



[12]发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 92109463.9

[51] Int.Cl⁵

G01S 13/46

[43] 公开日 1993年3月10日

[22]申请日 92.8.15

[30]优先权

[32]91.8.16 [33]NL [31]9101394

[71]申请人 荷兰塞纳拉帕拉塔公司

地址 荷兰亨厄洛

[72]发明人 艾伯特·格伦布姆

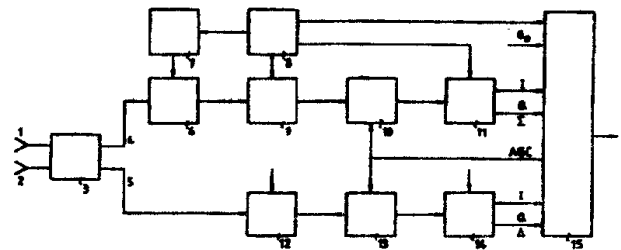
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
代理部
代理人 付康

说明书页数: 11 附图页数: 3

[54]发明名称 确定目标高度的方法与装置

[57]摘要

确定低仰角目标的高度的雷达装置,目标受到经由一个收发(TR)开关(6)的发射机(7)与天线(3)的照射。直接由目标以及间接由目标经地面反射的电磁辐射由天线(3)接收并在经TR开关(6)接到天线(3)的一个和接收器(9、10、11)中处理成复数和信号,以及在一个差接收器(12、13、14)中处理成复数差信号。一个接收复数和信号与复数差信号的信号处理器(15)提供有确定目标高度的一种算法。在天线保持对准目标时,该算法实现目标高度的确定。



<36>

1. 使用一个雷达装置确定低仰角目标高度的方法, 该雷达装置装有与一根发射与接收天线以及一个信号处理单元相连的一个发射与接收单元, 借此:

- 该目标被发射单元与发射天线所发射的电磁辐射所照射;
- 所发射的信号在接收天线的方向上由目标直接反射并且由目标与地面间接反射;
- 利用接收单元从接收天线所接收的信号中导出复数和信号 Σ 复数仰角差信号 Δ ;
- 利用信号处理单元执行从复数和与仰角差信号推算目标高度的一种算法;

其特征在于该发射与接收天线是基本上对准目标的。

2. 权利要求 1 中所提出的方法, 借此在该算法的基础上从复数信号 Σ 与 Δ 推算出目标距离 R 与复数仰角偏差电压 $S = \Delta / \Sigma$, 其特征在于目标高度 h_t 是通过解下列方程确定的:

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = f(R, h_t, \operatorname{Re}(S))$$

3. 权利要求 2 所提出的方法, 借此, 对于发射天线、接收天线

与接收单元,一个具有仰角偏差角 θ 的目标的一条实偏差电压曲线 $E(\theta)$ 是已知的,发射的信号具有波长 λ ,接收天线位于地面上的高度 h_a 并与地面成仰角 θ_0 ,其特征在于解下列方程:

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = \frac{4\pi h_a h_t}{\lambda} \cdot \left(1 + \frac{\operatorname{Re}(S)}{E\left(\frac{h_a + h_t}{R} - \theta_0\right)}\right) \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{R}\right)$$

4. 权利要求 2 中所提出的方法,借此,对于发射天线、接收天线与接收单元,具有仰角 θ 的目标的一条实仰角偏差曲线 $E(\theta)$ 是已知的,发射天线相继地发射至少具有波长 λ_1 与 λ_2 的信号,其中 $\lambda_1 \neq \lambda_2$,接收天线位于地面上高度 h_a 处并与地面成仰角 θ 。并借此确定值

$$\Sigma_1, \Delta_1, S_1 = \frac{\Delta_1}{\Sigma_1}, \Sigma_2, \Delta_2 \text{ en } S_2 = \frac{\Delta_2}{\Sigma_2},$$

