

大型仪器的维护与维修(122~127)

BAIRD Ps-6 电感耦合等离子发射光谱仪 RF 发生器的故障分析与检修

张文德*, 李 焯, 陆 敏

(中国石油化工股份有限公司上海石油化工研究院, 上海 201208)

摘 要:在对 RF(射频)发生器作简介的基础上,从联锁保护电路入手,选择了 RF 发生器不能进入点火前的准备状态、无输出功率、输出负载过重、不能形成等离子火炬、点不着火、自动调谐时点火困难和严重超载出现过热等七例有代表性的、已排除了的故障实例深入进行分析研究,提出了排除故障的思路与办法。

关键词:RF 发生器;联锁保护电路;故障分析;检修

中图分类号:O657.32

文献标识码:B

文章编号:1006-3757(2003)02-0122-05

Ps-6 真空型电感耦合等离子发射光谱仪是美国 BAIRD 公司上一世纪 90 年代初期产品,用于液体样品的快速定量分析,通过微机控制自动完成光路系统的校正、准直及 60 个指定分析通道元素的测量与计算。RF(射频)发生器是电感耦合等离子发射光

谱仪的核心部件之一,用以产生高频电能,通过点火线圈火花放电引燃、将高频电能耦合到炬管的等离子体上,得到类似火焰的高频放电光源。RF 发生器频率:46.68 MHz,最大输出功率:1.5 kW。图 1 为 RF 发生器原理图。

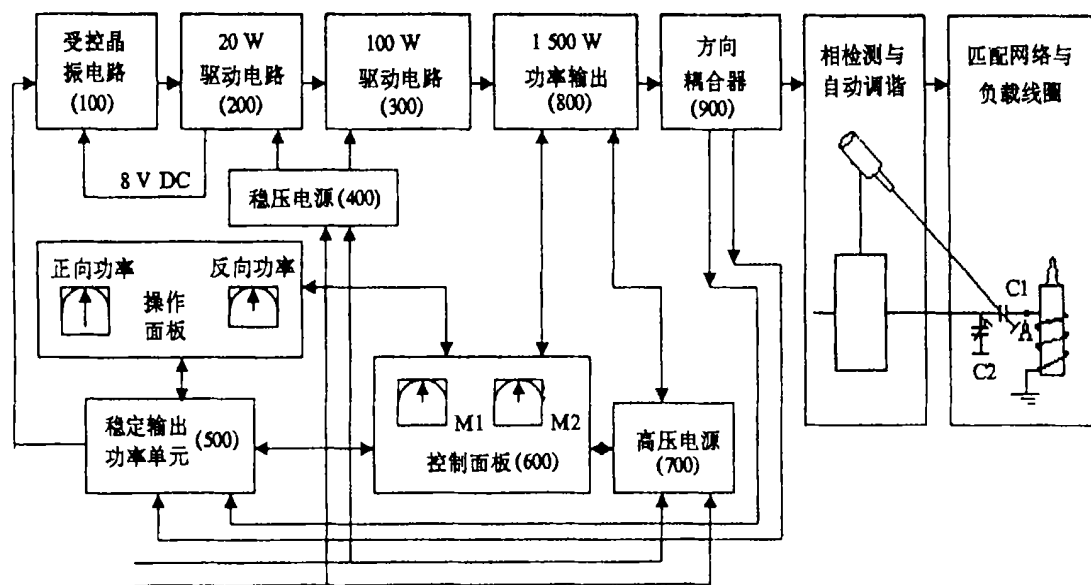


图1 RF 发生器原理图

Fig. 1 Block diagram of RF generator

作者简介:张文德,男,教授级高级工程师,主要从事大型分析仪器的安装、调试、维护、检修及改造工作。

* 通讯联系人。 收稿日期:2003-03-28; 收到修改稿日期:2003-05-06。

1 联锁保护电路

Ps-6 真空型电感耦合等离子发射光谱仪的光路系统大部分置于真空中,作为高频放电光源的 RF 发生器产生的射频辐射对人体有伤害,强大的输出功率极易使炬管及功放管受损烧毁,为此,仪器设置了多种联锁保护电路。

