

中华人民共和国国家军用标准

FL 6129

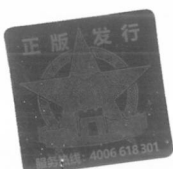
GJB 3311B—2024
代替 GJB 3311A—2011

微波电子管测试方法

Measuring methods for microwave tubes

2025—01—07 发布

2025—03—01 实施



中央军委装备发展部 颁布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义、符号	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号	3
4 一般要求	3
4.1 通则	3
4.2 脉冲特性	4
4.3 微波负载	5
4.4 冷却	5
4.5 电源	6
4.6 控制保护系统	6
4.7 接地	6
4.8 安全防护	6
4.9 注意事项	6
4.10 测试记录	6
5 详细要求	6
方法 101B 直流电压和直流电流	7
方法 102A 脉冲电压	8
方法 103A 脉冲电流	10
方法 104B 射频功率	12
方法 105B 射频频谱	14
方法 106A 热丝冲击电流(浪涌电流)	14
方法 107B 预热时间	15
方法 108B 冷态 S 参数	15
方法 109A 机械调谐特性	16
方法 112A 工作时热(灯)丝电压和电流	18
方法 113A 耗电量	18
方法 201B 输入功率和输出功率	20
方法 202B 谐波输出比	21
方法 203B 功率增益	24
方法 204B 增益随频率变化	25
方法 205B 相位灵敏度	28
方法 206A 寄生输出比	30
方法 207B 互调比	31
方法 210B 失配稳定性	33
方法 211B 交叉调制	34

方法 212B	噪声系数	34
方法 213B	噪声功率谱密度	37
方法 214B	脉间噪声和脉内噪声(无激励状态)	38
方法 215B	调频工作特性	40
方法 216B	有害幅度调制	41
方法 217B	群时延	42
方法 218B	相位和增益一致性	43
方法 219B	输出—输入特性	44
方法 220B	控制极截止电压	46
方法 221A	相位噪声	46
方法 222A	功率稳定性和重复性	48
方法 223	杂散	49
方法 224	饱和功率平坦度	49
方法 225	非线性相移和调幅—调相转换系数	50
方法 226	工作态反射系数	51
方法 301B	工作特性	53
方法 302B	负载特性(含频率牵引系数)	53
方法 303B	频率推移系数	54
方法 305B	漏脉冲	55
方法 307B	功率波动	57
方法 308B	带宽、捷变速率和实际中心频率	58
方法 310B	脉冲前沿抖动时间	59
方法 311A	稳定工作建立时间	60
方法 312	频率温度系数	61
方法 402B	引燃极引燃电流	63
方法 406B	低电平电压驻波比和总插入损耗	63
方法 408B	相位移和相对相位移	65
方法 412B	最小着火功率	65
方法 413B	最大漏过功率	66
方法 414A	波尖漏过能量	67
方法 415A	总漏过功率	70
方法 416B	电弧损耗	70
方法 418A	幅度恢复时间	72
方法 422	尖峰漏过功率及平坦漏过功率	76

前 言

本标准代替 GJB 3311A—2011《微波电子管测试方法》。

本标准与 GJB 3311A—2011 相比，主要有下列变化：

- a) 增加了杂散、饱和功率平坦度、非线性相移和调幅—调相转换系数、工作态反射系数的测试的测试方法；
- b) 增加了等效设备和测试记录；
- c) 将“激励功率”改为“输入功率”；
- d) 将“方法 108A 冷态和工作态反射系数的测试”和“方法 209A 冷损耗的测试”合并修改为“方法 108B 冷态 S 参数”；
- e) 在“方法 203B 功率增益”中增加了增益线性度的测试；
- f) 将“方法 207A 互调比、调幅—调相转换系数和压缩因子的测试”改为“方法 207B 互调比”，调幅—调相转换系数的测试改入“方法 225 非线性相移和调幅—调相转换系数”；
- g) 在“方法 217B 群时延”中增加了群时延斜率的测试；
- h) 将“方法 222 功率稳定性的测试”改为“方法 222A 功率稳定性和重复性”；
- i) 将“方法 307B 功率波动(落差)的测试”改为“方法 307B 功率波动”；
- j) 将“方法 406A 低电平电压驻波比的测试”和“方法 407A 总插入损耗的测试”合并修改为“方法 406B 低电平电压驻波比和总插入损耗”；
- k) 将“方法 408A 相位移的测试”改为“方法 408B 相位移和相对相位移”；
- l) “方法 412B 最小着火功率”和“方法 413B 最大漏过功率”中删除了“定向耦合器加可变衰减器法”；
- m) 修改了测试原理图，使之能够涵盖自动化测试仪器。

本标准由中央军委装备发展部综合计划局提出。

本标准起草单位：工业和信息化部电子第四研究院。

本标准主要起草人：张 朋、李 斌、于文杰、宋 波、郭 锐、冯西贤、官朝晖。

GJB 3311 于 1998 年首次发布，2011 年第一次修订。

微波电子管测试方法

1 范围

本标准规定了军用微波电子管的电性能测试方法。

本标准适用于微波放大管、微波振荡管、充气微波开关管(以下简称开关管),其他微波电子管可参照使用。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB/T 2987—1996 电子管参数符号
- GB/T 4597—2012 电子管词汇
- GJB 2712 测量设备的质量保证要求 计量确认体系
- GJB 5313 电磁辐射暴露限制和测量方法

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

GB/T 4597—2012 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1 静态工作状态 **static operation state**

静态

在一般试验条件下,微波放大管输入功率(激励功率)为零的状态。

3.1.2 逐点测试带宽 **point by point bandwidth**

当频率变化比较慢(如手动逐点改变频率)、测试过程中不改变微波电子管的工作条件时,微波电子管的功率增益或输出功率在规定范围内的频率间隔。

3.1.3 等激励带宽 **equal driving bandwidth**

当一般试验条件不变的情况下,固定激励功率,手动改变频率或扫频测试输出功率在规定范围内的频率间隔。

3.1.4 微波泄漏功率 **microwave leakage power**

在微波电子管非输出端口泄漏出来的最大微波功率。

3.1.5 总效率 **total efficiency**

输出功率与总输入功率之比。用公式(1)计算:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}} + \sum_{i=1}^n I_n U_n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

η ——总效率, %;

P_{out} ——基波输出功率或相关详细规范规定的某次谐波输出功率, W;

P_{in} ——激励功率, W;

I_n ——第 n 个电极的电流(包括阳极、栅极、管体、慢波结构、收集极、热丝等全部电极), A;

U_n ——第 n 个电极的电压(包括阳极、栅极、管体、慢波结构、收集极、热丝等全部电极), V。

3.1.6 频谱 spectrum

规定频率间隔内的微波功率相对于频率的分布特性。如图 1 所示。

3.1.7 频谱主副瓣比(主副瓣比) ratio of major lobe to minor lobe

射频频谱包络主瓣幅度与最大副瓣幅度的比值。如图 1 所示。

注: 单位为分贝(dB)。

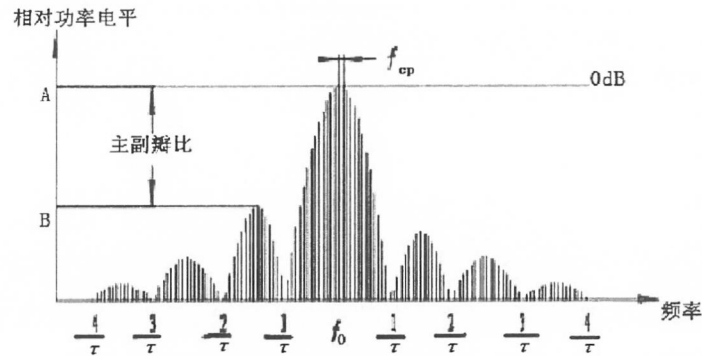


图 1 射频脉冲频谱图

3.1.8 起始频率变化 starting frequency variation

在规定的工作条件下, 从微波电子管开始启动在规定时间内呈现的频率变化。

3.1.9 磁控管的脉冲稳定性 pulse stability for magnetron

用漏脉冲系数来衡量的, 在规定的同一时间间隔内漏脉冲数对输入脉冲总数的百分比。

注: 在规定的负载条件(额定驻波比值, 但相位最恶劣)时, 其输出脉冲的微波能量低于正常输出脉冲微波能量的某百分数(通常为 70%), 则称这个脉冲为漏脉冲。

3.1.10 突然接通稳定性 snap-on stability

被测管经规定的停止工作期后的首次测试, 用同型号的替代管代替被测管, 建立起测试条件(稳定性测试条件), 然后将被测管接入, 按规定条件预热后, 立即加上额定工作电压, 加电压后在规定时间内稳定性。