其特征在于为确定 h_a ,解方程

$$\operatorname{Arg}(S_2) - \operatorname{Arg}(S_1) = \frac{4\pi h_a h_t}{R} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) \left(1 + \frac{\operatorname{Re}(S_1) + \operatorname{Re}(S_2)}{2E\left(\frac{h_a + h_t}{R} - \theta_0\right)}\right)$$

5. 确定一个低仰角目标的高度的装置,包括一个雷达装置,该雷达装置装有连接一根发射天线的发射单元,连接一个接收

单元的一根接收天线,借此,该目标受到发射单元与发射天线所发射的电磁幅射所照射,并且在接收天线的方向上所发射的信号被目标直接反射以及被目标经过地面反射,以及借此可以生成表示该目标的复数和信号 Σ 以及至少复数仰角差信号 Δ ,一个信号处理器连接到该接收装置,提供有用于确定目标高度 h_t ,以及连接到信号处理器用于将发射天线与接收天线对准描准点的装置,其特征在于目标与描准点是至少基本上重合的。

6. 权利要求 5 中提出的装置,借此,从信号 Σ 与 Δ 中推算出复数仰角偏差电压 $S = \Delta / \Sigma$ 以及目标距离 R ,其特征在于解下列方程的算法:

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = f(R, h_t, \operatorname{Re}(S)).$$

7. 权利要求 6 中提出的装置,借此对于发射天线、接收天线与接收单元,一个仰角偏差角 θ 的目标的一条实偏差电压曲线 $E(\theta)$ 是已知的,发射的信号具有波长 λ ,接收天线位于地面上的高度 h_a 处并且与地面成仰角 θ 。其特征在于确定

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = \frac{4\pi h_a h_t}{\lambda} \cdot \left(1 + \frac{\operatorname{Re}(S)}{h_a + h_t}\right) \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{R}\right) \cdot E\left(\frac{h_a}{R} - \theta\right)$$

8. 权利要求 6 中提出的装置,借此,对于雷达天线、接收天线与接收单元,具有仰角 θ 的一个目标的一实偏差电压曲线 $E(\theta)$

是已知的,发射天线装有用于相继地生成具有波长 λ_1 与 λ_2 的发射器信号,其中 $\lambda_1 \neq \lambda_2$,并借此确定值

$$\Sigma_1, \Delta_1, S_1 = \frac{\Delta_1}{\Sigma_1}, \Sigma_2, \Delta_2 \text{ en } S_2 = \frac{\Delta_2}{\Sigma_2},$$

接收天线位于一个地面高度 h_r 处并与地面成仰角 θ_0 ,其特征在于从下述方程中推算 h_r 的算法

$$\text{Arg}(S_2) - \text{Arg}(S_1) = \frac{4\pi h_a h_t}{R} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \left(1 + \frac{\text{Re}(S_1) + \text{Re}(S_2)}{h_a + h_t} \right) \cdot \frac{1}{2E \left(\frac{a}{R} - \theta_0 \right)}$$

9. 提供有权利要求5至9中所描述的一种算法的信号处理器。

确定目标高度的方法与装置

本发明涉及使用雷达装置确定低仰角目标的高度的方法,该雷达装置装有一个发射与接收单元,在该单元上连接有一个发射与接收天线及一个信号处理单元,借此:

- 目标被发射单元与发射天线所发射的电磁辐射所照射;
- 发射的信号在接收天线的方向上直接由目标发射并且间接由目标与地表面反射;
- 用接收单元从通过接收天线接收的信号中导出复数和信号 Σ 与复数仰角差信号 Δ ;
- 用信号处理单元执行一个算法从复数和与仰角差信号导出目标的高度。

本发明还涉及用于确定一个低仰角目标的高度的一种装置,该装置包括一个雷达装置,此雷达装置装有连接一根发射天线的发射单元和连接一个接收单元的一根接收天线,借此,目标被发射单元与发射天线发射的电磁辐射所照射并且发射的信号在接收天线的方向上直接被目标所反射与被目标通过地面所反射,并且借此用接

