



雷 达 技 术 小 丛 书

天 线 开 关

A. П. 卡 魯 斯 著



國防工業出版社

73.4571.170

73.4571
170

天 綫 开 关

[苏联] A. И. 卡魯斯 著

电信工业局編譯所譯

3/c552/19

國防工业出版社

內容簡介

本书系苏联軍事出版社出版的《雷达技术小丛书》之一。

本书通俗地講解收发天綫开关，叙述了同軸綫和波导管天綫开关的作用原理和結構。

本书的讀者对象是与无线电技术设备的使用有关的軍官。对于願意詳細了解雷达各部件和元件的工作的广大讀者來說，本书也有参考价值。

АНТЕННЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

〔苏联〕А. П. Карусь

ВАЕНИЗДАТ 1957

*

天 綫 开 关

电信工业局編譯所譯

*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1\frac{1}{32}$ 印張 $1\frac{3}{16}$ 25 千字

1960年1月第一版 1965年7月第二次印刷 印数：3,351—6,450册

統一书号：15034·416 定价：(科六) 0.17元

前 言

天綫开关是雷达天綫饋綫系統中最重要的一部們之一。它的用途是在接收和发射时，分配天綫饋綫系統中的能量，保护接收机輸入电路，以免发射机的能量漏进接收机中。

本书闡述用一副天綫的米波和厘米波脉冲雷达中使用的天綫开关（收发轉換开关）的結構原理和工作原理。

本书不研究控制雷达天綫系統方向图用的开关，因为这种开关在关于方向图控制一书中已有相当詳細的叙述。

天綫收发轉換开关系利用綫路諧振特性和离子器件（火花放电器）来实现轉換的。根据雷达的工作波段，諧振綫可以是平行开路綫或軟同軸綫（米波段）、剛性同軸綫（10 厘米至 1 米的波段）和波导管（10 厘米以下的波段）。

目 录

前言	3
I 米波雷达天线开关	4
1. 对天线开关的要求	4
2. 火花放电器的特性和结构	5
3. 谐振线的特性	8
4. 天线开关的工作原理	10
5. 放电器功率效率的提高	14
II 分米波雷达和厘米波雷达的天线开关	22
1. 同轴天线开关	22
2. 波导管天线开关	30
3. 平衡(桥接)天线开关	34
III 破坏天线开关正常工作的主要原因	38

73.4571
170

天 綫 开 关

〔苏联〕A. И. 卡魯斯 著

电信工业局編譯所譯

Э/СССЗ/19



國防工業出版社

目 录

前言	3
I 米波雷达天线开关	4
1. 对天线开关的要求	4
2. 火花放电器的特性和结构	5
3. 谐振线的特性	8
4. 天线开关的工作原理	10
5. 放电器功率效率的提高	14
II 分米波雷达和厘米波雷达的天线开关	22
1. 同轴馈天线开关	22
2. 波导管天线开关	30
3. 平衡(桥接)天线开关	34
III 破坏天线开关正常工作的主要原因	38

前 言

天綫开关是雷达天綫饋綫系統中最重要的一部們之一。它的用途是在接收和发射时，分配天綫饋綫系統中的能量，保护接收机輸入电路，以免发射机的能量漏进接收机中。

本书闡述用一副天綫的米波和厘米波脉冲雷达中使用的天綫开关（收发轉換开关）的結構原理和工作原理。

本书不研究控制雷达天綫系統方向图用的开关，因为这种开关在关于方向图控制一书中已有相当詳細的叙述。

天綫收发轉換开关系利用綫路諧振特性和离子器件（火花放电器）来实现轉換的。根据雷达的工作波段，諧振綫可以是平行开路綫或軟同軸綫（米波段）、剛性同軸綫（10 厘米至 1 米的波段）和波导管（10 厘米以下的波段）。

1 米波雷达天线开关

1 对天线开关的要求

用一副天线的雷达，其天线开关具有两个主要功用：在发射时（无线电波能量向空间辐射时），自动使接收机的输入电路阻塞；在接收被反射的无线电波能量时，则使发射机的输出电路阻塞。