3.1.11 捷变频带宽 bandwidth of agile frequency

捷变频磁控管在规定条件下捷变工作时的最高频率与最低频率之差。

3.1.12 调频机构锁频准确度 locking accuracy of frequency-adjusting device

捷变频磁控管由捷变工作状态迅速转换为定频工作状态时, 其振荡频率与预置的振荡频率之差。

3.1.13 捷变速率 agile velocity

捷变频磁控管在捷变工作时, 单位时间内频率的变化量。

3.1.14 磁控管工作特性 operating characteristic for magnetron

磁控管在给定参考相位和匹配负载条件下, 磁场、阳极电压、阳极电流、工作频率、输出功率和效率等之间相互关系的特性。

3.1.15 负载特性 load characteristic

当磁场和阳极电流恒定时, 磁控管振荡频率和输出功率随负载变化的特性。

3.1.16 峰值漏过功率 peak leakage power

在额定射频输入功率下, 开关管漏过脉冲的最大峰值功率。

3.1.17 相位线性度 phase linearity

在规定频率范围内相位移与频率的关系与一直线间最大偏离的度数。

3.1.18 相位一致性 phase match

一组同型号微波放大管的相位—频率曲线与基准管的标称相位—频率响应之差。

3.1.19 增益一致性 gain match

一组同型号微波放大管的增益—频率曲线与基准管的标称增益—频率响应之差。

3.1.20 杂散 stray

在规定频率范围内的除信号载频和谐波外的其他信号与载频功率之比。

3.2 符号

GB/T 2987—1996 确立的以及下列符号适用于本标准。

I_f ——灯(热)丝电流;

J/P_o ——寄生输出比;

K_p ——调幅—调相转换系数;

N_F ——噪声系数;

N_P ——相位噪声;

P_{lf} ——平坦漏过功率;

P_{ls} ——尖峰漏过功率;

P_n/P_o ——谐波输出比;

P_{Nd} ——噪声功率频谱密度;

P_o ——基波输出功率;

S_i ——杂散;

S_P ——输出功率稳定度;

t_p ——脉冲间隙时间;

T_P ——脉冲重复周期;

U_f ——灯(热)丝电压;

Γ ——反射系数;

η_A ——调幅百分数;

τ_{rf} ——射频包络脉冲宽度。

4 一般要求

4.1 通则

4.1.1 一般试验条件

一般试验条件为相关详细规范中规定的各电极电压等适用条件。

4.1.2 试验的标准大气条件

除非另有规定,测试时的环境温度为(15~35)℃、相对湿度为(20~80)%、大气压力为(86~106)kPa。

4.1.3 测试设备

4.1.3.1 校准

测试设备应符合 GJB 2712 的要求。

4.1.3.2 准确度

测试设备的准确度应满足测试的要求。电源上直接影响测试准确度的电表,如无特别规定,直流电表应优于 1.5 级;交流电表应优于 2.5 级;静电千伏计的准确度应优于 2.5 级。

4.1.3.3 等效设备

可采用与测试原理相同的设备进行测试。

4.1.4 搁置期

当规定时,微波电子管在完成全部制造工序后,应在不工作条件下搁置 168h 后进行电性能测试。

4.1.5 预热

微波电子管测试前，应按规定预热。预热时间不应少于规定值，以便获得稳定的电特性。

预热时，若相关详细规范中只规定了热丝电压，则热丝电压的变化不应超过额定值标称的 $\pm 5\%$ ，若相关详细规范中只规定了热丝电流，则热丝电流不应超过额定值的 $\pm 3\%$ ，若相关详细规范中规定了热丝电压和电流，则两项都需满足。

启动热丝加热电压时，应保证通过热丝的浪涌电流不大于相关详细规范中规定的最大值（一般为热丝电流最大值的3倍）。

4.2 脉冲特性

4.2.1 脉冲波形参数

4.2.1.1 脉冲幅度

脉冲波形顶部平滑曲线的最大值。

脉冲幅度指电压脉冲幅度和电流脉冲幅度。平滑曲线是指脉冲顶部波动平均值所作的曲线，如波尖宽度小于 0.1τ ，可不计波尖值。

4.2.1.2 脉冲宽度

脉冲宽度应按以下规定：

- a) 电压脉冲宽度：电压脉冲幅度70%（“O”型管）或90%（“M”型管）处的两点间的时间间隔；
- b) 电流脉冲宽度：电流脉冲幅度70%（“O”型管）或50%（“M”型管）处的两点间的时间间隔；
- c) 射频脉冲包络宽度：射频检波包络脉冲幅度值50%处两点间的时间间隔（平方律检波）或70%处的两点间的时间间隔（线性律检波）。