收单元能够生成能够反映目标的特征的复数和信号 Σ 及至少复数仰角差信号 Δ ，一个连接到接收单元的信号处理器提供有用于确定目标高度 h_t 的一种算法，以及连接到信号处理器用于将发射天线与接收天线指向一个描准点的装置。

一个目标的高度可用一个单脉冲雷达装置确定。在“雷达系统导论”*M. I. Skolnik*，第二版，160—190 页中描述了单脉冲原理。在 172—176 页中描述了确定海面上低空飞行的一个目标的高度所遇到的问题，并且在较小程度上也描述了在地面上的目标。这一问题是由于这样的现象，雷达装置不但接收直接来自目标的回波信号并且还接收海面反射的回波。没有这一多路效应的存在，便可简单地从单脉冲雷达装置输出的目标距离 R 与仰角偏差电压 $E(\theta)$ 的值中导出目标的高度。多路效应导致仰角偏差电压呈现一个复数值而不可能精确地确定目标高度。

只能通过选择一个雷达天线带宽，它窄到只接收直接来自目标的回波信号的程度从而排除海面反射的有害的目标回波才能避免所述多路效应的出现。然而，这一方法具有这样的缺点，以这样一个窄的波束，需要相对地长的时间才能捕捉住目标。专利 US—A4,743,907 提出了一个精巧的方案来避免这一缺点。通过完全地集成两个单脉冲雷达装置，第一雷达装置具有相对地大的波长及一个理所当然的宽波束，第二雷达装置具有一个相对地小的波长及一个理所当然的窄波束，便可能有捕捉与跟踪阶段中都达到优化的性能。然而

,这样一个系统需要可观的费用。

专利 US—A4,769,031 中描述了一种虽然出现多路也能精确确定目标高度的方法。根据这一专利中公开的方法,雷达天线不是对向实际目标的,而是对向正好位于实际目标与其象之间的一个空间中的点。随后以具有预定关系的至少两种不同的雷达波长进行测量,解一组方程,要从其中导出若干可能的目标高度。这样,通过相继地比较在这一方法的基础上导出的可能目标高度,便可确定目标高度。

在专利 EP—B0,087,355 中描述了精确确定目标高度的另一种方法。按照这一方法,天线的方向是继续不断地变化的。利用在不同的天线朝向上所得到的测量值,也有可能来解一组方程,从其中可以导出目标高度。

这两种方法都是繁琐的并且具有单脉冲雷达装置对向一个与目标不重合的描准点的缺点。对于一个单脉冲雷达装置,这一可对准是一个明显的次佳条件,然而,为了得到一组可解的方程,在当前的技术水平上是必要的。

根据本发明,可以在下述方法的基础上确定一个目标的高度,这一方法的特征是发射天线与接收天线基本上对准目标。

此外,所述方法是相对地简单的并且其特征在于目标的高度 h_t 是通过解下述方程来确定的:

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = f(R, h_t, \operatorname{Re}(S))。$$

根据本发明的装置的特征在地目标与描准点至少基本上是重合的。

本发明将参照下述附图进一步加以说明,其中:

图 1 示出根据本发明的一种单脉冲雷达装置的一个可能实施例的图;

图 2 示出一条可能的仰角偏差电压曲线;

图 3 展示多路效应。

为了精确定在海上或陆上低空飞行的一个目标的高度,使用了一种单脉冲雷达装置。在这一情况中,雷达装置发出的和信号与仰角差信号表现为复数值,它们将由与该雷达装置相连的一个信号处理器进一步处理。