根据天线开关的用途，对其提出下列的主要要求：

1. 发射机作脉冲振荡时，天线应接到发射机的输出端上。此时，接收机应与天线电路断开，以免接收机的输入电路及灵敏元件（超高频电子管、晶体混频器）过载。
2. 发射机振荡一停止，天线应立即从发射机输出端转接到接收机输入端；发射机则应与天线电路断开，以免所接收的信号功率损耗在发射机的输出电路中。
3. 发射和接收时，功率在天线开关中的损耗应极小。

根据雷达工作条件的不同，天线开关的动作时间应为十分之几微秒至几个微秒（决定于辐射脉冲宽度）；天线由发射到接收再由接收到发射的转换次数每秒钟应为 50 至 3000 次（决定于脉冲重复频率）。这样快的转换速度，采用机械转换开关实际上是不可能获得的。因此，必须采用离子转换开关。

在介绍天线开关的作用原理之前，必须先谈谈火花放电器和谐振线的特性。

2 火花放电器的特性和结构

天线开关之所以采用火花放电器，是因为火花放电器的工作状态改变时，其电阻值几乎立刻就能从很大变为很小。当火花放电器接入某一开路线路时，供给电压值还未达到足以产生火花放电之前，该线路仍然是开路的。放电时，放电器的电阻值降至很小，所以线路短路（在有些情况下，当火花隙和导线的电阻极小时，线路实际上是短路的）。放电器电压除去时，其电阻值又迅速恢复到很大。

雷达天线开关的火花放电器可有各种不同的结构：从接在馈线导线间两个电极的简单火花隙（空气放电器）起，到装在玻壳中的充水蒸汽或惰性气体的放电器（气体放电管）止。同时，为了改善气体放电管的工作性能，还装有辅助电极。

根据雷达的工作条件，火花放电器应符合下列要求：

1. 开始放电前，放电器电极间的电阻应很大；而在放电时，电阻值应降至很小。因此，要产生放电，就必须将巨大的点火电压 U_0 加到放电器上；开始放电后，放电器的工作电压 U_r 应不太高（图1）。

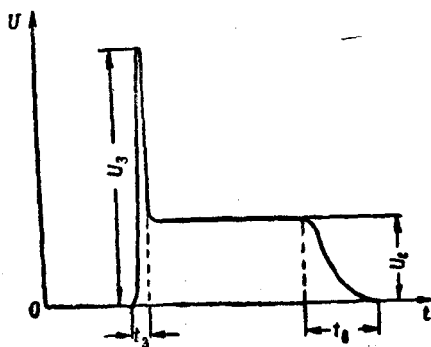


图1 气体放电器电压的变化。

2. 放电器的点火时间 t_0 应为百分之几微秒。

3. 恢复时间 t_n （去电离时间）应极短，实际上只有几个微

秒。

放电器的恢复时间长短，对接收距雷达很近的目标反射信号有很大的影响。恢复时间愈短，就能接收到愈近的目标反射信号，亦即雷达的盲区愈小。

空气放电器完全去电离的时间约为 10 微秒，但因脉冲作用停止后，放电器的电离度即迅速下降，故其恢复时间实际上是自发射机脉冲作用停止时起，到经天线开关进接收机的信号振幅达到 $1/2$ 额定值的时间（额定值时间相当于放电器完全去电离的时间）。通常，这一时间约为 3 微秒，即等于距雷达 450 米的目标信号返回的时间。

适当选择放电器的结构（电极的形状和电极间的距离），降低电极周围气体的压力，就可降低放电器的击穿电压及保持电弧所必需的工作电压。因此，将放电器的电极装在充低压水蒸汽或气体的玻壳内（图 2 a）。

经验证明，在压力为 10 毫米水银柱下的水蒸汽中复原（恢复或去电离）最为迅速。玻壳中充水蒸汽，可大大缩短放电器的恢复时间，但是不能在低温下使用，因为水蒸汽冰冻时，就不能保护接收机输入电路。为了降低水蒸汽的冰点，可加入少许氩或氙。这样做虽能保护接收机输入电路，但放电器的恢复时间稍微增长。