4.2.1.3 脉冲上升时间

脉冲前沿从脉冲幅度的10%上升至90%的时间间隔。

4.2.1.4 脉冲下降时间

脉冲后沿从脉冲幅度的90%下降至10%的时间间隔。

4.2.1.5 脉冲上升率

脉冲特性曲线上高于某一规定点（一般定为高于50%幅度点）脉冲前沿的最大斜率。

4.2.1.6 脉冲顶部降落

从脉冲宽度20%处的顶部到脉冲宽度80%处顶部的降落。

4.2.1.7 脉冲波尖

当幅度明显超过脉冲顶部的平均幅度且瞬态宽度小于脉冲宽度10%的短时间上冲。

4.2.1.8 脉冲顶部波纹

脉冲量值的瞬时值相对于通过脉冲顶部变化的平均值所画平滑曲线的偏离。

4.2.1.9 反冲幅值

紧随主脉冲后出现的与主脉冲方向相反的脉冲幅度的最大值。

4.2.1.10 正冲幅值

紧随主脉冲后出现的与主脉冲方向相同的脉冲幅度的最大值。

4.2.1.11 脉冲重复频率

在规定的单位时间（通常为1s）内脉冲波形的重复次数。

4.2.1.12 脉冲重复周期

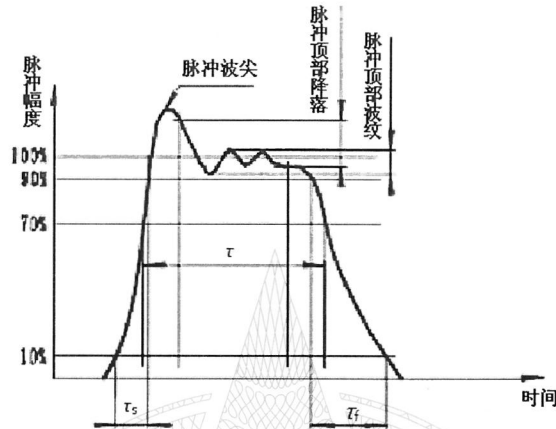
重复脉冲的相邻两个脉冲的前沿（或后沿）同一电平点之间的时间间隔。

4.2.1.13 工作比（占空系数）

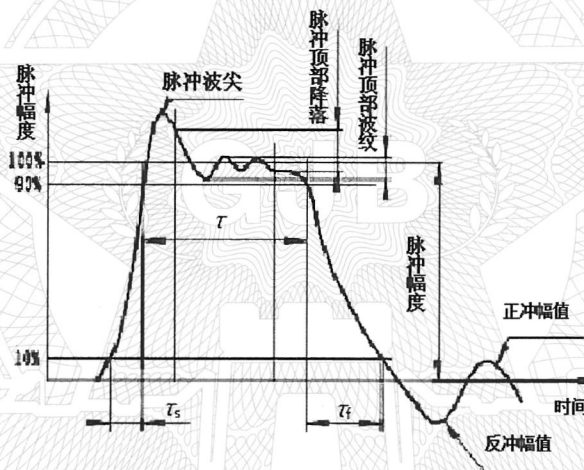
在规定的时间内，脉冲持续时间的总和对该给定时间的比值，对于重复脉冲，取脉冲重复周期作为给定时间。

4.2.2 脉冲特性图

脉冲状态工作的微波电子管在测试时，脉冲特性图如图 2 中 a)、b) 所示。



a) “O”型器件



b) “M”型器件

图 2 脉冲特性图

4.2.3 脉冲特性测试仪器

测试脉冲特性用的示波器的分辨率应优于脉冲宽度的 5%，而且扫描应该是线性的。扫描电路的时间跳动也应小于脉冲宽度的 5%。如测试时采用晶体二极管，则应在工作电平上校准。

测量脉冲重复频率应使用时间准确度优于 $\pm 2\%$ 的仪器。

4.3 微波负载

除非另有规定，一般从微波电子管输出参考平面向负载方向看去的电压驻波比应符合规定值。

当规定条件与匹配条件不同时，负载耗散元件到微波电子管参考平面间的传输长度，应按相关详细规范的规定，且在工作频带内负载驻波比应符合要求。

4.4 冷却

当测试自然冷却的微波电子管时，应保证冷却空气能自由流通。当测试强迫冷却的微波电子管时，冷却条件应符合相关详细规范规定的要求。温度的测量应在规定点或微波电子管管体最高温度处测量，而且应当在达到热平衡后进行。

4.5 电源

测试电源的纹波、稳定性和负载调整率等应满足相关详细规范规定的要求。
电源应良好接地。

4.6 控制保护系统

控制保护系统(以下简称控保系统)是保护被测管在测试时不致损坏的关键系统。常规的控保系统的控制因素有电流、电压、冷却液和冷却风的温度或流量和被测管的温度等。当出现不符合规定值时,控保系统应在规定时间内动作,断开被测管的高压或电源电压。对于大功率管还需要一些特殊的控保系统(如传输系统的射频功率击穿控保、反射功率控保等)在产品相关详细规范中规定。

微波电子管在测试时,因管内产生电击穿(打火),电源泄放在被测管内的能量应符合规定值,以免损坏被测管。可以在电路中串接不影响微波电子管工作的限流电阻(脉冲工作时此电阻应为无感电阻)或采用快速启动的撬棒电路等来限制打火能量。

4.7 接地

测试时,被测管、微波系统、测试设备和电源等应良好接地,以减少干扰使测试准确,并保证操作人员的人身安全。为避免干扰,低电平系统的仪器和元件等与高电平系统的被测管和电源等应分别连接,分别接地。系统的仪器和元件等应就近联结成一点,然后接地。连接用的金属导体的接地电阻应足够小(如小于 0.4Ω),避免在导体上有电流流动时产生电位差,对人身安全和测试造成影响或损坏仪器。

4.8 安全防护

在测试大功率微波电子管时,对操作人员应有防护措施,操作人员所接受 X 射线的最大剂量当量率不应超过 $0.05S_V$,微波辐射应符合 GJB 5313 的规定。

4.9 注意事项

在测试前,应按照相关详细规范和使用说明书的要求,牢固安装被测管及附属系统,正确连接冷却媒介通道和电源线。

4.10 测试记录

每项参数的测试记录应符合规定的格式要求以便进行数据处理,记录清晰完整。

5 详细要求

本标准的测试方法编号规定如下:

100 类	通用测试方法	101~199
200 类	微波放大管测试方法	201~299
300 类	微波振荡管测试方法	301~399
400 类	充气微波开关管测试方法	401~499

测试方法的修订编号采用在方法号后加一大写英文字母表示,但不采用 I 和 O。例如,第 1 次修订加 A(101A),第 2 次修订加 B(101B)。

方法 101B 直流电压和直流电流

1 目的

测量微波电子管各电极的直流电压和直流电流。

2 测试原理

测试原理图如图 101—1 所示。

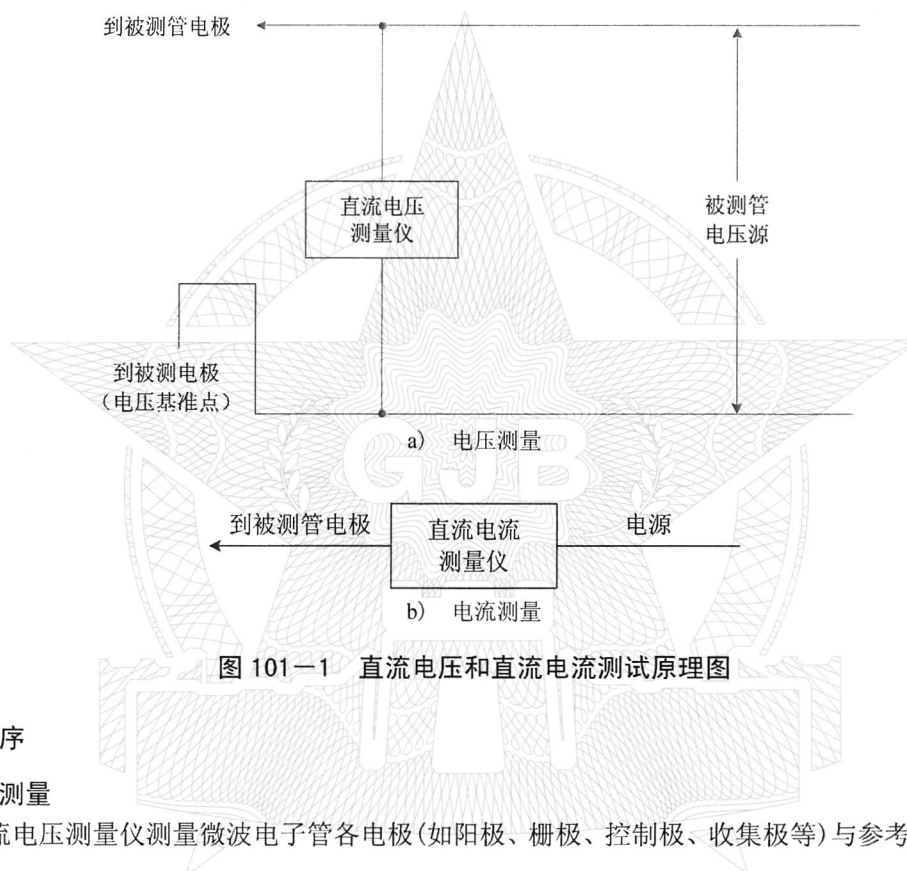


图 101—1 直流电压和直流电流测试原理图

3 测试程序

3.1 电压测量

用直流电压测量仪测量微波电子管各电极（如阳极、栅极、控制极、收集极等）与参考电位（如阴极）间的电压。

直流电压测量仪可以用电阻分压器加数字电压表，或由微安（或毫安）计加串接电阻组成的直流电压表或静电伏特计等。

3.2 电流测量

将直流电流测量仪串接在微波电子管被测电极和电源之间，加上规定的电极电压和电流，从测量电表上可直接读出流至有关电极的电流值，也可以用取样器加数字电压表等方法间接测量。

