

指示設備

B. T. 弗罗勒金著

國防工業出版社

出版者的話

本書分析了雷达指示設備中各种电路的工作原理。詳細地探討了扫描發生器、扫描放大器、錯位电路以及电子射綫管偏向板的电压鎖电电路。書中所述电路的数学分析引証了許多計算公式，故本書不仅适于学习指示設備課程的学生閱讀，而且也适于从事这方面工作的專家参考。

苏联 В. Т. Фролкин 著 ‘Индикаторные устройства’ (Обобщенно 1956 年第一版)

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

850×1168 1/32 5⁵/16 印張 133 千字

1959 年 3 月第一版

1959 年 3 月第一次印刷

印数：0,001—7,050 册 定价：(11) 1.00 元

№ 2776

目 录

序言	5
第一章 概述	7
1.1 指示设备的功用	7
1.2 扫描概念	11
1.3 指示器的主要类型	12
第二章 电子射线管	19
2.1 静电式电子射线管	19
2.2 磁式电子射线管	25
2.3 磁式电子射线管的聚焦线圈	28
2.4 电子射线管荧光屏	30
第三章 锯齿波扫描电压发生器	35
3.1 直线扫描电压的参数	35
3.2 锯齿波电压的发生方法	38
3.3 电容器通过欧姆电阻的充电	39
3.4 采用交流高电阻	45
3.5 有正负回授的电路 (补偿法)	54
3.6 负回授电路 (积分电路)	70
第四章 特殊波形的扫描电压	80
4.1 梯形电压	80
4.2 双曲线 (《地面的》) 扫描电压	81
4.3 指数扫描	85
4.4 正弦扫描	86
4.5 连续正弦扫描	90
第五章 电子射线管偏向板的对称电源	107
5.1 采用对称电源的必要性	107
5.2 对称偏压的馈电方法	108
5.3 偏向板的交流馈电	111
5.4 简单的倒相级	112

第六章 扫描电压的末级放大器	116
6.1 放大器中的负回授	116
6.2 电流负回授级	118
6.3 阴极耦合倒相级	120
6.4 具有电压负回授的级	124
6.5 阳极输出器	131
6.6 阴极输出器	131
6.7 栅极上摆动电压很大时阴极和阳极输出器的工作特点	133
第七章 信号直流成分的恢复(电平钳位)	136
7.1 电平钳位的必要性	136
7.2 单极电压时直流成分的恢复	139
7.3 双极电压时的电平钳位	144
第八章 锯齿波电流发生器	148
8.1 开始扫描时的不稳定过程	148
8.2 减小起始失真的方法	151
8.3 应用电压负回授减小起始失真	158
8.4 偏向线圈的参数	163
8.5 偏向线圈的结构	165
参考文献	169

73-463 33.463 160

指 示 設 备

(講 义)

扫描振蕩的發生和放大

B.T. 弗 罗 勒 金 著

电信工业局編譯所譯



国防工业出版社

1959

出版者的話

本書分析了雷達指示設備中各種電路的工作原理。詳細地探討了掃描發生器、掃描放大器、鉗位電路以及電子射綫管偏向板的電壓饋電電路。書中所述電路的數學分析引証了許多計算公式，故本書不僅適于學習指示設備課程的學生閱讀，而且也適于從事這方面工作的專家參考。

蘇聯 В. Т. Фролкин 著 'Индикаторные устройства' (Оборонгиз 1956 年第一版)