联锁保护电路有:(1) 水、气与 RF 发生器联锁保护;(2) RF 发生器过载联锁保护;(3) RF 发生器冷却风扇与交流电源联锁保护;(4) 分析室门与点火电路联锁保护;(5) 自动调谐电路真空电容位移限制保护;(6) 真空与倍增管高压联锁保护。限于篇幅,本文绘出了水、气与 RF 发生器联锁保护、RF 发生器过载联锁保护和自动调谐电路真空电容位移限制保护三种电路分解图,提出了正常工作条件与出现异常时仪器的保护措施。

2 故障分析与维修对策

联锁保护电路是仪器安全运行的守护神,开机时 RF OFF 灯不亮(ready 条件不具备)或运行过程中 RF 发生器突然中断供电(RF ON 灯灭),是仪器进入保护状态的安全措施。要使用和维修好仪器,必须深入研究仪器正常工作的条件,有哪些安全联锁保护。传感器的位置、特性,其保护对象,出现异常时仪器的工作过程和保护措施。

故障 1 故障现象:RF OFF 灯不亮,仪器不能进入点火前的准备状态。

分析与检查:从图 2 水、气与 RF 发生器联锁保护电路分析可知,仪器的点火条件为:(1) RF 发生器冷却风扇风量正常;(2) 输出级未过载;(3) 炬管门已关上;(4) 冷却水流量正常;(5) 冷却气流量正常;(6) 作为载气的氩气压力正常;(7) 反向功率小于额定值 250 W;(8) RF-OFF 灯完好;(9) +12 V DC (700) 正常;只有具备上列 9 个条件,RF-OFF 灯亮,仪器才具备开机条件。逐条核对上述条件发现:CARRIER AIR(载气)压力调不到额定值,并伴有极微弱的吱吱声,循声查找,直出至减压阀,卸开发现减压阀膜有裂纹。

维修与结果:不得已笔者用液化气减压阀膜片代用,RF-OFF 灯亮,载气流量稳定,仪器工作正常,至今已运行近十年。

故障 2 故障现象:按下 RF ON 灯后,增加输出功率给定值,仪器交流稳压电源电流表读数迅速增至

50 A 的极大值,并伴有带重负载时沉闷的嗡嗡声,交流稳压电源瞬间进入过载保护状态,自动切断交流供电。

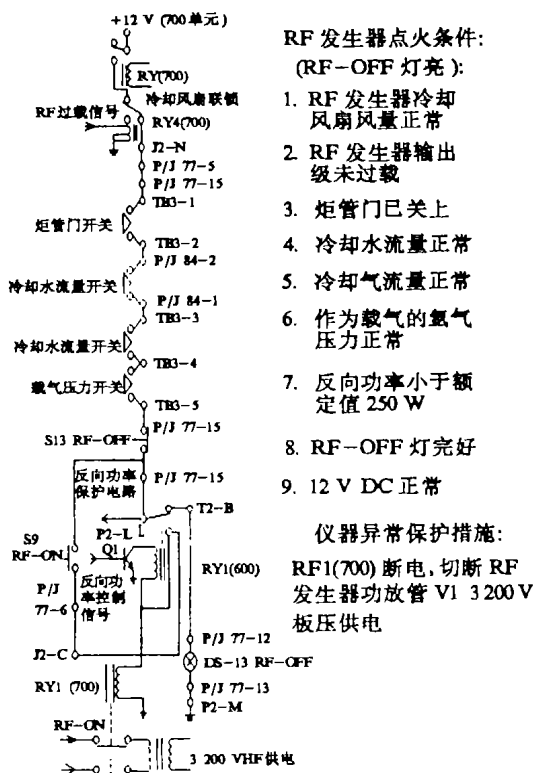


图 2 水、气与 RF 发生器联锁保护

Fig. 2 Interlock protect circuit of cooling water, carrier gas and RF generator

分析与检查:交流稳压电源严重过载,故障多半出自 RF 发生器 800 单元的功放级,将 RF 发生器过载联锁保护电路(图 3)结合故障现象进行分析,RF 发生器的功放管 V1 未进入过载保护,过载故障应出在 V1 管以外的电路。图 4 为 1.5 kW 功率输出单元原理图,从 P1 处断开该单元高压供电,超载现象消失,检查高压供电,3.2 kV,正常,拆开该单元反复检查,发现 C4、C5 二个 100 P/1 500 V 的大功率片状耦合电容过热老化碎裂,可能是长期冷热不均固定螺丝松动造成打火发热所致。

维修与结果:备件到货,安装过程中先后出现下列问题:点不着火,反向功率过大,经反复调整虽能点火,但出现下列问题:

- (1) 设定很小的输出功率值,确能获得大到足以点燃火焰的输出功率。
- (2) 正向功率指示值偏低,而实际工作值偏高。
- (3) 火焰很不稳定。

反复检查测试 500 稳定输出功率单元、800 功率输出级和 900 方向耦合器的电路,最终发现 900 单元的 2.5 kW 正向功率耦合片受潮、使耦合性能变差所致。经加热烘烤并反复调试功率输出电路后仪器工作正常。

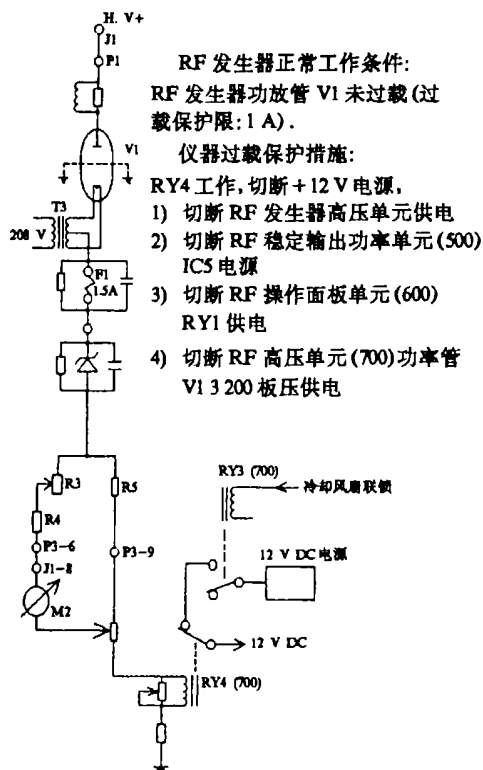


图3 RF 发生器过载联锁保护

Fig. 3 Interlock protective circuit of the overload of RF generator

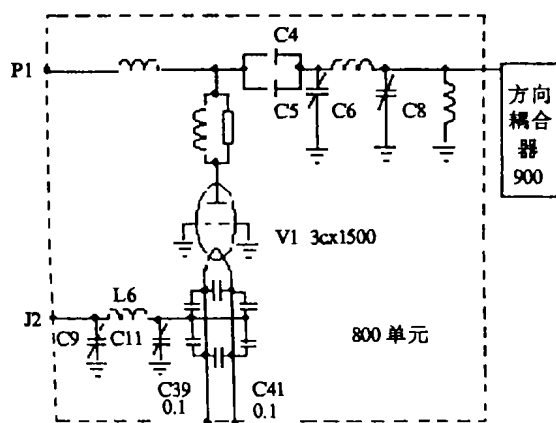


图4 1.5 kW 功率输出单元原理图

Fig. 4 Block diagram of final power amplifier

正向功率耦合片受潮所出现的种种怪异,解释如下:图5为稳定输出功率单元原理图,900 单元的 2.5 kW 正向功率耦合片受潮性能变差,正向功率的

采样信号(FWR)变小,经 500 单元 IC2 放大后输至正向功率指示器信号值偏低,尽管 IC6 输入端的输出功率给定值不变,但由于正向功率负反馈信号减小,IC7 输出信号偏大,使得输出功率大幅度增加,造成输出功率给定值、正向功率指示值与实际工作值不一致;负反馈深度不够,还造成了系统的不稳定和火焰的抖动。

故障3 故障现象:按下 RF ON 灯点着火后,增加输出功率给定值,无功率输出,正反向功率指示均为零。

分析与检查:在增加输出功率给定时,正反向功率指示均为零,仪器输入端的交流稳压电源电流指示值不变,说明确实没有功率输出,故障疑点是 1.5 kW 输出级,见图 4 原理图。检查 800 单元 P1 处功放管 3CX1500 的板压,3.2 kV,正常, C39 0.1、C41 0.1 处功放管的灯丝电压,7.8 V AC 正常,用示波器观察 800 单元的 J2 电缆接口的输入信号,正常,由此判定故障出在 800,打开反复检查,最终发现,在 800 单元 J2 输入端的 L6 与 C9 焊接处,出现了几乎难以观察到的细微裂纹,虚焊点脱开。