4 注意事项

4.1 各种直流电压测量仪表易受外界气候影响，应注意防护，如串接电阻、电阻分压器可用防潮材料密封起来，静电伏特计用加热器去湿等。

4.2 电压测量仪的内阻应足够大于被测电路的等效内阻以保证测量准确度，电流测量仪的内阻应足够小于被测电路的等效内阻以保证测量准确度。

4.3 电压测量时，由于部分电极电压过高，应注意绝缘和仪表的测试量程。

方法 102A 脉冲电压

1 目的

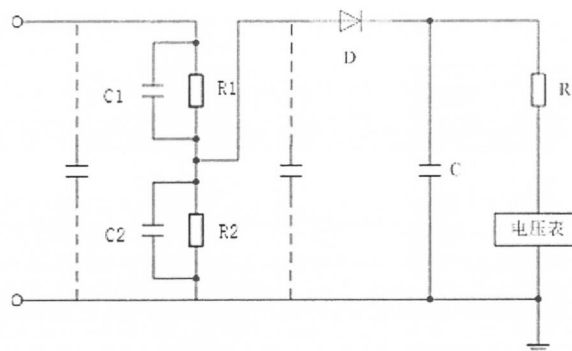
测量微波电子管工作时的脉冲电压值。

2 测试原理

2.1 二极管(或高压硅堆)峰值电压计法

2.1.1 测试电路

测试电路图如图 102—1 所示。



R、R1、R2——无感电阻；C1、C2——寄生电容；D——高压整流二极管；C——储能电容器

注： $R_1C_1=R_2C_2$ ， $RC \geq 6t_p$ 。

图 102—1 峰值二极管电压计法测试电路图

2.1.2 消除脉冲波尖影响的脉冲电压测量

测试电路图如图 102—2 所示。测量消除脉冲波尖影响的二极管峰值电压计是在图 102—1 的电路增加一可调电阻 R0，以消除脉冲波尖的影响。测量时调节 R0 阻值，使其在合适的范围内，如图 102—3 所示。

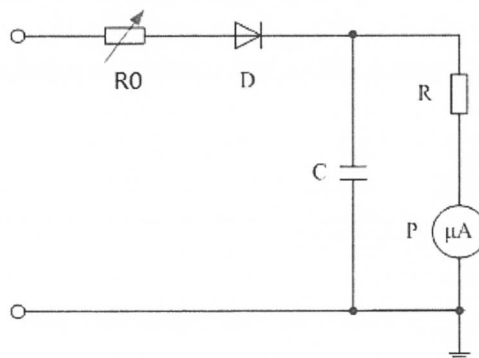


图 102—2 消除脉冲波尖影响的峰值二极管电压计法测试电路图

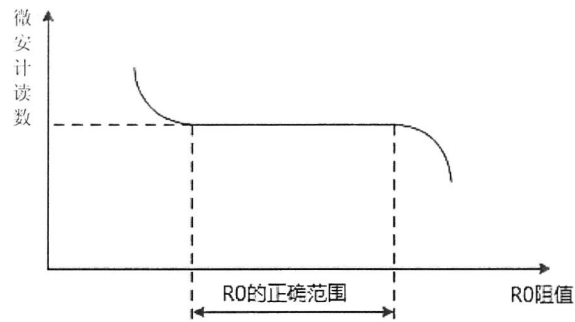
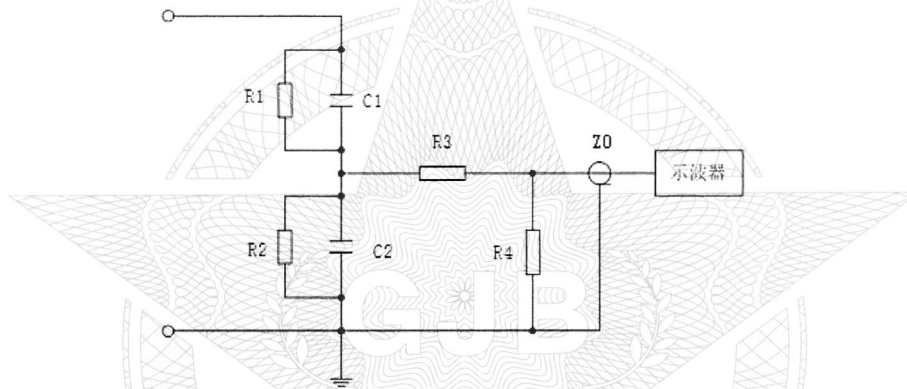


图 102—3 R0 的正确阻值范围

2.2 带平衡式分压器的示波器显示法

测试电路图如图 102—4 所示。采用平衡分压器，使示波器在合适的电压范围内测量。



R1、R2、R3、R4——无感电阻器；C1、C2——低电感电容器；Z0——阻抗 Z_0 的同轴电缆

图 102—4 带平衡式分压器的示波器显示法测试电路图

此电路特别适用于脉冲波形的精确再现，不但可以用来测量脉冲的幅值，而且可以测量脉冲波形的其他参数（上升沿、下降沿、周期等）。

R2、C1 为分压器的高压段，R2、C2 和接示波器的匹配元件为低压段，两段的时间常数包括寄生效应在内应相等。

通常 R2 的阻值与分压器到示波器之间阻抗为 Z_0 的同轴电缆的阻抗相等，此时 $R_3=0$ ， $R_2=R_4=Z_0$ 。

分压比为 $\left(\frac{2R_1}{R_2}+1\right)$ 或 $\left(\frac{C_2}{C_1}+1\right)$ 。

两段电路的时间常数相应为 R_1C_1 和 $\frac{1}{2}R_2C_2$ 。

若分压比要大于 $\left(\frac{2R_1}{R_2}+1\right)$ 或 $\left(\frac{C_2}{C_1}+1\right)$ ，可采用较小值的 R2。此时 R_3 不应等于 0， $R_3=Z_0-R_2$ ，

$R_4=Z_0$ 。分压比为 $\frac{R_1(R_2+R_3+R_4)+R_2(R_3+R_4)}{R_2R_4}$ 。

时间常数为 R_1C_1 和 $R'C_2$ ，其中 $R'=\frac{R_2(R_3+R_4)}{R_2+R_3+R_4}$ 。

若需要 $R_2>Z_0$ ，则此电路不适用。

3 测试程序

- 3.1 用二极管或高压硅堆峰值电压计直接测试脉冲电压。
3.2 用示波器测量时，则测得的数值要乘以测试探头的倍率，再乘以分压器的分压比。

4 注意事项

- 4.1 无感电阻应采用合成膜(超高频)电阻，线绕无感电阻不适用。为将电阻的电压系数效应降至最小，分压器的电阻应采用同一型号。
4.2 高压整流二极管应采用高频率的，二极管应有合适的耐压。电容是并联于被测脉冲电源的电容负载，选择合适的二极管使有较小的电容负载。
4.3 分压器用电容器应使用无感电容。对峰值二极管电压计的贮能电容，为降低其电感效应可用一小值射频电容器与其并联。
4.4 二极管峰值电压计的负载电阻 R 应足够大以减轻对脉冲源的负担。二极管的动态阻抗与贮能电容的乘积小于被测脉冲宽度的四分之一。
4.5 示波器的输入阻抗应远大于 R_4 以保证不至影响分压比。
4.6 二极管峰值电压计可用直流电压表校准。用峰值二极管电压计或精密电阻、电容电桥来校准分压器。
4.7 可以用 τ_r 、 τ_f 与被测脉冲相似的方波发生器来检查线路是否有寄生效应而致脉冲失真。也可以用频率从直流直到两倍于脉冲宽度倒数的讯号发生器代替。