图 1 示出了根据本发明的一种单脉冲雷达装置的一个可能的实施例的图。为了简化不必要的复杂说明,在分析中只包含了单脉冲在仰角中的特征。

上下放置的两个天线部件 1 与 2 连接在传统的耦合器 3 上,形成一条和通道 4 与一条差通道 5。由一个频率与定时单元 8 控制并发射脉冲信号的一个发射器 7 经由一个 TR(收发)开关 6 连接到和通道 4。通过和通道接收的信号经由 TR 开关 6 馈给一个混频器级 9,后者从频率与定时单元 8 接受一个 LO(本机振荡器)信号。得到的中间频率信号在中间频率放大器 10 中被放大并被 A/D 转换器与 Hilbert(希尔伯特)滤波器 11 转换成一个数字复数和信号 Σ 。通过

差通道 5 与接收的信号馈给一个混频器级 12, 后者也从频率与定时单元 8 接收一个 LO 信号。得到的中间频率差信号在中间频率放大器 13 中被放大并被 A/D 转换器与 Hilbert 滤波器 14 转换成一个数字复数差信号 Δ 。两个信号都被馈入一个信号处理器 15, 利用它确定一个仰角偏差电压 $S = \Delta / \Sigma$ 。A/D 转换器与 Hilbert 滤波器 11 与 14 可由相敏 (*phase-sensitive*) 的积分检波器加 A/D 转换器来代替, 但这里所描述的实施例在增益与偏移稳定性方面更令人满意。

假定在波束中有一个单一个的静止目标, 对于每一个发射的脉冲矢量 Σ 与 Δ 将保持相同并且在复平面上有一个固定的角。对于在波束中的一个单一个的移动目标, 两个矢量都将在多普勒频率上旋转, 但仍保持同一固定角。在通常实践中, 在两个通道之一中加上一个相位对准点使得两个矢量能够对准。对于一个单一个的目标, 仰角偏差电压便成实数。图 2 中表示了实仰角偏差电压曲线 $E(\theta)$ 。要指出的是, 尽管它的名字是电压, 仰角偏差电压是无量纲的。只要这一点是恰当的, 便有可能在信号处理器 15 中使 $E(\theta)$ 线性化, 至少对于小的 θ 值是这样; 这一点可以用一张线性化表来完成。在这一情况中, $E(\theta) = K \cdot \theta$ 适用于小的 θ 角。此外, 信号处理器 15 可生成一个 AGC 控制信号来调整两个中间频率放大器 10 与 13 的增益使得在和信号 Σ 中的目标回波信号的幅值基本上保持不变。这在和通道与差通道的一相位跟踪中可以有较不严格的要求; 它容许使用具有有限动态范围的 A/D 转换器, 并且限制了线性化表的大小。

通常,信号处理器 15 还可执行若干与这里所描述的发明关系不大的功能。这样,可以在信号处理 15 中实现传统的时间选通门功能。同时,一种 MTI(移动式目标指示)或 MID(移动式目标显示)方式的多普勒处理可以作用在 A/D 转换器与 Hilbert 滤波器 11 与 14 所导出的值上。此外,信号处理器 15 可生成使发射天线与接收天线对准(目标)的控制信号。

在波束中单一目标的情况下,直接接收到的一个回波以及作为经由海面的一个镜象,与表明为呈现一个复数值,如图 3 中所示。在图 3 中, h_a 表示天线在海面以上的高度, h_t 表示目标在海面以上的高度, R 表示从目标到雷达天线的距离,而 θ_0 表示天线仰角。对于一个移动目标, S 成为目标距离 R 、目标高度 h_t 、雷达发射波长 λ 以及若干系统常数的一个函数。我们的目的是找出包含这些值的一个方程并从中导出 h_t 。这一方程便将构成所提出的方法与装置的基础。