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168^{1/32} 5⁵/₁₆ 印張 133 千字

1959 年 3 月第一版

1959 年 3 月第一次印刷

印數：0,001—2,050 册 定價：(11) 1.00 元

№ 2776

目 录

序言	5
第一章 概述	7
1.1 指示设备的功用	7
1.2 扫描概念	11
1.3 指示器的主要类型	12
第二章 电子射线管	19
2.1 静电式电子射线管	19
2.2 磁式电子射线管	25
2.3 磁式电子射线管的聚焦线圈	28
2.4 电子射线管荧光屏	30
第三章 锯齿波扫描电压发生器	35
3.1 直线扫描电压的参数	35
3.2 锯齿波电压的发生方法	38
3.3 电容器通过欧姆电阻的充电	39
3.4 采用交流高电阻	45
3.5 有正负回授的电路 (补偿法)	54
3.6 负回授电路 (积分电路)	70
第四章 特殊波形的扫描电压	80
4.1 梯形电压	80
4.2 双曲线 (《地面的》) 扫描电压	81
4.3 指数扫描	85
4.4 正弦扫描	86
4.5 连续正弦扫描	90
第五章 电子射线管偏向板的对称电源	107
5.1 采用对称电源的必要性	107
5.2 对称偏压的馈电方法	108
5.3 偏向板的交流馈电	111
5.4 简单的倒相级	112

第六章 扫描电压的末级放大器	116
6.1 放大器中的负回授	116
6.2 电流负回授级	118
6.3 阴极耦合倒相级	120
6.4 具有电压负回授的级	124
6.5 阳极输出器	131
6.6 阴极输出器	131
6.7 栅极上摆动电压很大时阴极和阳极输出器的工作特点	133
第七章 信号直流成分的恢复(电平钳位)	136
7.1 电平钳位的必要性	136
7.2 单极电压时直流成分的恢复	139
7.3 双极电压时的电平钳位	144
第八章 锯齿波电流发生器	148
8.1 开始扫描时的不稳定过程	148
8.2 减小起始失真的方法	151
8.3 应用电压负回授减小起始失真	158
8.4 偏向线圈的参数	163
8.5 偏向线圈的结构	165
参考文献	169

序 言

本教材是作者在1950~1955年間講授《指示設備》課程的講義的一部分。

講義參照了首先在莫斯科航空學院無線電工程系開辦這門課程的Ю. А. 曼捷費爾不久以前的講課材料。

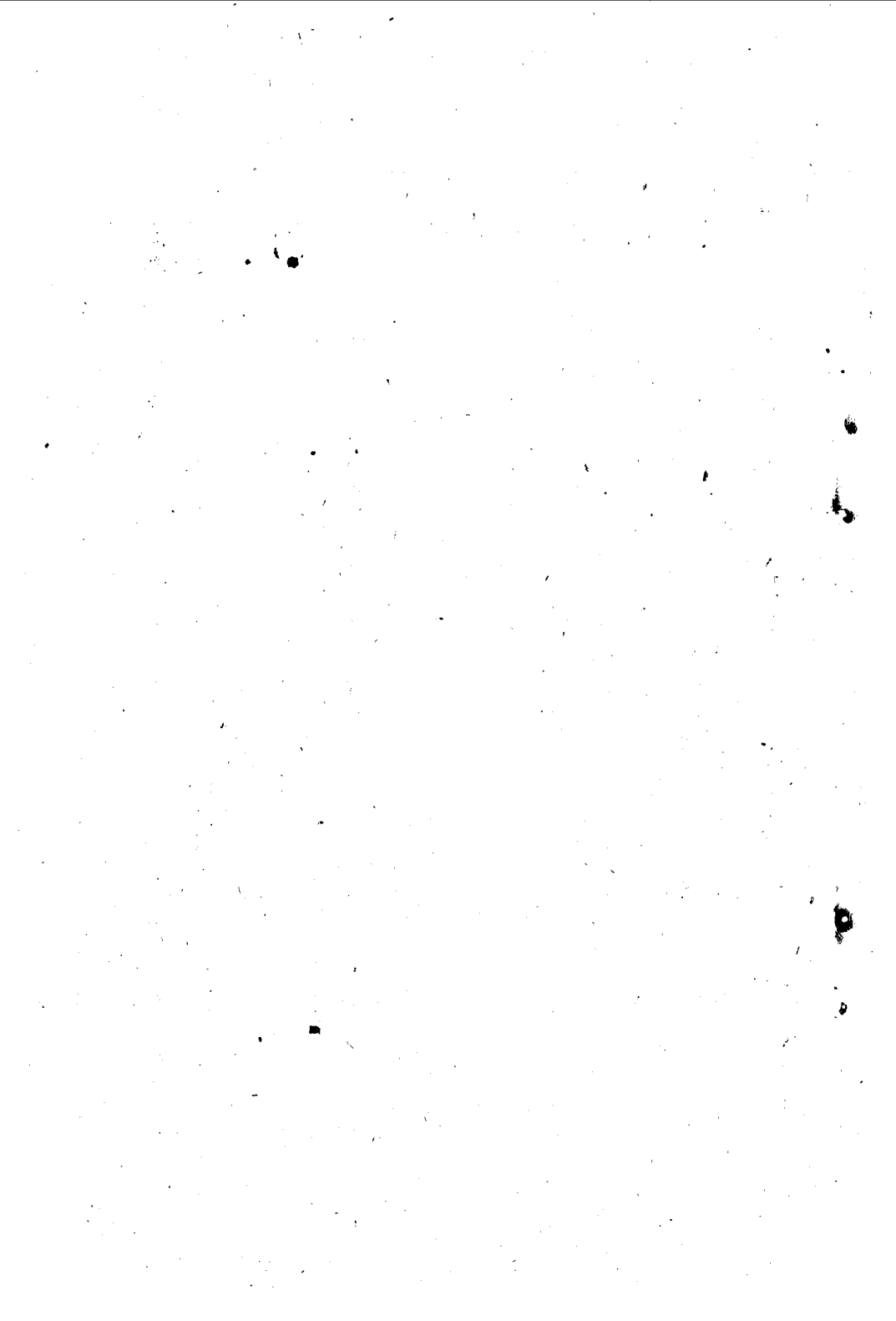
雷達指示設備的設計和計算所涉及的問題範圍極廣。這些問題的解決必須具備一系列基礎課程的知識，首先應了解：無線電工程理論基礎、接收放大設備、無線電自動裝置以及脈沖技術。

