

飞机通信导航设备天线故障分析与检测

尹志航

(南航河南分公司飞机维修厂, 郑州 451162)

[摘要] 对波音 737/300 飞机通信导航系统的天线故障进行了分析。为加深理解, 以模型方式讨论了天线对电子系统正常工作的各种影响的原因, 同时对如何提高排故效率进行了探讨, 最后介绍了一种无线电收发设备天线故障辅助检测方式。

[关键词] 天线; 阻抗; 驻波比; 故障分析

1 概述

现代飞机的电子设备在飞行控制和通讯联络过程中要完成很多重要的功能, 作为机载通信导航电子设备的一个组成部分, 天线对其所属的电子系统的工作有着重要影响。根据对近年来我公司波音 737/300 飞机电子系统故障进行的初步统计, 天线故障约占电子系统故障的 20%, 而且容易出现一些需要较长时间才能排除的疑难故障。

2 两起典型故障

飞机上的多数通信导航电子系统都包含有天线部分。以波音 737 飞机为例, 指点信标、空中交通管制 (ATC)、测距机 (DME)、甚高频导航 (VOR/ILS)、自动定向机 (ADF)、无线电高度表 (RA)、气象雷达、高频/甚高频电台、防撞系统 (TCAS) 等, 这些系统除 TCAS 计算机和 ATC 应答机面板上有天线故障指示灯以及气象雷达天线故障可在 EFIS 上显示外, 如果其它系统天线故障导致系统不能正常工作, 则不太容易及时将故障原因判断出来。值得说明的是, TCAS、ATC 等系统如果天线发生故障并不一定在收发机的面板上显示出来。我公司 B-2929 飞机 1997 年 3 月曾发生 TCAS 工作不正常故障, 现象是 ATC 控制面板上故障灯亮, 被选择 ATC 应答机上的 FAIL 灯亮, 而 ATC 应答机上的上下天线故障灯并未亮, 更换 TCAS 计算机和左右 ATC 收发机都未能使系统正常工作。后来分析故障可能出现在左右 ATC 应答机使用的公共部分, 导致将故障目标转移到天线上, 拆掉下天线后发现底座已受到腐蚀, 更换下天线后系统工作正常。这个故障说明 ATC 应答机内部的天线监测电路准确性有限。1999 年 6 月有一段时间 B-2952 飞机机组反映第二部 VHF 通话噪声大, 维修人员先后对第二部 VHF 收发机、控制面板、遥控电子组件等进行了串件处理, 都没有解决问题, 后来拆下第二部 VHF 天线, 发现天线底座导电表面已被腐蚀, 密封橡胶圈已严重老化, 腐蚀甚至已经发展到了天线底座和同轴电缆的插头内部, 在镀金插头表面形成一层青白色结晶物质, 这种情况使接触电阻大幅增加, 阻抗不匹配很严重, 导致发射效率降低和通话噪声增加。更换 VHF 下天线并清洁天线底座, 第二部 VHF 工作即恢复正常。

天线故障存在不稳定性, 容易受到环境变化、温度变化、振动等的影响, 如果对故障判断不准, 更换了收发机、接收机、控制盒等, 系统故障可能暂时消失, 可过一段时间又会出现, 结果是不能及时排除故障, 影响飞行安全; 若误换系统组件还会给航空公司造成一些经济损失。

3 天线模型分析及术语

天线处于机身的外部, 工作环境比较恶劣, 常年会直接受到雨水的侵蚀, 尤其是下方的天线还可能会受到从货舱等处流出的液体的腐蚀, 天线座上的密封胶和里面的密封圈也容易老化失效, 这样腐蚀有可能到达天线底座与机身的导电接触面上, 导致接触电阻增加, 天线阻抗变化, 发射效率大幅降低, 接收灵敏度下降。天线受到腐蚀、天线与同轴电缆的插座接触不良以及从电子舱到各天线之间的同轴电缆破损最终都可归结为发射 (接收) 机与天线的阻抗不匹配, 导致天线驻波比增大, 发射 (接收) 效率严重降低 (接收信号时由于信号能量不能有效到达接收机, 使接收灵敏度降低, 接收噪声增加)。下面对天线进行简要定性分析。

(1) 特性阻抗: 飞机上的同轴电缆与天线的标准阻抗大部分为 $50\ \Omega$ (ADF、TCAS 等设备除外)。

(2) 电压驻波比 (VSWR): 如果天线与馈线 (同轴电缆) 的阻抗不匹配, 那么高频能量有一部分

会反射折回，与前进的波产生干扰汇合发生驻波。VSWR 值对应于入射功率和反射功率的比例关系。图 1 和图 2 示出了不同情况下传输线上的射频电压分布。SWR 为 1.5 时，反射功率占入射功率的 4%，SWR 为 2 时，反射功率占入射功率的 11%(见表 1)。