发射机作脉冲振荡时，当放电器未击穿前，对接收机来说，最危险的是其中一部分能量漏进输入电路。放电器的点火电压愈高，则在产生脉冲后放电器的点火愈迟，漏进接收机

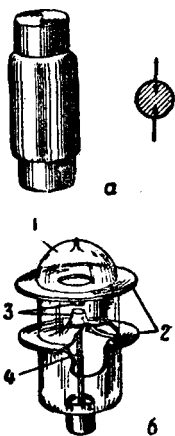


图 2 气体放电器
件：

a — 气体放电器及其符号图；b — 有辅助电极的气体放电器及其符号图。

中的振蕩能量也愈多。可見，最好是降低放电器的点火电压。只要改变放电器火花隙产生气体放电的条件，就可以使点火电压降低。

如果在接通高频电压的瞬間（发射机作脉冲振蕩的瞬間），火花隙中已有若干自由离子，那末，产生放电就比較容易。所以，在气体放电器玻壳中装一輔助电极（点火电极）；当高频能量饋入綫路之前，先将較其中一个主电极約高 1000 伏的电压加到輔助电极上。当电压加到輔助电极（点火电极）上时，放电器中产生輝光放电，引起气体預先电离。因此，在发射机作脉冲振蕩的瞬間高频电压加到主电极上时，主电极間产生放电的条件便大大好轉。

帶輔助电极的放电器用于厘米波雷达中。

根据漏进接收机輸入电路的容許振蕩功率，对天綫开关提出如下的一些要求：如果輸入电路的負荷是电子管混頻器，則漏进电子管的振蕩平均功率不得大于 10~20 瓦；如果輸入电路的負荷是晶体混頻器，則該平均功率不应超过几个毫瓦，否則晶体会燒毀。

放电器点火后，漏进接收机輸入电路的振蕩功率 P_{np} 与饋送的脉冲功率无关。平均功率决定于作用于放电器的电压 U 和傳綫的特性阻抗 ρ ●，因此：

$$P_{np} = \frac{U^2}{\rho} \bar{V}_0.$$

- 无限长的长綫电阻称为傳輸綫特性阻抗，它与单位长度綫段的电感 L_1 和电容 C_1 有关。所以，长綫特性阻抗与其結構和介質特性有关。长綫特性阻抗按下式計算：

$$\rho = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}},$$

例如，若放电器的工作电压 U 为 30 伏，傳輸線的特性阻抗 ρ 等于 300 欧，則漏进接收机輸入电路的振荡功率为：

$$P_{np} = \frac{30^2}{300} = 3 \text{ 瓦。}$$

从结构上看，有輔助电极的气体放电器（图 26）是一充惰性气体（或掺有惰性气体的水蒸汽）的玻壳 1，玻壳内有主电极 3、接触环 2 和輔助电极（点火电极）4。主电极用于产生火花放电，輔助电极則用于在电子管中产生辉光放电（气体預先电离）。接触环在电气上連接放电器和空腔諧振器（见图 19）。

3 諧振線的特性

长度为 $\lambda/4$ 整数倍的非閉路（开路）綫或短路綫叫做諧振綫。諧振綫通常有平行的、同軸的和空腔的（波导管）三种。

接有負荷的傳輸綫具有下列特性：

1. $1/4$ 波长綫（图 3）或 $1/4$ 波长奇数倍綫的輸入阻抗为：

$$R_{BX} = \frac{\rho^2}{R_H},$$

式中 R_{BX} ——长綫輸入阻抗；

ρ ——长綫特性阻抗；

R_H ——負荷电阻。

这样的长綫如果一端短路（ $R_H = 0$ ），則其輸入阻抗 R_{BX} 为无穷大，即相当于綫上 A、B 两点开路。如果 $1/4$ 波长綫一端开路（ $R_H = \infty$ ），則其輸入阻抗等于零，亦即相当于綫上 A、B 两点短路。