为了构成这一方程,我们定义:

h_a 天线在海面以上的高度。

h_t 目标在海面以上的高度。

R 从目标到雷达天线的距离。

θ_0 天线仰角。

θ_t 目标的仰角偏差角。

θ_m 镜象的仰角偏差角。

ρ 海面的反射系数。

ψ 海面反射的扰动相位。

φ 目标与镜象反射间的相位差。

$G_{\Sigma}(\theta)$ 仰角和通道的天线图。

$G_{\Delta}(\theta)$ 仰角 差通道的天线图。

$E(\theta)$ 仰角偏差通道的天线图。

现在可以导出下述近似值：

$$\theta_t = \frac{h_t - h_a}{R} - \theta_0 \quad (1)$$

$$\theta_m = \frac{-h_t - h_a}{R} - \theta_0 \quad (2)$$

$$\phi = \frac{4\pi h_t h_a}{\lambda R} + \psi \quad (3)$$

此外, 下述各式成立:

$$E(\theta) = \frac{G_{\Delta}(\theta)}{G_{\Sigma}(\theta)} \quad (4)$$

$$\Sigma = G_{\Sigma}(\theta_t) - \rho G_{\Sigma}(\theta_m) \cdot e^{j\phi} \quad (5)$$

$$\Delta = G_{\Delta}(\theta_t) - \rho G_{\Delta}(\theta_m) \cdot e^{j\phi} \quad (6)$$

$$S = \frac{\Delta}{\Sigma} = \frac{G_{\Delta}(\theta_t) - \rho G_{\Delta}(\theta_m) \cdot e^{j\phi}}{G_{\Sigma}(\theta_t) - \rho G_{\Sigma}(\theta_m) \cdot e^{j\phi}} \quad (7)$$

接着,我们能够定义:

$$A = E(\theta_t) = E\left(\frac{h_t - h_a}{R} - \theta_o\right) \quad (8)$$

$$B = -E(\theta_m) = -E\left(\frac{-h_t - h_a}{R} - \theta_o\right) = E\left(\frac{h_t + h_a}{R} + \theta_o\right) \quad (9)$$

最后的方程是基于 $E(\theta)$ 的奇对称的。

我们定义一个校正后的反射系数 G , 借此考虑一个对准目标的单脉冲天线的情况中, 镜象反射是进一步被天线图衰减:

$$G = \rho \frac{G_{\Sigma}\left(\frac{-h_t - h_a}{R} - \theta_o\right)}{G_{\Sigma}\left(\frac{h_t - h_a}{R} - \theta_o\right)} \quad (10)$$

接着,从(3)、(7)、(8)、(9)与(10)得出:

$$S = A + \frac{e^{j\phi}}{1 - G e^{j\phi}} \cdot G \cdot (A + B) \quad (11)$$

在正常的目标跟踪中,天线是对准目标的,从而 $A=0$;

$$S = \frac{e^{j\phi}}{1 - R e^{j\phi}} \cdot G \cdot B \quad (12)$$

S 的实部可定义为:

$$\operatorname{Re}(S) = \frac{\cos \phi - G}{1 + G^2 - 2G \cos \phi} \cdot G \cdot B \quad (13)$$

至于 S 的幅角,下式成立:

$$\arg(S) = \phi + \operatorname{arctg} \left(\frac{G \sin \phi}{1 - G \cos \phi} \right) \quad (14)$$

从而:

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = \left(1 + \frac{\cos \phi - G}{1 + G^2 - 2G \cos \phi} \right) \frac{d}{dt} \phi \quad (15)$$

(13)与(15)相结合产生所要求的方程:

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = \left(1 + \frac{\operatorname{Re}(S)}{B} \right) \frac{d}{dt} \phi \quad (16)$$

进一步的研讨揭示除了一些系统参数与测量值之外, h_c 与 ψ 是(16)中仅有的未知数。

对于平静的海面我们可假定:

$$\frac{d}{dt} \psi = 0 \quad (17)$$

与(16)相结合产生:

$$\frac{d}{dt} \arg(S) = \frac{4\pi h_a h_t}{\lambda} \cdot \left(1 + \frac{\operatorname{Re}(S)}{h_a + h_t}\right) \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{R}\right) \quad (18)$$

$$E\left(\frac{a}{R} - \theta_0\right)$$

假定对于小的 θ 值, $E(\theta)$ 是线性的, 这是 h_c 的一个二次方程。如果 $E(\theta)$ 不是线性的, 这一方程可解, 例如用牛顿法。从一定时间中得到的一系列目标高度推算值中用一个时间常数及消除极端偏离的推算值的传统过滤方法(这是本技术中公知的方法)可以求出最佳的目标高度推算值。