维修与结果:重新焊接后再试,有正反向输出功率指示,反复调整匹配网络单元的 C2、800 单元 PA LOAD C6、PA TUNA C8 和 C9、C11 后,仪器运行良好。在调试过程中,曾出现正向功率迅速下跌的情况,经清洗相关的高频电缆接头,用热风干燥正反向功率耦合器后工作正常。

注意:由于 800 单元输出功率高,功放管自身发热大,单元中元器件的温升高,开关机时一热一冷,容易造成接头松动、虚焊点脱开,维修过程发现不少用螺丝固定的接线头松动、甚至出现打火放电,维修中尤须注意。

故障4 故障现象:不能形成等离子火炬。

分析与检查:点火过程的本质是 RF 发生器的高频电能通过点火线圈火花放电,引燃并将电能耦合到炬管的等离子体上,得到类似於火焰的高频放电光源。点不着火的因素可归纳为:(1) 气路:管道混入空气;氩气不纯;冷却气流速不当。(2) 仪器:炬管位置不当;点火间隙太大;高压点火电路故障;自动调谐的调谐点与设定值相差太远;RF 电路故障;样品室门未关好。(3) 操作:点火操作不当,点火时间太短。出现本故障时发现:(1) 自动调谐电路有平衡点;(2) 反向功率表头指示值小于 250 W,但正向功率仅为 50 × 10 W;(3) 点火时,点火线圈有吱吱

放电声;(4)没有点着火时的爆鸣声;(5)RF 功放管的极压、极流、灯丝电压和栅流正常;(6)出故障前,仪器是正常关机,使用人员亦相当熟练。由此可排除气路、操作及点火器的问题,故障应在 RF 发生器部分。从图 1 分析:有正、反向功率指示,说明在方向耦合器 900 以前各级电路工作基本正常。调谐电路有平衡点,排除了相检测与自动调谐电路故障的可能。重点检查匹配网络与负载线圈,如果匹配网络的输出阻抗与炬管的阻抗不等,会引起输出功率的大量反射,致使反向功率过大。使图 2 中 Q1 基极电平变低,RY1 (600) 释放,经 RY1 (700) 切断功放管 3.2 kV 的板压而进入保护状态,点火过程中止,由于炬管不能获得足够能量,炬火不能点燃、维持。本仪器设计成单调谐自动匹配网络,使等离子体在点火前自动调谐到匹配点,点火后重新调谐到

新的匹配点,运行期间,作为自动补偿的可变电容 C1 的容量,跟随着负载阻抗的变化而变化,以获得阻抗匹配,形成稳定的等离子体火炬和最小的反向功率。由于谐振电容的介质是空气,连续霪雨天气会使空气湿度加大,空气的介电常数改变,电路老化,参数的渐变,使自动补偿匹配网络负载阻抗不足以跟踪这一变化,从而影响了点火的效果。

维修与结果:用热风干燥炬管及电感耦合线圈后,情况改善,偶尔能点着炬火,但不能维持。打开机箱,调整匹配电容 C2 及其它相关元器件,经多次反复调节,炬管火焰能点燃并维持,正向输出功率稳定,反向输出功率趋于零,炬火正常。调试过程中曾出现:功率输出不稳、反向功率过大、炬火窜至炬管底部等现象。