1955年以前，該系的教學計劃並沒有把脈沖技術作為一個單獨的課程列入。因此，特殊波形振蕩的發生、放大和變換等問題就占《指示設備》課程的全部材料一半以上。然而，這些問題不僅在設計雷達指示設備時碰到，就是在設計無線電電子設備和自動裝置中也要碰到。

現在，無線電工程系教學計劃中已將脈沖技術劃為單獨的一門課程。因此，在學習這門課程各章節時可參考本講義的內容。

這一部分講義包括八章，大体上研究了指示設備的元件，即距離掃描電壓和電流發生器以及靜電式電子射線管偏向板的電源電路等。

作者在此特向對講義出版予以很大幫助的科學技術副博士Г. А. 達尼洛維奇，助教Г. В. 馬爾庫斯和研究生В. Б. 西林表示感謝，同時還向給講義提出了許多寶貴意見並幫助修改的科學技術副博士Ю. А. 曼捷費爾表示感謝。



第一章 概 述

1.1 指示设备的功用

指示器的功用 从雷达标准方框图(图1.1)上可以看出,指示器通常是雷达的最后一部分^①。它集中地向观测手显示出所观测目标的全部情报。指示器的主要功用可简述为:指示器应变换并向观测手(操作手)显示回波信号以及其他数据,例如,以连续而又清晰的图像显示雷达天线的位置;根据显示出的位置就可按所要求的准确度首先判断目标的空間位置,并且在某种情况下也可判断目标的大小、形状和性质。

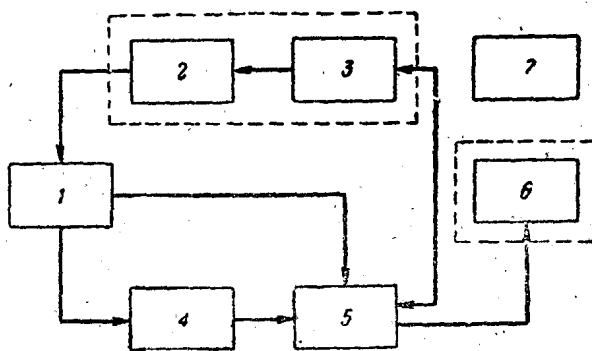


图1.1 雷达标准方框图:

1—天线馈电系统(АФУ); 2—特高频振荡器; 3—调制器; 4—接收机; 5—指示器; 6—计算装置; 7—电源电路。

目前,最能令人满意地完成这种功用的唯一仪器是电子射线管。可在其荧光屏上用经聚焦的电流——电子注所绘的图像来观

① 在某些雷达中,指示器的后面有一计算装置,它产生按坐标准确跟踪活动目标时所需的参数,以解决复杂的导航任务等等。在某些情况下,它是指示设备的组成部分。但在另一些情况下,却相反它是一个单独部件。

察电的过程。电子注的位置和强度由信号改变。电子射线管的主要优点是电子射线无情性，在荧光屏上测量和观测简单而准确。这就是大多数雷达站采用它作视觉指示器的原因。

对于一定的特殊目的，可采用其他类型的指示器（指针式指示器、音响指示器），这方面我们就不阐述了。

电子射线指示器主要的原则性缺点是在管子平面的荧光屏上不能显示周围情况的实际三度空间图。然而，如下所述，可以一定的形式反映出目标的三个坐标。

指示器的主要功用直接与观测目标有关。不过，雷达指示设备一般包括保证雷达各部分互相联接和互相作用的器件：装有指示器的调制器，装有调制器和指示器的接收机，装有指示器的天线馈电设备，装有计算装置的雷达等等。因此，指示器各部件和组件的任务是多种多样的。其任务包括：使控制器（调制器）的触发脉冲与指示器的瞬时扫描同步；产生选择所需信号来延迟脉冲和自动跟踪目标的固定标志和活动标志（信号闸门）；产生瞬时扫描；借电子射线管的匿隐和发亮作用在荧光屏上选出所需的信号；产生指示器的电源电压；把天线位置的信号传输到指示器上；产生并传输角度标志；产生把雷达机控制仪联合起来的计算装置的信号；最后是进行运算，所有这些在很大程度上是用电子射线管来实现的，并且更加扩大了指示设备的功用。

指示设备线路的特征 这项内容广泛的综合性问题，是借助一种特殊的电子管线路（此线路在雷达和电视出现以后，即最近20~30年内才获得广泛的发展）和各种同步跟踪远距传输来解决的。后者已超出了本教材所研究的范围。

上述线路的特征，主要是线路中通常必需采用各种不同波形（三角形、矩形、阶梯形、指数形、双曲线形等）的电压和电流。同时，这些电压和电流与正弦波不同，其波形甚至在通过直线性电路时亦会发生很大的变化。此外，与许多线路（例如接收机或发射机线路）不同，在指示器线路中，所需的信号不是在稳定过程中得

到，而是在过渡过程中得到。例如在电容器经过电阻或电感等充电时得到。

电子管在这些线路中常常不是作为线性放大器或准线性正弦电压振荡器，而是作为极非线性元件，其工作类似电子继电器“开-关”。因此，在数学分析这些线路时，很少采用所谓谐波分析，即在研究接收放大线路时广泛应用的傅里叶级数和积分法。组成并解线性微分方程是在分析指示器线路时的主要数学方法。

目前，在计算各种指示器线路时最广泛采用一种所谓以拉普拉斯单面和双面变换为基础的运算法。这种解微分方程的方法在分析以高阶微分方程表示的复杂线路时尤为方便和经济。但是，这种运算法与一般典型的解微分方程的方法比较也不免有些缺点。采用这种运算法最大的缺点之一是带图的数字运算忽略了现象的物理实质，以致难于研究过程和检查所得的结果。

由于后一种情况对于本教材具有头等的意义，同时在大多数的情况下所述的资料又只需涉及一阶和二阶微分方程，所以，在本教材中采用一般的解微分方程的方法，虽然这时在许多情况下必需的计算较长。

簡史 作为雷达部件的指示设备是无无线电技术和电子学最年青的部门之一。然而，在出现装有现代指示设备的雷达和电视以前的几十年，由于科学家和工程师的劳动和创造，在这方面已获得巨大的成就。

采用阴极射线管（现在称电子射线管）来显示电压和电流的波形开始于近百年之初。大约在这个时候，外国的布拉温，俄国的 A. C. 波波夫，同时采用阴极射线管来观测信号。A. C. 波波夫将相移为 90° 的正弦减幅振荡加在为显示电压和电流而焊入的板上，电子射线管荧光屏上就显示出螺旋波形。