2. 半波长綫（图 4）或 $1/4$ 波长偶数倍綫的輸入阻抗为：

$$R_{BX} = R_{H0}$$

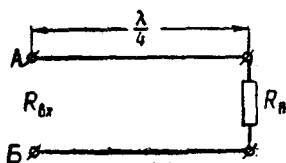


图 3 接有負荷的 $1/4$ 波长綫。

这样的线路如果一端短路 ($R_H = 0$), 则其输入阻抗等于零,

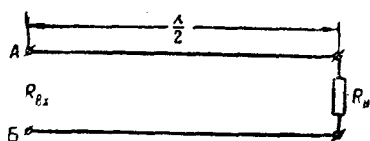


图4 接有负荷的半波长线。

即相当于此线的输入端短路。如果半波长线一端开路 ($R_H = \infty$), 则其输入阻抗 R_{Bx} 为无穷大, 即相当于线上 A、B 两点开路。

由于 $1/4$ 波长奇数倍短路线的输入阻抗很大, 所以其输入端上的电压很高, 电流很小。可见, 这种长线相当于有集中常数 L 和 C 的

并联谐振电路 (图5)。

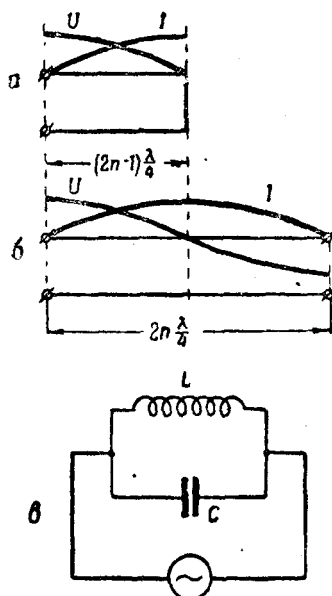


图5 等效于并联振荡电路的谐振线中电压和电流的分布:

α — $1/4$ 波长奇数倍短路线; δ — $1/4$ 波长偶数倍开路线; θ —并联振荡电路。

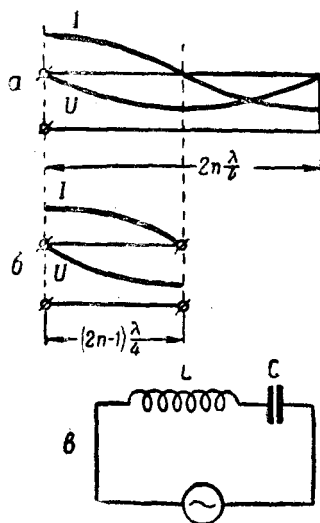


图6 等效于串联振荡电路的谐振线中电压和电流的分布:

α — $1/4$ 波长偶数倍短路线; δ — $1/4$ 波长奇数倍开路线; θ —串联振荡电路。

由于 $1/4$ 波长偶数倍短路綫或 $1/4$ 波长奇数倍开路綫的輸入阻抗很小，所以其輸入端上的电流很大，电压很低。这种长綫相当于串联諧振电路（图 6）。

天綫开关的工作原理就是利用諧振綫的上述特点。

4 天綫开关的工作原理

現代米波雷达的天綫开关主要是用軟同軸綫和火花放电器組成的。但是，为了易于闡明天綫开关的工作原理，我們先来研究平行开路綫天綫开关的工作。这种天綫开关用于旧式米波雷达。

用一个放电器的平行开路綫天綫开关的綫路如图 7 所示。平行綫从連接发射机和接收机的綫路上距发射机輸出端子（1、2 两点） $\lambda/2$ 处接至天綫。

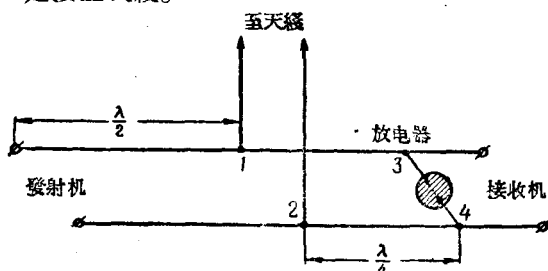


图 7 用一个放电器的天綫开关原理图。

气体放电器接在天綫饋綫和接收机間（3、4 两点）距天綫饋綫連接点 $\lambda/4$ 的綫段上。

为了便于討論，我們可假設放电器放电时的阻抗等于零；放电器不放电时的阻抗为无穷大。

发射时（向空間輻射能量时），导綫間的电压很大，使气体放电器击穿（点火），綫上的 3、4 两点短路。放电器放电时， $1/4$ 波长綫段 1、2 两点上的輸入阻抗无穷大，即相当于此綫段断开。