方法 103A 脉冲电流

1 目的

测量脉冲电流值和电流脉冲波形。

2 测试原理

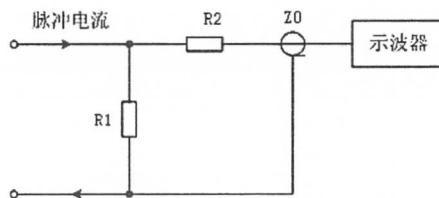
2.1 通则

采用示波器显示电流脉冲的波形，然后测量其幅值和其他参数。

2.2 取样电阻法

测试电路图如图 103—1 所示。

R_1 的感抗影响应小到可以忽略不计，电阻值应足够小以保证电缆外导体与地间的电容不会改变电流脉冲波形。



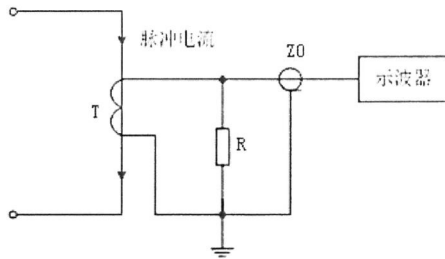
R_1 ——取样电阻器； R_2 ——电缆匹配无感电阻器； Z_0 ——阻抗 Z_0 的同轴电缆

注： $R_1 + R_2 = Z_0$ 。

图 103—1 取样电阻法测试电路图

2.3 电流互感器法

测试电路图如图 103—2 所示。



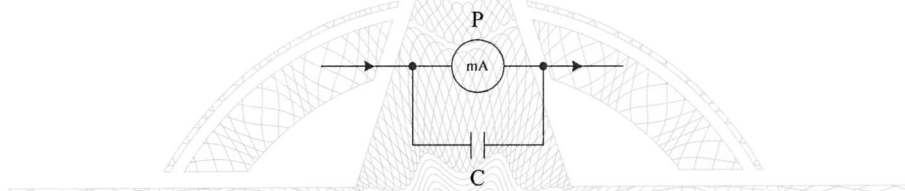
T——电流互感器；R——电缆匹配无感电阻器；Z0——阻抗 Z_0 的同轴电缆

注： $R=Z_0$ 。

图 103—2 电流互感器法测试电路图

2.4 平均电流法

测试电路图如图 103—3 所示。



P——直流电流表；C——脉冲旁路电容器

图 103—3 平均电流法测试电路图

R_C 应不小于 $6t_p$ ，其中 R 为直流电流表 P 的内阻， C 为无感电容的值。

3 测试程序

3.1 取样电阻法

用脉冲示波器测量在取样电阻 R_1 两端的脉冲电压 U_p ，按公式 (103—1) 计算脉冲电流 I_p ：

$$I_p = \frac{U_p}{R_1} \dots\dots\dots (103-1)$$

式中：

- I_p ——脉冲电流，A；
- U_p ——脉冲电压，V；
- R_1 ——取样电阻， Ω 。

3.2 电流互感器法

用电流互感器测量脉冲电流，可以用已知的脉冲电流值校准脉冲示波器读数，用脉冲示波器直接测量脉冲电流值。

3.3 平均电流法

用直流电流表测量平均电流 \bar{I} ，按公式 (103—2) 计算脉冲电流 I_p ：

$$I_p = \frac{\bar{I}}{D} \dots\dots\dots (103-2)$$

式中：

- I_p ——脉冲电流，A；
- \bar{I} ——脉冲电流的平均值，A；
- D ——工作比，%。

4 注意事项

- 4.1 为避免外界磁场的干扰，取样电阻和电流互感器应屏蔽。
- 4.2 电流互感器的寄生电容应足够小以保证使观测到的电流脉冲波形不致畸变，避免杂散场产生无用电压。
- 4.3 为避免测试设备损坏，应采取必要的保护措施。

方法 104B 射频功率

1 目的

测量微波电子管的连续波功率、射频脉冲功率和射频平均功率。

2 测试原理

2.1 射频功率计法

2.1.1 定向耦合器法

测试原理图如图 104—1 所示。

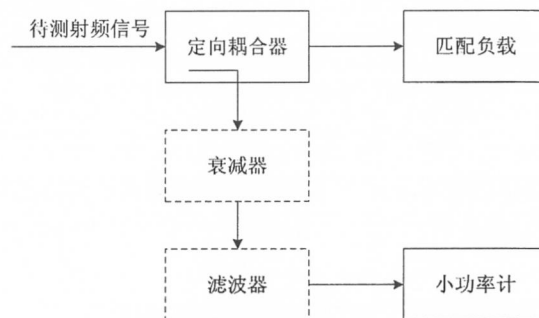


图 104—1 定向耦合器法测试原理框图

2.1.2 直接测量法

若谐波比基波低 20dB 及以上，则可用大功率计法。测试原理图如图 104—2 所示。

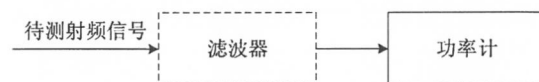


图 104—2 直接测量法测试原理框图

2.2 量热计法

测试原理图如图 104—3 所示。

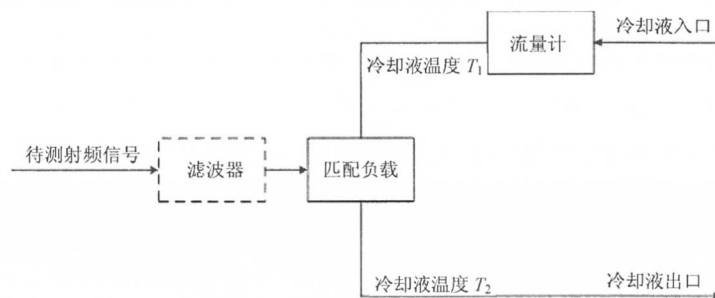


图 104—3 量热计法测试原理框图

3 测试程序

3.1 射频功率计法

按图 104—1 或图 104—2 建立测试系统。待测射频信号输入到射频功率探头，由功率计直接测量出功率电平。

3.2 量热计法

3.2.1 按图 104—3 建立测试系统。当以液体作为负载或以液体冷却负载时，按公式(104—1)计算射频平均功率或连续输出波功率：

$$P = q_m C(T_2 - T_1) \dots\dots\dots (104-1)$$

式中：

P ——平均输出功率 \bar{P}_o 或连续输出功率 P_{olk} ，W；

q_m ——冷却液的质量流速，kg/s；

C ——冷却液的比热，J/(kg·K)；

T_2 ——冷却液流出匹配负载的温度，K；

T_1 ——冷却液流入匹配负载的温度，K。

3.2.2 当热损耗不可忽略时可按下述方法修正公式(104—1)：先调冷却液的质量流速 q_{m1} ，按公式(104—1)计算出视在功率 P_1 ，然后调冷却液的质量流速 q_{m2} (推荐取 q_{m1} 的一半或 2 倍)，计算出视在功率 P_2 ，若 $P_1 = P_2$ ，则无显著误差；若 $P_1 \neq P_2$ ，则待测功率按公式(104—2)计算：

$$(q_{m1} - q_{m2}) \lg P = q_{m1} \cdot \lg P_1 - q_{m2} \cdot \lg P_2 \dots\dots\dots (104-2)$$