1925~1930年欧美学者为了研究电离层，特别是为了测定电离层的高度，广泛应用脉冲法并采用椭圆扫描和圆形扫描指示器。苏联卓越的无线电技师，尼热哥罗得斯基无线电技术实验室

主任M. A. 彭奇·布魯也維奇教授(1888~1949)也研究了這些問題。在1932~1934年為了研究電離層他設計並製造了一部最簡單的雷達來測定電離層的高度。雷達的發射機用火花調制器控制，它每秒鐘發射50次二百微秒的脈沖。調制器的工作與電子射綫管熒光屏上的環形掃描同步。從電離層反射回來的脈沖由接收機接收、放大並傳送到電子射綫管的垂直偏向板上。

1935年架設在英國沿海地帶的雷達裝有帶振幅標志和直綫掃描的指示器。1940~1941年美國的雷達（特別是作為高射炮火指揮站用的SCR-268雷達）中亦裝有這種指示器。

在國產的雷達中也採用了一種振幅標志距離指示器。由於發明了這種雷達，1941年蘇聯工程師柯布扎列夫、波高列列科和車爾尼佐夫受到政府很高的獎賞。

採用輝度標志平面位置指示器（該指示器從1941年開始應用於地面用和飛機用的搜索和瞄準雷達中），大大擴大了雷達的實用範圍，並且開始了大力發展無線電定位和無線電導航中的指示技術。

第二次世界大戰末期，最完善的雷達之一是美國的SCR-584型炮瞄雷達。在這種雷達中除了裝有搜索目標用的平面位置指示器外，還利用環形掃描粗測指示器和精測指示器來讀目標距離，並將數據傳送到高射炮指揮儀。在指示器中採用主振石英振蕩器和穩定的分頻電路，可保證目標斜距的讀數具有很高的精確度。這種雷達尚裝有按角坐標自動跟蹤目標的指示器。

指示技術的最大特點，是利用張弛振蕩發生器，首先是利用三角形和矩形脈沖發生器。1918年M. A. 彭奇·布魯也維奇研究出了一種正回授二級變阻放大器綫路。此綫路是以後設計多諧振蕩器綫路之基礎。1918~1919年國外發表了自激多諧振蕩器綫路（阿布拉加穆和布洛赫）和雙穩態的多諧振蕩器——觸發器綫路（依克爾茲和爵爾丹）。

1925~1930年開始設計出了張弛負跨導振蕩器（范杰爾波里）

和电子射线扫描的线性电压线路（目前在示波器中采用巴克拉线路）。张弛负跨导振荡器的原理目前应用于幻象延迟振荡器中。

苏联科学院院士Л. 曼杰И. 里什塔姆和Н. Д. 巴巴列克西在发展非正弦振荡发生器的理论方面有着主要地位。这一学派的代表А. А. 安德罗诺夫和С. Э. 哈依金拟定了张弛振荡的理论，以后以此为基础发展了所谓启动线路的理论。

在学习本教材有关各章节时，我们将了解目前科学家和工程师们的重要著作。

1.2 扫描概念

空间目标的位置在雷达中通常用球面坐标（图1.2）来表示。一度、二度或三度球面坐标是借助所谓电子注扫描直接或用一定形式在指示器荧光屏上显示出来。

表示一个或几个变量的电子注的运动称为扫描。扫描可由外部发送器控制，或者是一个与任一外参数有关或无关的时间显函数。

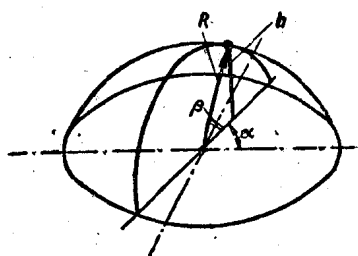


图1.2 目标的球面坐标：

最常用的是所谓时间扫描， R —距离； α —方位角； β —仰角； h —高度。

在这种扫描的情况下电子注的运动是时间的显函数。示波器上常用的扫描就是个例子。时间扫描的重要性在于研究信号的波形，以及在荧光屏上显示出若干数值。这些数值的时间关系是已知的。