如果平静海面条件并不成立, 则必须选择第二种解法, 因此如果

$$\frac{d}{dt} \psi \neq 0$$

则我们可以通过在两个不同的波长上进行测量而消除未知的 ψ 。从(16)中可导出:

$$\arg(s_2) - \arg(s_1) = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \left(1 + \frac{\operatorname{Re}(S)}{B}\right) d\phi \quad (19)$$

对于较小的波长差,可用下述近似式:

$$\frac{1}{\phi_2 - \phi_1} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \operatorname{Re}(S) d\phi = \frac{\operatorname{Re}(S_1) + \operatorname{Re}(S_2)}{2} \quad (20)$$

它与(3)、(9)及(19)结合,产生:

$$\arg(S_2) - \arg(S_1) = \frac{4\pi h_a h_t}{R} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \left(1 + \frac{\operatorname{Re}(S_1) + \operatorname{Re}(S_2)}{2E \left(\frac{h_a + h_t}{R} - \theta_0 \right)} \right) \quad (21)$$

这一方程用(18)下面所描述的方法之一来求解。

这样得到的 h_r 值可用于将发射天线与接收无线对准目标。用这一方法可得到一个仰角偏差角,它与忽略仰角偏差电压的虚部的单脉冲雷达装置相比可显示一个数量级的改进。此外,这一方法相对地不受扰动的影响,特别是 $A=0$ 不是一个必要的条件。