3.2.3 用量热计作为功率测量器时，还可用下述方法简化测试，即用已知功率(直流或交流)先代替微波功率，确定出温升和耗散功率之间的关系，测试微波功率时可直接由温升读出被测功率。

3.3 脉冲峰值功率测试

一般应采用峰值功率计直接测试每个脉冲的脉冲峰值功率值。

如果脉冲射频包络符合相关规范规定，也可以用上述方法测出平均输出功率后按公式(104—3)计算：

$$P_{op} = \frac{\bar{P}_o}{D} \dots\dots\dots (104-3)$$

式中：

P_{op} ——脉冲输出功率，W；

\bar{P}_o ——平均输出功率，W；

D ——工作比，%。

4 注意事项

4.1 由于功率计的功率探头存在射频损耗和热损耗，因此功率探头对应不同频率应有不同的校准系数。在测试时应按所测频率置定校准系数。

4.2 功率探头的功率容量有连续波和脉冲电平两种，输入到探头的功率电平不应超过允许范围，否则会烧毁探头，特别是在测试脉冲功率时，平均功率未超出容量，但脉冲功率值超过也会损坏探头。

4.3 用小功率计测量时，其定向耦合器的耦合度应按所测量的频率定标。

4.4 匹配负载驻波比、定向耦合器方向性、滤波器插损应符合相关规范要求。

4.5 当有测试需求时，测试系统需要添加滤波器以提高测试准确度。

方法 105B 射频频谱

1 目的

测量微波电子管的射频频谱。

2 测试原理

测试射频频谱的原理图如图 105—1 所示。

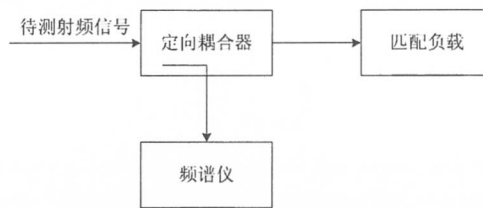


图 105—1 射频频谱测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 按图 105—1 建立测试系统，使被测信号通过定向耦合器耦合出一路信号，接到频谱仪。
- 3.2 根据测试参数的要求，设置频谱仪使之与其所测参数的要求相匹配，进行相应参数的测量。

方法 106A 热丝冲击电流(浪涌电流)

1 目的

测量在施加热丝电压时，热丝电流冲击的峰值。

2 测试原理

热丝冲击电流测试原理图如图 106—1 所示。

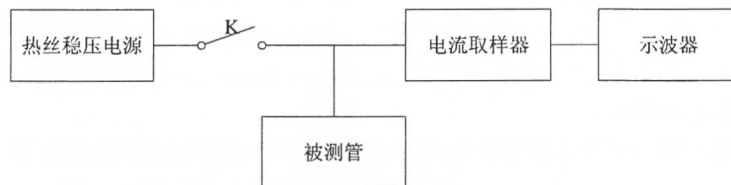


图 106—1 热丝冲击电流测试原理框图

3 测试程序

按图 106—1 建立测试系统。接通开关 K，调节热丝稳压电源，使热丝在热稳定后热丝电压或电流达到规定值。断开开关 K，热丝稳压电源保持不变，待热丝冷却后快速接通开关 K。从示波器上测量热丝冲击电流值。

示波器可以用流过电流取样器(如电流钳等)的已知电流来校准。

4 注意事项

热丝稳压电源的内阻应足够小，其额定工作电流应大于被测管的浪涌电流。

方法 107B 预热时间

1 目的

测量微波电子管的预热时间。

2 测试原理

测试原理图如图 107—1 所示。在规定条件下，从微波电子管加电预热到输出功率达到规定值所需的时间作为预热时间。

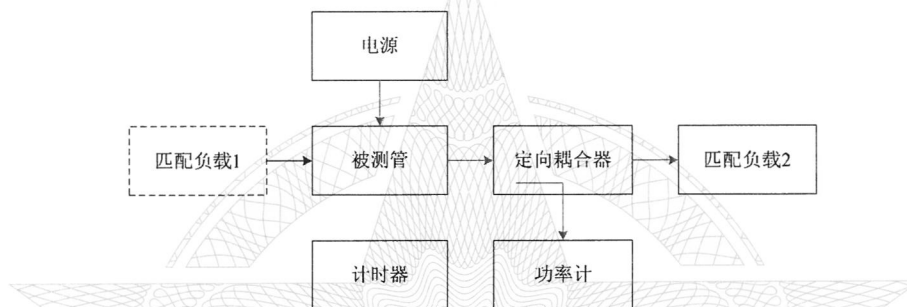


图 107—1 预热时间测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 按图 107—1 建立测试系统。接通热丝电源，同时启动计时器。
- 3.2 在规定的时间内加高压，如果输出功率达到规定值，则计时器时间为预热时间。

方法 108B 冷态 S 参数

1 目的

测量微波电子管在冷态下端口 S 参数。

2 测试原理

2.1 连续波标量网络分析仪法

连续波标量网络分析仪法用来测量微波电子管在冷态下的输入端和输出端 S 参数。测试原理图如图 108—1 所示。

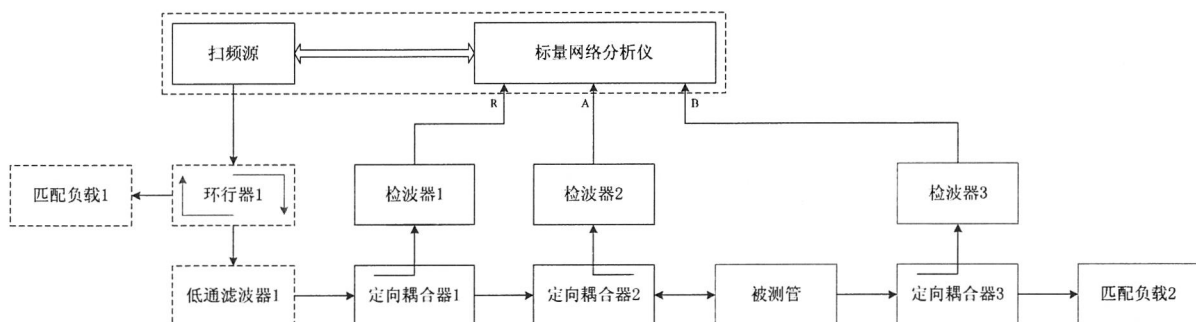


图 108—1 连续波标量网络分析仪法测试原理框图

2.2 矢量网络分析法

矢量网络分析法测量微波电子管在冷态下的输入端和输出端 S 参数。测试原理图如图 108—2 所示。

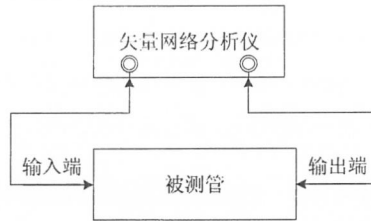


图 108—2 矢量网络分析法测试原理框图

3 测试程序

3.1 连续波标量网络分析法

3.1.1 校正标量网络分析仪

3.1.1.1 根据需要设定扫频信号源的扫频范围和输出功率。

3.1.1.2 在标量网络分析仪测试端口上分两次分别接入短路器和开路器进行校正测量并存储校正数据，然后使系统处于校正工作状态。

3.1.2 将被测管的输入端或输出端接到标量网络分析仪的测试端口上即可在标量网络分析仪上读出被测管的冷态端口 S 参数 (S_{11} , S_{22} , S_{21} 或 S_{12})。