SWR= $\frac{V_{\max}}{V_{\min}}$

表 1 VSWR 和反射功率

VSWR	反射功率 / 入射功率
1	0%
1.1	0.23
1.2	0.83
1.3	1.7
1.5	4
2	11
3	25
5	44

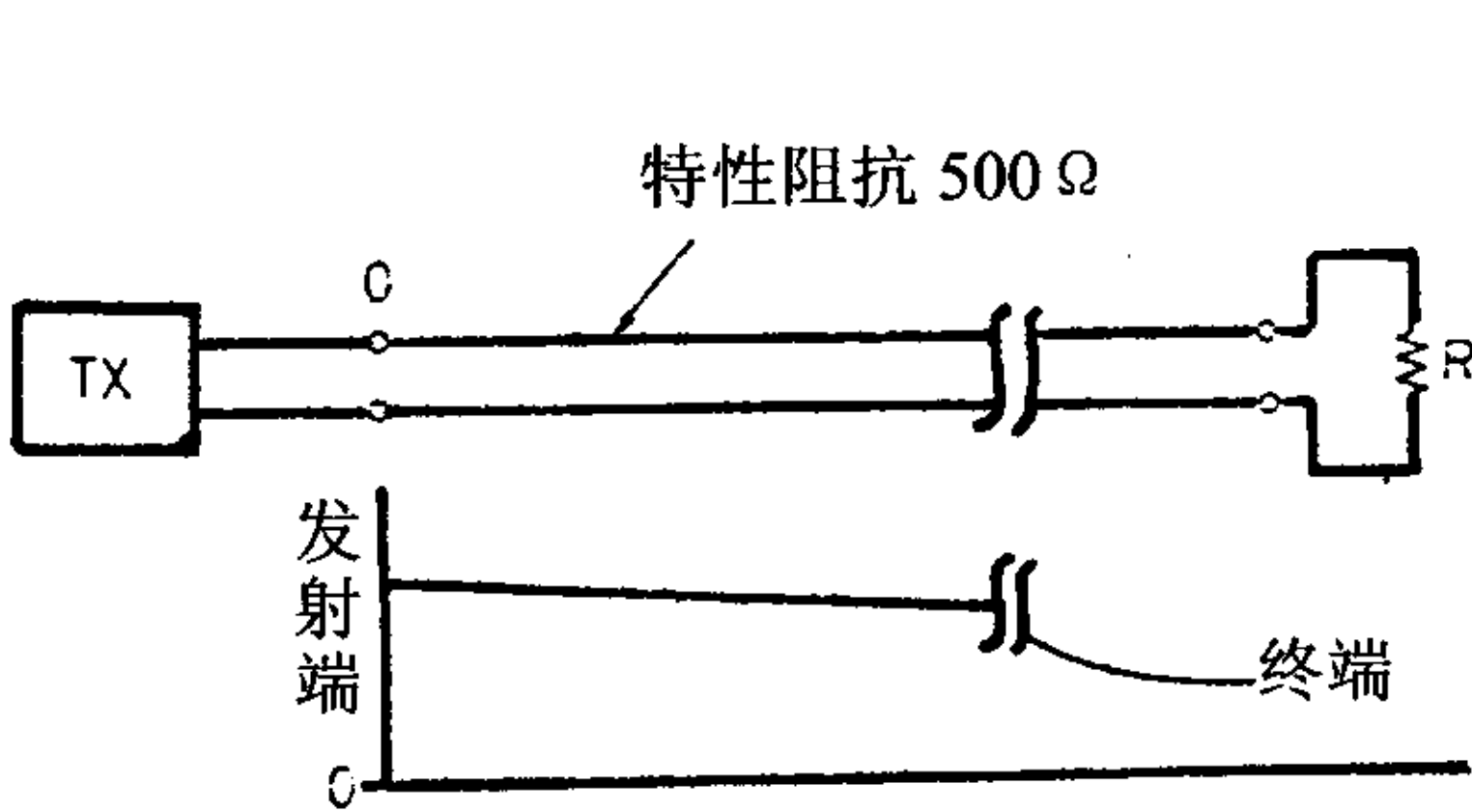


图 1 连接与特性阻抗相同电阻是同轴电缆上的电压分布

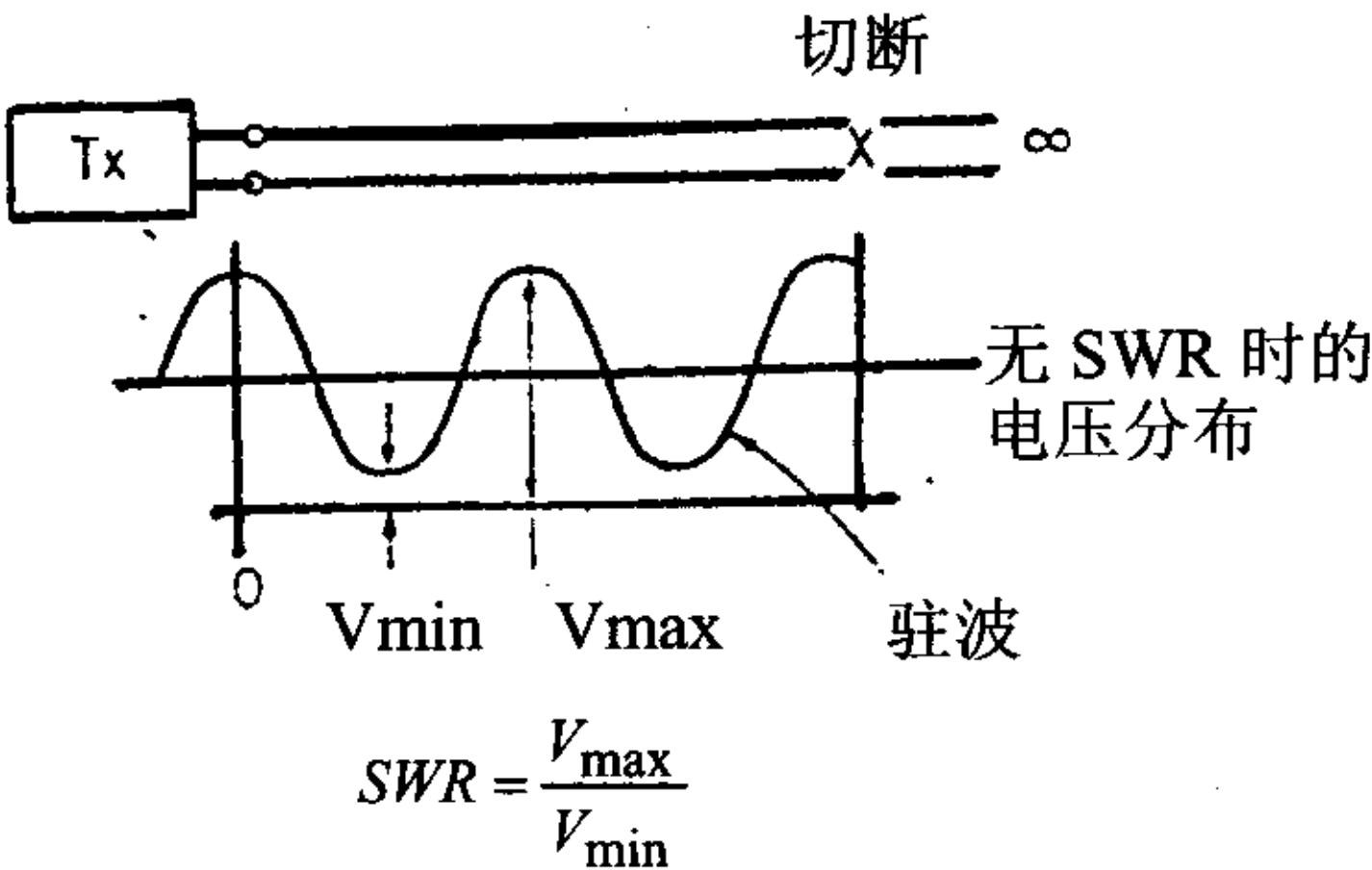


图 2 终端被断开时电缆上的电压分布

(3) 天线增益：增益的定义是：在测试天线和全向基准天线上给出同一功率的信号时，在最大电场方向上接收的功率之比。

(4) 极化方式：发射或接收的电波对于大地而言，电场分量垂直的称为垂直极化波，电场分量呈水平的称为水平极化波。如果接收天线和发射天线极化波面不一致，则通信能力会急剧下降。飞机上的通信导航电子系统有些采用垂直极化波，有些采用水平极化波。