在雷达中广泛采用线性时间扫描（即距离扫描），此时电子注的偏转与目标的斜距成正比

$$R = \frac{1}{2} ct,$$

式中 c ——光速；

t ——电磁能从辐射天线发射到达目标和再由目标反射回

来的傳播時間。

显然，距离扫描电压的增加速度能决定距离标志比例（一段扫描綫的長度与空間的实际距离之比），及在荧光屏的尺寸为规定值时能决定表示最大观测距离的扫描綫全長。这种扫描电压的参数将在第三章中詳細闡述。

根据天綫的空間位置决定的目标角坐标（方位角和仰角）通常用極坐标或笛卡兒坐标的形式直接在荧光屏上显示。有时也用基綫的形式显示。距离扫描由此基綫开始。

1.3 指示器的主要类型

目前有很多不同类型的指示器。这些指示器是为滿足对雷达提出的各种要求而設計的。指示器的分类主要按两个特点：坐标数和电子注調制的方法。按目标的坐标数，指示器分为一度空間指示器、二度空間指示器和三度空間指示器。按調制的方法分为振幅标志指示器和輝度标志指示器。其中前一种是按电子注对扫描綫的偏移来确定有无信号；而后一种是按荧光屏相应部分發光强度的改变来确定有无信号。下面概略介紹目前所采用的几种主要指示器。指示器的基本綫路在本講義的第二部分較詳細地加以討論。

振幅标志一度空間指示器 目标的距离是这种指示器的自变量。扫描綫通常是直綫形、环形或正弦曲綫形。按电子注对扫描綫的偏移来判断目标。

振幅标志一度空間指示器虽不能完全显示空間目标的位置，但却能令人滿意地判断回波信号的强度及其波形。这种指示器能保証最精確地測定距离。較常采用的是A型直綫扫描指示器（圖1.3）。目前該指示器用于：探照灯搜索目标、精測距离、識別标志信号或雷达指标信号，以及用作檢驗雷达各部件电压用的檢驗仪器（同步示波器）。

另有一种用于显示反射脉冲的波形和精測距离的A型指示

器，也就是延迟扫描指示器（P型）和《时间放大》指示器（在该类指示器荧光屏上光点的运动曲线见图1.4和1.5）。

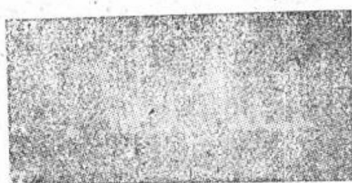


圖1.3 A型指示器：

a—荧光屏上之圖象；b—电子注扫描电压的变化规律。

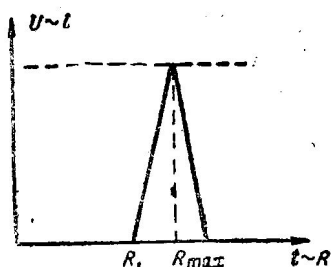


圖1.4 延迟扫描指示器(P型)
上的电子注扫描电压。

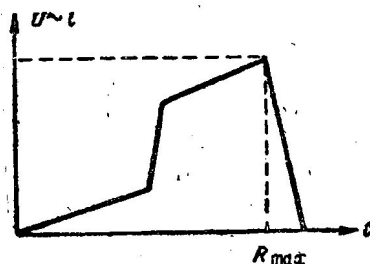


圖1.5 《时间放大》指示器
上的电子注扫描电压。

在前一种指示器中，扫描起点正好在已知的并为观测手所调好的时间间隔内延迟；扫描速度则根据获得测距最大精确度的条件选定。从图1.5看出，在《时间放大》指示器中扫描速度在某一小段距离区域内增加。这段区域的位置亦可按观测手的意愿改变。

振幅标志指示器尚包括通常用于炮瞄雷达中的环形和正弦曲线形扫描指示器。炮瞄雷达一般具有两个指示器：粗测指示器（其扫描相当于整个搜索距离）和精测指示器（用大刻度扫描一小段距离，见图1.6）。

辉度标志二度空间指示器 这类指示器为平面位置指示器。在平面位置指示器（ИКО）的荧光屏上以极坐标显现雷达周围的