3.2 矢量网络分析法

3.2.1 根据所需测量频率范围设置矢量网络分析仪的起始频率和终止频率。如需要可对功率、测量点数和平均次数等进行重新设置。

3.2.2 对矢量网络分析仪进行全双端口校正或 TRL 校正。测量小反射系数时可利用提高平均次数来提高测量精度。如果对测量精度要求不高，也可进行单口校正。

3.2.3 使矢量网络分析仪处于校正开状态，接入被测管，选择适当的中频带宽和平均次数进行测量，得到被测管冷态端口 S 参数 (S_{11} , S_{22} , S_{21} 或 S_{12})。

4 注意事项

4.1 图 108—1 中，定向耦合器 1 检测入射功率，定向耦合器 2 检测反射功率，定向耦合器 3 检测传输功率。为了保证测量准确度，定向耦合器方向性应优于 35dB。

4.2 扫频信号源的谐波输出低于基波不小于 30dB 时，测冷态的输入端和输出端反射系数不需要使用环行器 1 和低通滤波器 1。

方法 109A 机械调谐特性

1 目的

测量微波电子管机械调谐的各种特性。

2 测试原理

测试原理图如图 109—1 所示。

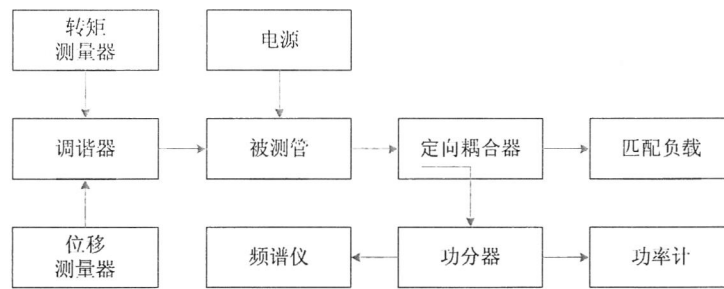


图 109—1 机械调谐特性测试原理框图

3 测试程序

3.1 机械调谐率

对相应于调谐器位置的频率变化率进行测试。

3.2 机械调谐范围

在规定的测试条件下，对被测管在要求的工作频率内给出合格电参数的频率范围。

3.3 调谐器的可重调性

3.3.1 调谐器的可重调性是指调谐器按规定方向调谐回到同一调谐位置时，微波电子管产生相同振荡频率的能力。

3.3.2 测调谐器的可重调性时，应按规定方法使调谐器回到同一位置测量振荡频率，按公式(109—1)计算频率偏移：

$$\Delta f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (109-1)$$

式中：

Δf ——频率偏移，MHz；

f_i ——每次调谐到位时所测得的频率值 ($i=1, 2, \dots, n$)，MHz；

f ——经 n 次调谐到位后所测得频率的算术平均值，MHz；

n ——相关详细规范规定的调谐次数，在没有具体规定时，取 $n=10$ 。

3.4 调谐器的转矩

3.4.1 测试产生一个起始频移所需的转矩，即为调谐器的起始转矩。

3.4.2 测试在频带范围内，维持调谐器运动所需的转矩，即为调谐器的工作转矩。

3.4.3 在频率范围内，使调谐器停止转动，测试调谐器所能承受的转矩，即为调谐器的停止转矩。

3.5 机械调谐疲劳

测试在经受规定次数的重复调谐循环后，调谐器或微波电子管的其他有关机械部件性能的衰退。若调谐机构性能变化量超过额定值的 10%，则认为其衰退。

4 注意事项

4.1 电源在被测管的中心频率确定状态，在整个测试过程中，电源的所有参数不应再进行人为调整。

4.2 测试参数时，应按相关详细规范规定的调谐速率、调谐范围及调谐次数进行调谐。

方法 112A 工作时热(灯)丝电压和电流

1 目的

测量微波电子管工作时，热(灯)丝电压和电流值。

2 测试原理

测试原理图如图 112—1 所示。

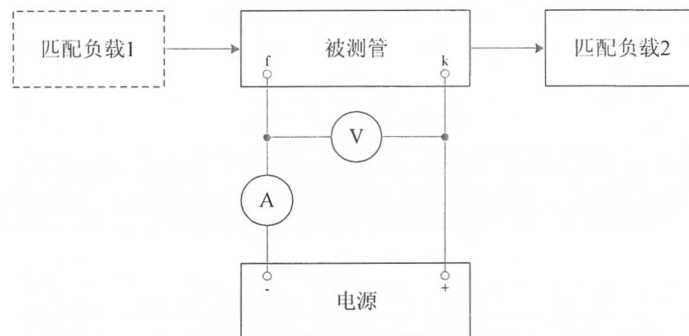


图 112—1 工作时热(灯)丝电压和电流的测试原理框图

3 测试程序

按图 112—1 建立测试系统。待被测管在规定条件下稳定工作后，测量微波电子管的热(灯)丝电压和电流。

4 注意事项

- 4.1 应保证脉冲和射频电流不流过仪表，必要时可在仪表前接入滤波器。
- 4.2 为了防止高压对仪表及线路产生影响，应采用耐静高压的仪表，使其放电效应最小。
- 4.3 注意公共点的选择，以保证被测管的阴极电流不流过电流表。
- 4.4 必要时，对电压表的分流及电流表的分压在测试结果中加以修正，修正方法为：若电流表读数为 I_f ，电压表读数为 U_f ，热(灯)丝的实际电流表读数为 I'_f ，电压表读数为 U'_f ，电压表的内阻为 R_u ，电流表的内阻 R_1 ，电压表接近被测管，电压表分流，则 $U'_f = U_f$ ， $I'_f = I_f - \frac{U_f}{R_u}$ ；电流表接近被测管，电流表分压，则 $I'_f = I_f$ ， $U'_f = U_f - I_f \cdot R_1$ 。
- 4.5 微波电子管的阴极一般为负高压，电压表与电流表应与地良好隔绝，且注意人身安全。