4 天线常见故障

(1) 指点信标机天线：如果天线出现故障，通常表现为灵敏度低，高低灵敏度选择电门放至“高”时可以接收信号，放在“低”时接收不到信号。

(2) DMC 测距机：DMC 天线在 L 波段使用，额定射频阻抗 50 Ω，在整个频率范围内最大允许电压驻波比为 2:1。当左 DMC 和右 DMC 天线出现故障时，RDDMI 上对应一侧的显示数值会出现不稳定或无显示。

(3) VOR/ILS 导航系统天线：VOR 天线是一种具有 50 Ω 特性阻抗的二元天线，LOC 天线是具有 50 Ω 特性阻抗的水平极化天线，也是二元天线，有两个插座；下滑道天线是一个单独的水平极化组件，特性阻抗 50 Ω，也有两个同轴电缆接头，如果航向道或下滑道指示偏差大或指示时有时无，则可能是航向道天线和下滑道天线与同轴电缆的连接部分出现问题。

(4) 自动定向机 (ADF) 系统的天线：包括垂直天线和环形天线，ADF 使用的同轴电缆与其它系统不同，特性阻抗不是 50 Ω，而是 78 Ω。因垂直天线喷涂在机翼后下部的整流罩上，很少出现故障，常见的是环形天线故障，导致相应的方位指针指示误差增加的现象，这也是因为天线故障使接收机灵敏度大幅度降低的缘故。

(5) 无线电高度表：天线故障率比较高，如果有一侧 EADI 上高度显示时有时无，显示不稳定，而且对调收发机无效，很可能是故障一侧收发机的天线出现问题。天线受潮可能会导致短时间内工作不

正常，应对其进行跟踪观察。

(6) VHF 天线: 甚高频天线是垂直极化天线, 具有全向发射功率和 $50\ \Omega$ 特性阻抗。故障率比较高的是第二部 VHF 天线, 因为第二部 VHF 天线在机身下面容易受到腐蚀, 导致发射功率下降和通话噪声增加。

(7) TCAS 天线: 由于近几年来民航运输发展较快, 航班增加较多, 单位空域内飞机密度增大, 对飞机的空中交通管理和飞行安全提出了更高的要求。TCAS 系统做为飞机防撞的重要设备, 无疑对飞行安全起着越来越重要的作用。TCAS 天线回路的分布参数对系统能否正常工作影响很大, 因此结合维护手册用高频电路的阻抗匹配和天线驻波比的基本方法去分析解决 TCAS 系统的一些疑难故障会收到事半功倍的效果。TCAS 的上下天线都是内部有四组不同阻值线圈的复合天线, 波音 737/300 飞机的起落架手柄在放下位置时 (包括飞机在地面、飞机刚起飞、飞机准备降落等三种状况), TCAS 下天线被设置成全向天线, 这时只有上天线有方向性, 换句话说, 只有上天线为 TCAS 计算机提供对方飞机的方位信息, 而飞机的起落架手柄在收上位置时, 上天线和下天线都被设置成定向天线, TCAS 计算机根据对方飞机的高度选用上天线或下天线提供的信号。如果飞机在地面时 EFIS 上显示的周围飞机符号不正常跳动, 很可能是上天线出现了故障。

5 辅助检测方法

由于飞机电子系统的天线出现故障后常使相应的电子系统工作时好时坏，维修人员很难通过驾驶舱和电子舱的相关信息在短时间判断出故障原因，一般要依靠自己的维护经验进行分析，先确定故障可能性比较大的部件，然后进行串件跟踪观察，这样可能要花费几天的时才能最终将故障排除。更为有效的办法是对 VHF、DME、VOR/ILS、ADF 等设备的天线功能使用专用仪器进行测试，如用射频功率计、SWR 测量计，测试发射天线是否正常，或用射频信号发生器提供一个衰减信号测试接收天线部分是否正常。下面介绍能对 VHF 电台天线进行检测的一种简易低成本的射频功率计（参见图 3）。