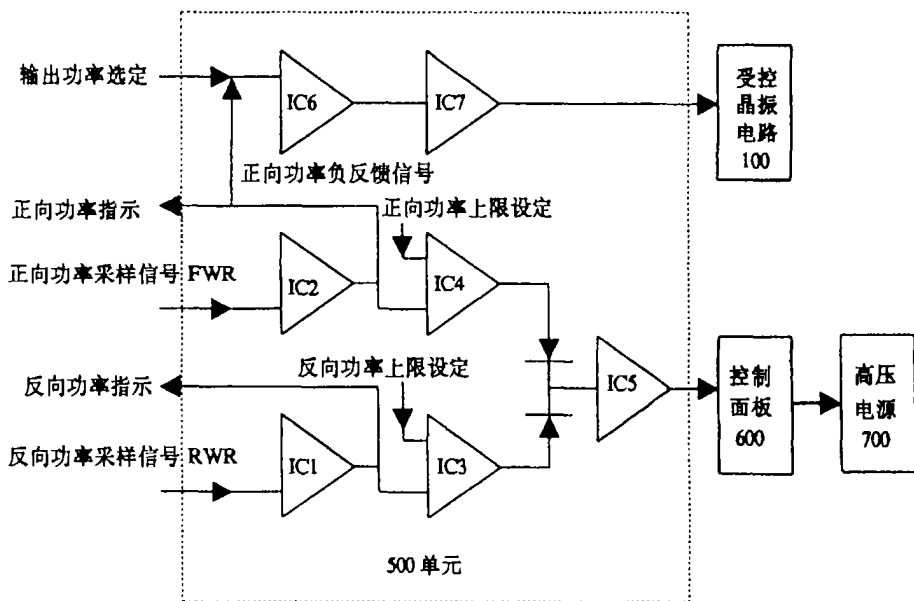


图 5 稳定输出功率单元原理图

Fig. 5 Block diagram of constant power unit

故障 5 故障现象:点不着火。

分析与检查:观察仪器各部件情况:(1)自动调谐时从匹配网络观察孔(RF CAP SETTING)中看不到真空电容 C1 位置计数器读数的变化;(2)反向功率大于 250 W 时,正向功率仅为 50×10 W;(3)点火线圈有吱吱放电点火声;(4)没有点火爆鸣声;(5)RF 功放管的电气参数正常。有正向输出功率,功放管板

压、板流、灯丝电压、栅流参数正常,可排除 RF 发生器中相检测与自动调谐电路以前各级电路故障。网络匹配不好,点火时反向功率过大(大于 250 W),仪器会进入联锁保护,故怀疑输出能量未传输到电感线圈,在图 1 匹配网络与负载线圈单元的电流传输铜带 A 点,绕二圈电线,用示波器观察线圈二端的感应电压,逐渐加大 RF 发生器输出功率,在反向功率接近

250 W 时,感应电压仅为 mV 级,正常实测波形峰 - 峰值为 V 级,怀疑相检测电路、自动调谐电路与匹配网络有问题。检查相检测电路静态工作点,正常,用手动调节调谐马达,能听到马达旋转声,但观察孔仍看不到 C1 位置计数器数字变化。拆开匹配网络盒,发现 C1 真空电容一头粘接处脱落,带动真空电容进行调谐的马达动作正常,同步带动计数器与真空电容限位开关的塑料传送带老化,传动齿剥落,见图 6。笔者用特种胶将电容脱落部分粘回,但修复后的电容耐压仅 1.6 kV,与其标称值 CADD-30-0115 3~30 pf 15 kV 的耐压值相差甚远,与实际工作电压相差很大。国内找不到代用品,向 BAIRD 公司订购传动带及真空电容。

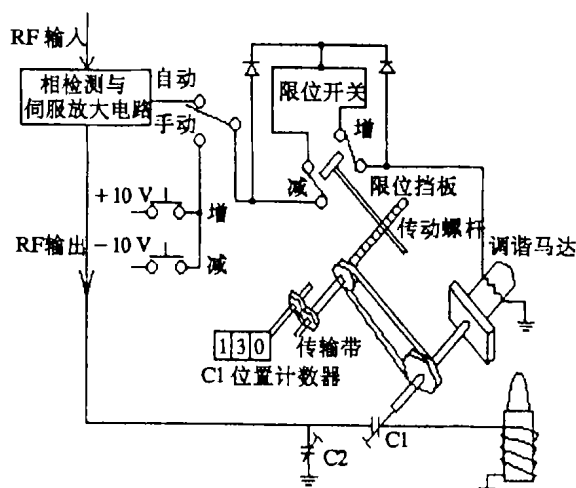


图6 调谐马达传动和真空电容限位保护示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the movement turning motor

维修与结果:换上传动带及真空电容配件,调准限位挡板位置,经过反复调试仪器运行正常。注意限位挡板调整不当,有可能因过调而损坏真空电容 C1。

故障6 故障现象:自动调谐时点火困难。

分析与检查:在排除了气路、点火电路及操作上可能造成点火难因素后,重点检查相检测与自动调谐电路,见图 7。该电路作用是使调谐马达带动匹配网络的 C1 电容使 RF 发生器输出阻抗与负载阻抗相匹配。点火前、乃至点火后,由于负载电感周围环境变化,负载阻抗将改变,调谐马达带动 C1 到新的平衡点。R11 决定了放大器 A 的基准电平,R6 则决定了反射波的取样信号。调整不当,会造成调谐马达跟踪调谐滞后,点火时尚未到达谐振点,反向功率已升到 250 W 保护限而进入保护状态,中断点火。