因此，发射机的能量直接进入天线，而不到接收机。

接收时，反射能量在天线中产生一个极小的电动势，因此，导线间的电压亦很小，故放电器不会击穿。在这种情况下，发射机和接收机与天线并联。因此，在不振荡时发射机输出阻抗相当大（半波长 1、2 两点之间的阻抗也是这样大），则几乎全部能量均从天线进入接收机。但是，必须指出，这一阻抗并非经常都是很大的，并且在这种情况下，从天线进来的能量有一大部分可能流入发射机。

对于选择天线开关的线路，重要的是要知道发射机在静止状态下的输出阻抗与振荡状态下的输出阻抗的比值。因为，在接收和发射时，天线开关的能量分配取决于发射机的输出阻抗、长线特性阻抗、天线电路阻抗和接收机输入阻抗的比值。

发射机在静止状态下的输出阻抗可能比振荡状态下的输出阻抗大得多，也可能小得多，或者相差很小。

现在我们来研究一下每种情况下采用的天线开关的线路。

1. 如果发射机在静止状态下的输出阻抗比振荡状态下的输出阻抗大得多，则天线开关的线路按图 7 装接。

我们再次来探讨图 7 所示天线开关线路的工作。假设：发射机在振荡状态下的输出阻抗 $R_{n,r}$ 等于 300 欧，长线特性阻抗 ρ 、天线阻抗 R_a 和接收机输入阻抗 $R_{n,r}$ 也等于 300 欧（即这些阻抗完全匹配^①）；而发射机在静止状态下的输出阻抗 $R_{n,e}$ 等于 6000 欧。放电器的放电阻抗为 30 欧。

① 能源和负荷阻抗与长线特性阻抗匹配，在于在线路内得到行波状态，以减少由于波的反射而产生的能量损耗。

匹配元件（变换器）常用短路线段（短綫）。关于阻抗匹配的詳細情况請閱“傳輸綫”一书。

利用这些数据再来研究图 7，我們就可以看清，在这种情况下，当发射和接收时，能量在天綫开关中是怎样分配的。

发射时，放电器被击穿，1、2 两点上的輸入阻抗（見第 3 节“諧振綫的特性”第 1 条）等于

$$\frac{\rho^2}{R_p} = \frac{300^2}{30} = 3000 \text{ 欧。}$$

从发射机到天綫开关的能量，应从 1、2 两点起沿两并联电路傳輸：沿輸入阻抗为 300 欧的电路輸入天綫；沿輸入阻抗为 3000 欧的电路进入接收机。从电路的这一阻抗比例关系可知，发射机的絕大部分能量进入天綫，只有很小一部分能量漏进接收机（放电器上的电压很小，故对接收机并无危險）。

接收时，放电器不会击穿，天綫电路上的能量应从 1、2 两点沿两并联电路傳輸：沿輸入阻抗为 300 欧的电路到接收机；沿輸入阻抗为 6000 欧的电路到发射机。显然，在电路阻抗的这种比例关系下，天綫上的絕大部分能量将进入接收机，只有极小一部分能量漏进发射机。

2. 如果发射机不振荡时的輸出阻抗比振荡状态下的輸出阻抗小得多，則天綫开关的綫路按图 8 装接。

假設：图 8 所示的綫路中，发射机在静止状态

下的輸出阻抗 $R_{n.c}$ 为 30 欧，而在振荡状态下的輸出阻抗 $R_{n.r}$ 如前所述等于 300 欧。天綫阻抗 R_a 、长綫特性阻抗 ρ 和接收机輸入阻抗 R_{np} 亦与图 7 綫路相等，为 300 欧。

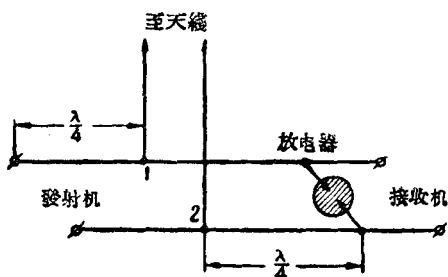


图 8 $R_{n.c} \leq R_{n.r}$ 时用的天綫开关綫路。