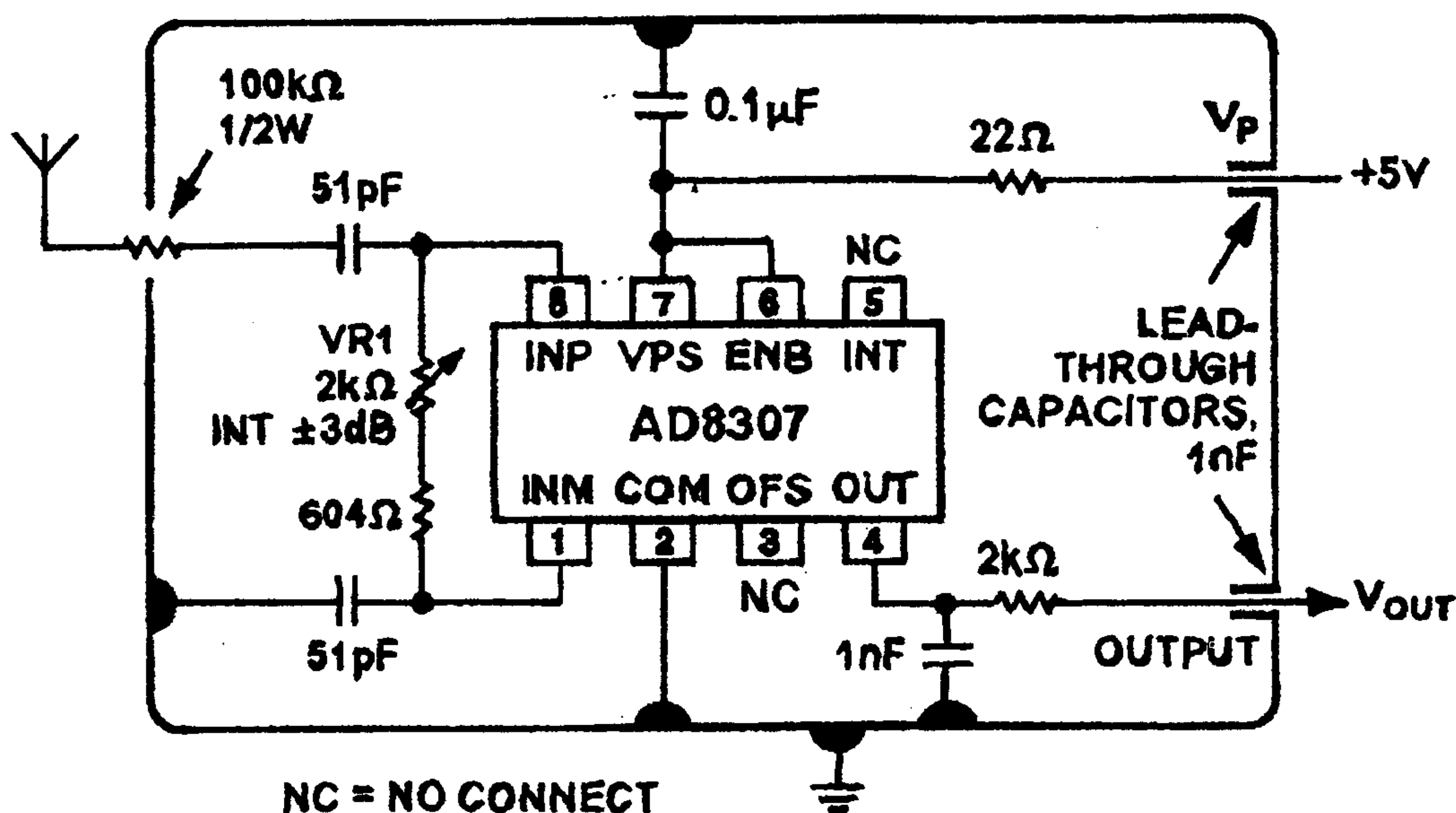


图3 一种简易射频功率计

这个射频功率计采用美国 ANALOG DEVICES 公司最新推出的 AD8307 射频检测专用集成电路作为核心。它能以非接触测量方式精确地检测出无线电设备发射信号的功率大小,有效频带宽度达 1.2GHz,有效输入范围为 -60dBm~+10dBm。图 3 所示的输出梯度为 20mV/db 的电压,使用一个 2V 的电压表头即可指示出 70dB 的动态范围。使用时,将该射频功率计的天线靠近飞机上需要检测的 VHF 电台天线(如机组反应第一部 VHF 电台距离远时噪音很大,而在本场通话测试却正常的故障),保持一定的距离和方位,记下电压表头读数;再将该射频功率计的天线以同样的距离和方位靠近另一个同类设备的发射天线,再记下电压表头读数。假设前面的读数明显小于后面的读数,则对调收发机再次进行测量,如果结果和第一次一样,则很有可能是第一部 VHF 电台天线出现故障,导致驻波比增大,使发射效率降低,需要对此天线进行检查。对所测定正常输出电平进行记录,以后不用与另一架飞机进行比较也能知道发射状况是否正常。如果没有射频功率计,排除这类故障至少需要两到三天时间,而应用射频功率计就能立刻准确找到故障点,节省了排故时间,避免了航材误换,保证了飞行安全。