维修与结果:重调 R11、R6 后,点火难的问题得到改善。作为一种临时补救办法,点火前将匹配网络调节设置为手动挡,通过增减按键试着寻找最佳的点火位置,从 RF CAP SETTING 窗读得 C1 位置读数,以后开机时,在该位置手动点火,待火点燃后,再将匹配网络调节开关切换至自动挡。

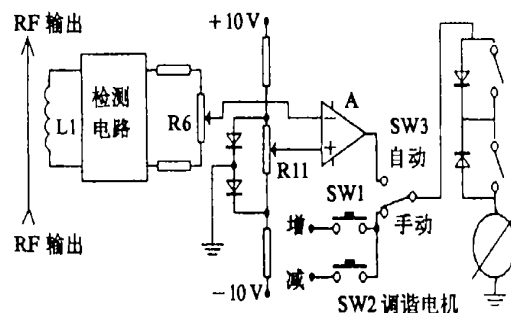


图7 相检测放大伺服驱动电路

Fig. 7 Phase detector and serve amplifier

故障7 故障现象:做样品过程中、外接交流稳压电源发出严重超载的嗡嗡声,RF 发生器过热并伴有焦糊味,交流稳压电源电流表瞬间指到满度 50 A,并立即进入过载保护停机。

分析与检查:如此超载,必有严重的短路情况发生,以高压电路的可能性最大,切断 800 输出级的高压及功放管灯丝供电,情况未改善。切断高压电源 700 的硅堆及滤波电容,仍未改善,初步判定为高压变压器故障,拆下用 2.5 kV 摇表测变压器绝缘电阻,良好,判定为变压器层间击穿短路。为进一步核实,将变压器单独作空载通电试验,配电板 10 A 保险丝立即熔断,交流电源过流开关跳闸,证实了上述判断,检查硅堆良好,但滤波电容漏电较大。

维修与结果:用国产 6.3 kV,4 μ F 电容取代原滤波电容(5 kV,4 μ F)。设计并绕制高压变压器,在对新变压器作了一系列测试后,脱机联接硅堆和滤波电容,用调压器逐步升压作模拟试验,未发现异常后,才接入线路作联机调试。

调试过程中,曾出现下列情况:(1) 反向功率过大,正向功率过小,点不着火。(2) 火焰点燃后很快就熄灭。(3) 火焰烧到矩管底部。(4) 正向功率到 1 kW 就自动跳闸。(5) 管流(PALATE CURRENT)过大。经过清洗高频电缆接头,反复调整匹配网络单元的 C2、和 800 单元的 PA LOADC6、PA TUNAC8 和

C9、C11 后,仪器运行良好,自动、手动档均能方便地点燃火炬。此时,1.5 kW 输出级的参数(正向输出功率 1 kV 时) PA VOLT:0.36; PA GIRD:0.18; PA FIC:0.85;运行情况良好。

3 结束语

RF 发生器是高电压、高功率、高频率和高辐射的射频电路,故障率高。遇到故障,不要盲目动手,随意拆卸,在弄清各部件、各电路单元的功能及相互关

系、电路的走向与控制过程的基础上,仔细观察研究故障现象的内在联系,分析可能导致故障的原因,逐个检查,缩小范围,最终找出故障点并加以排除。特别指出:有安全联锁保护的仪器,得先弄清仪器正常工作的条件、保护对象、传感器位置、特性、工作过程和保护措施,方能进行理性维修。希望本文能对该仪器的使用、维修人员有所启示和帮助。

本院陈伯君高级分析工程师对维修工作给与了支持和帮助,谨以致谢!

The Faults Analysis and Solution of BAIRD Ps-6 Plasma Spectrometer RF Generator

ZHANG Wen-de, LI Xuan, LU Min

(Shanghai Petrochemical Research Institute of SINOPEC, Shanghai 201208, China)

Abstract :Based on simple introduction of RF generator and started with interlock electrical diagram, 7 representative and already solved examples of RF generator no power output, over loading, before ignition being not able to get in ready, being not able to form the torch of PL SMA, ignition faulted, hardly igniter in auto tune, smoked with burnt smell etc, were analyzed and studied thoroughly. Solution ideas and ways were offered.

Key words :RF generator;inter-lock circuit;faults analyzed;solution

Classifying number :O657.32