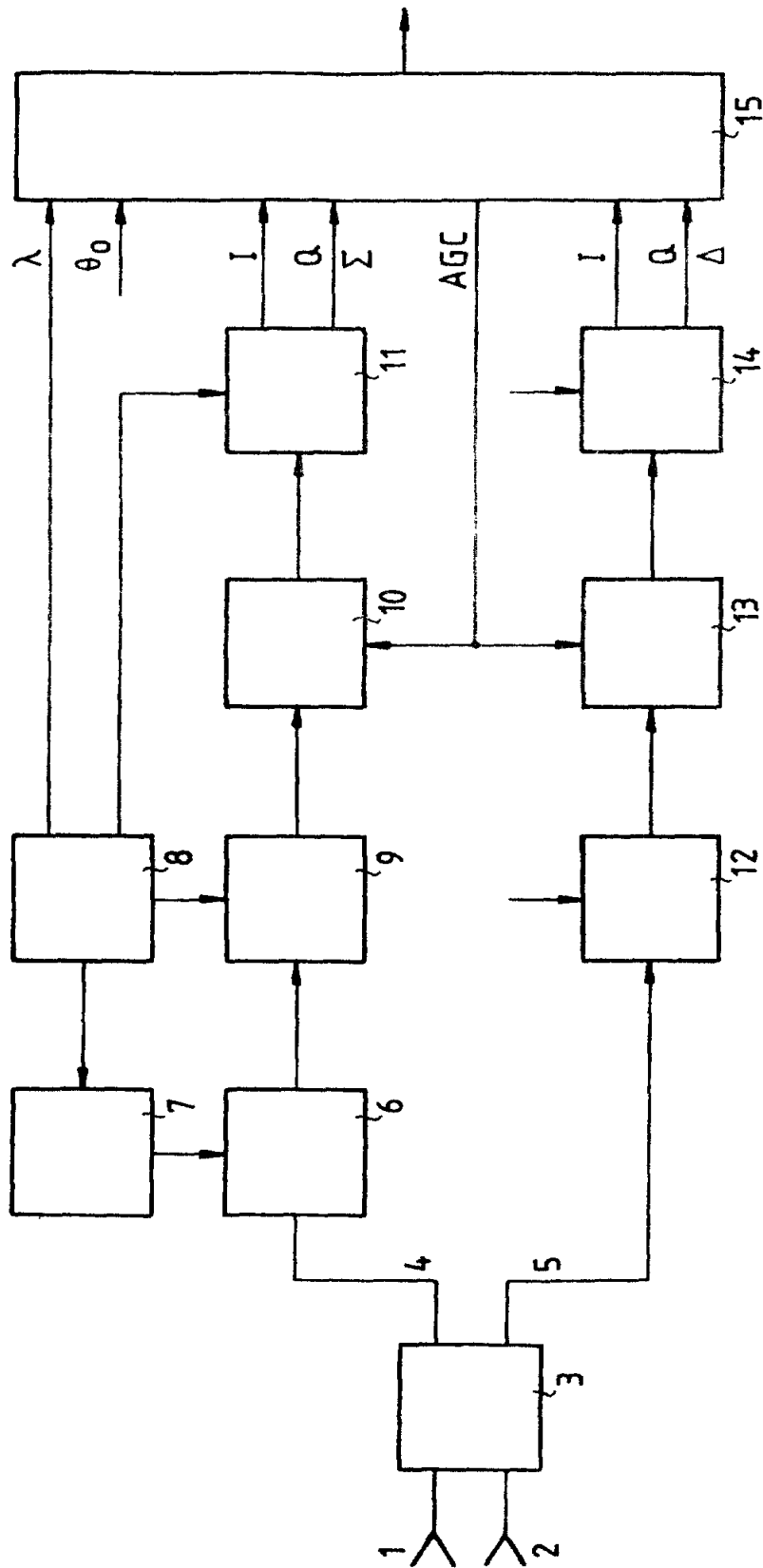


图.1

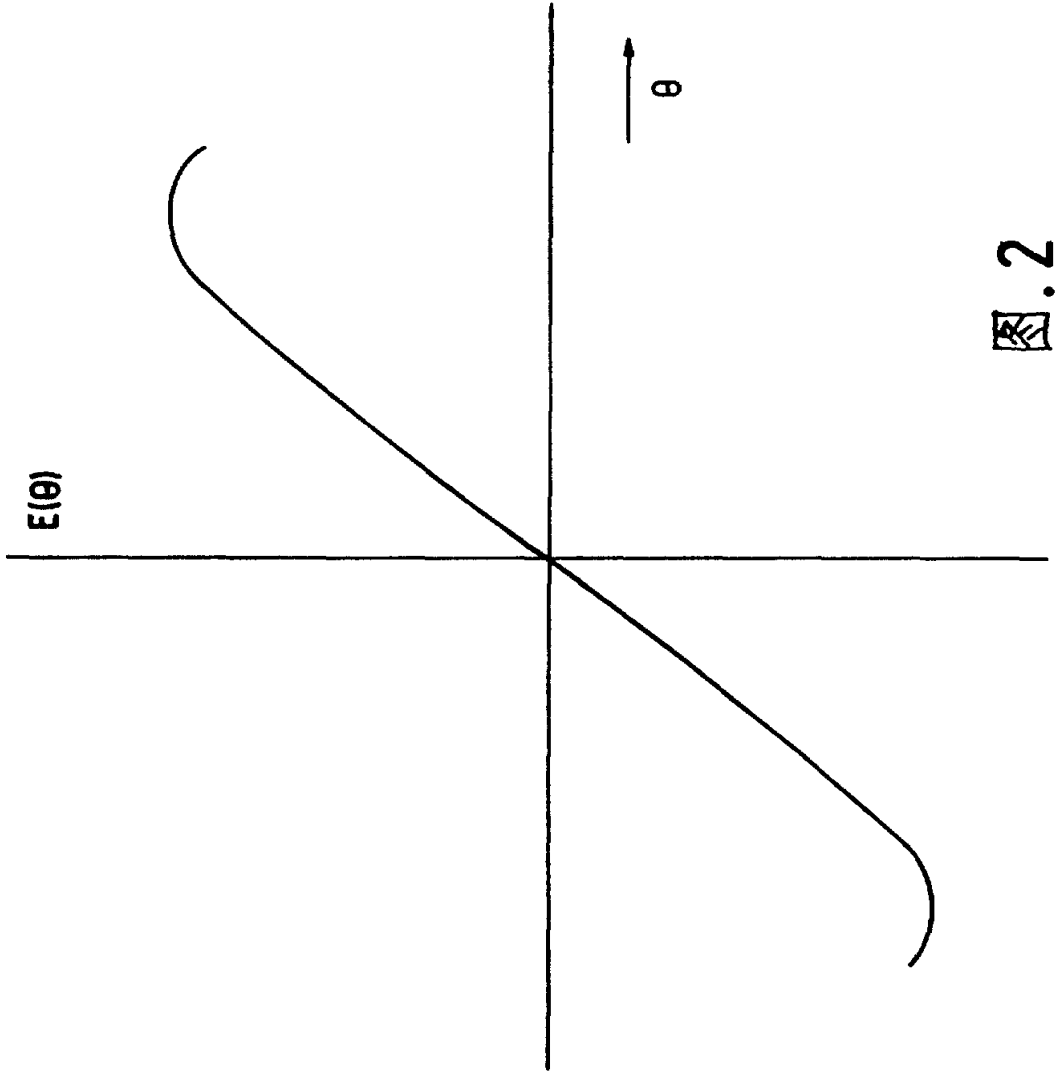


