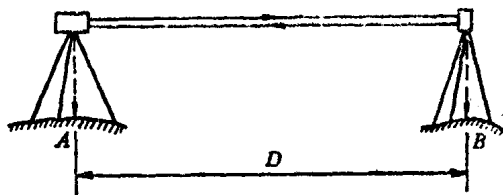


图1-11

早在1607年，意大利著名物理学家伽俐略用亮灯法开始了光速的测定实验。实验令相距甚远的两个观测者A、B各执一能遮闭的灯，观察者A打开灯光并在开灯之时开始计时，灯光经过一段时间后便可到达观察者B。光到达B时观察者B才能看到灯A，此时观察者B马上打开灯光，灯光经一段时间后又到达A，显然观察者A看到灯光时停止计时，这样便可以测得光在距离甚远的地段内往返传播的时间 t_{2D} 。若该地段距离 D 为已知，则光的速度 C 便为

$$C = \frac{2D}{t_{2D}} \quad (1-19)$$

当然，伽俐略这一尝试没有成功。原因是光的速度太大，在当时科学技术条件下难以测