图.2

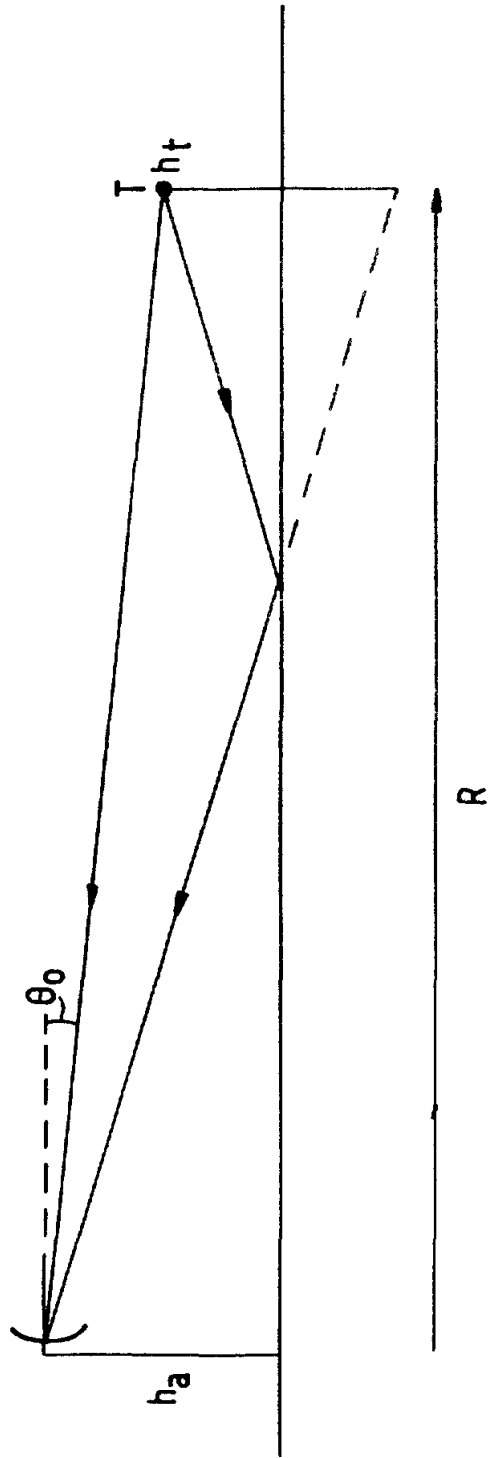


图. 3