方法 113A 耗电量

1 目的

测量微波电子管的总耗电量。

2 测试原理

测试原理图如图 113—1 所示。图中信号源用于测微波放大管，测微波振荡管不用连接。

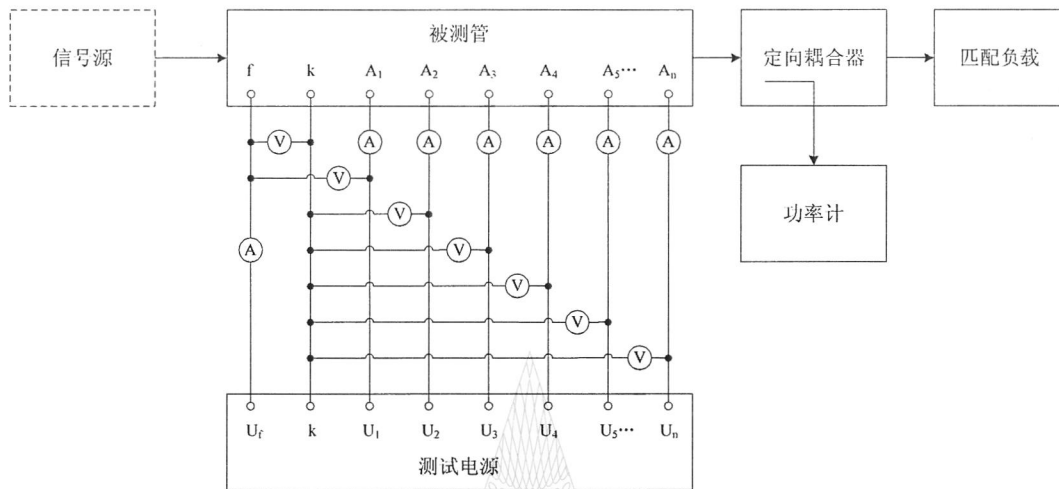


图 113-1 耗电量测试原理框图

3 测试程序

3.1 微波放大管

3.1.1 按图 113-1 将被测管接入测试系统。如果系统中使用信号源，则加电前请保证信号源输出功率关闭。

3.1.2 按相关详细规范的规定加上各极电压。测量静态下的各极电压和电流，按公式(113-1)计算静态下的总耗电量：

$$P = U_f I_f + \sum_i^n U_n I_n \dots\dots\dots (113-1)$$

式中：

P ——总耗电量，W；

U_f ——热(灯)丝电压，V；

I_f ——热(灯)丝电流，A；

U_n ——第 n 个电极(阳极，收集极，栅极，控制极等各种电极)电压，V；

I_n ——第 n 个电极(阳极，收集极，栅极，控制极等各种电极)电流，A。

3.1.3 开启并调整信号源，使其输出功率达到规定值，测量动态下的各极电压和电流，按公式(113-1)计算动态下的总耗电量。

3.2 微波振荡管

3.2.1 按图 113-1 将被测管接入测试系统。

3.2.2 按相关详细规范的规定加上各极电压，并使输出功率达到规定值。测量各极电压和电流，按公式(113-1)计算总耗电量。

4 注意事项

4.1 按图连接仪器设备，应注意电流表和电压表的相对位置关系。如果接反，会带来较大的误差。

4.2 在不同频率和不同输出功率下各电极电流可能不同，在相关详细规范中应规定测试点的频率和输出功率。

方法 201B 输入功率和输出功率

1 目的

测量微波电子管的输入功率和输出功率。

2 测试原理

测试原理图如图 201—1 所示。其中，图 201—1 b)和图 201—1 c)可置换图 201—1 a)中右侧虚线框内的部分。环行器及匹配负载 1 的组合用于防止反向功率损坏信号源，也可用隔离器替代。

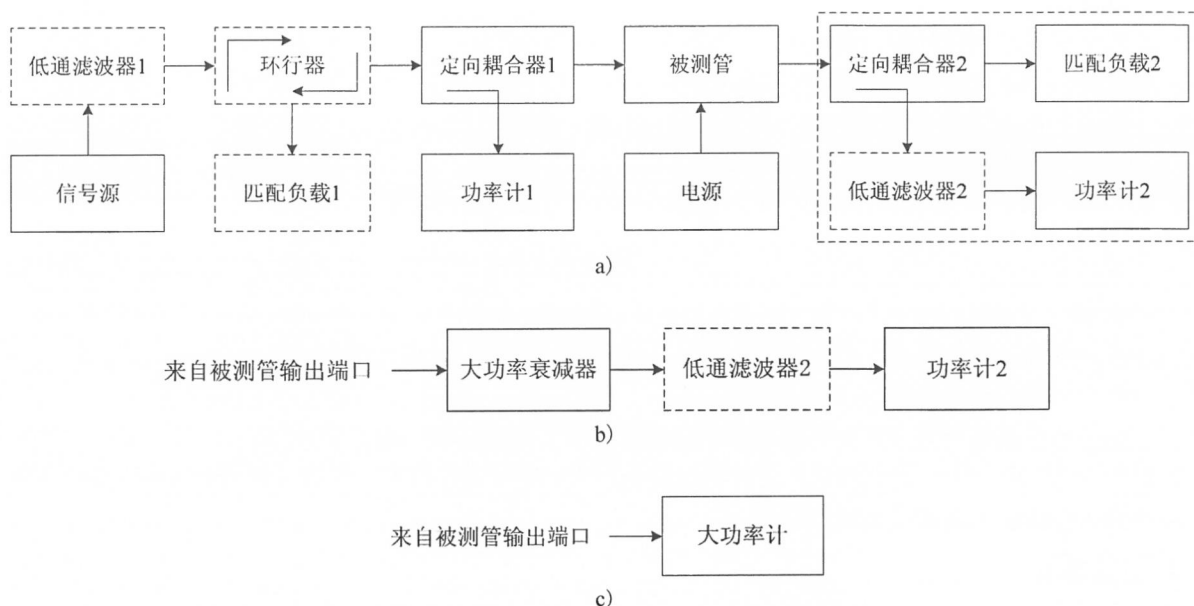


图 201—1 输入功率和输出功率测试原理框图

3 测试程序

3.1 输入功率

3.1.1 按图 201—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.1.2 测试仪器开机并预热充分。确保信号源功率输出关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.1.3 按相关详细规范的规定设置测试频率，打开信号源功率输出，分别记录功率计 1 和功率计 2 的读数。

按公式(201—1)计算输入功率：

$$P_{in} = P_1(K_1 - 1) \dots\dots\dots (201-1)$$

式中：

P_{in} ——基波输入功率，mW；

P_1 ——功率计 1 测得的功率，mW；

K_1 ——定向耦合器 1 在基波频率上的耦合系数，以倍数计。

当 K_1 大于 20dB 时可用公式(201—2)计算：

$$P_{in} = P_1 + K_1 \cdots \cdots (201-2)$$

式中:

P_{in} ——基波输入功率, dBm;

P_1 ——功率计 1 测得的功率, dBm;

K_1 ——定向耦合器 1 在基波频率上的耦合系数, dB。

3.2 输出功率

3.2.1 按图 201-1 a) 进行测试, 按公式(201-3)计算基波输出功率:

$$P_o = P_2 + K_2 + L \cdots \cdots (201-3)$$

式中:

P_o ——基波输出功率, dBm;

P_2 ——功率计 2 测得的功率, dBm;

K_2 ——在基波频率上定向耦合器 2 的耦合系数, dB;

L ——低通滤波器 2 的衰减量, dB。

3.2.2 按图 201-1 b) 进行测试, 按公式(201-4)计算基波输出功率:

$$P_o = P_2 + L_2 \cdots \cdots (201-4)$$

式中:

P_o ——基波输出功率, dBm;

P_2 ——功率计 2 测得的功率, dBm;

L_2 ——在基波频率上大功率衰减器和低通滤波器 2 损耗之和, dB。

3.2.3 按图 201-1 c) 进行测试, 进行测试前先对大功率计进行校正, 然后使被测管按规定条件工作, 即可在大功率计上直接读出输出功率。

4 注意事项

4.1 在输入功率测试中, 输入功率应为基波功率, 因此应适当选择信号源和低通滤波器 1 以保证在低通滤波器输出端的功率中谐波总分量低于基波 30dB。如果信号源的输出中谐波分量比基波分量大于-30dBc, 则应在信号源后接入低通滤波器 1。

4.2 在基波频率上定向耦合器 2 的耦合系数应大于 20dB。如果已知输出功率中谐波分量小于-20dBc, 则功率计 2 前的低通滤波器 2 可不接入。

4.3 输出功率测试中的定向耦合器 2 的耦合系数选择应保证功率计探头工作于合适的功率范围内。定向耦合器 2 的方向性应足够高以减小反射功率对测试结果的影响。

4.4 定向耦合器 2 和低通滤波器 2(或大功率衰减器和低通滤波器 2)应组成整体后一次校正, 不可单独校正后相加。

4.5 除非另有规定, 输出功率是指基波输出功率。

4.6 按图 201-1 c) 测试所得的功率包括了基波功率和各次谐波功率, 需用方法 202 测出谐波输出比后将谐波功率扣除。

方法 202B 谐波输出比

1 目的

测量微波电子管输出功率中的谐波分量对基波分量的比值。

2 测试原理

2.1 频谱仪法

测试原理图如图202—1所示。其中，图202—1 a)中右侧虚线框中的电路可使用图202—1 b)电路置换。环行器及匹配负载1的组合用于防止反向功率损坏信号源，也可用隔离器替代。定向耦合器1和功率计的组合非必选项，可用于功率监测以确定被测管是否工作在相关规范规定的条件下。

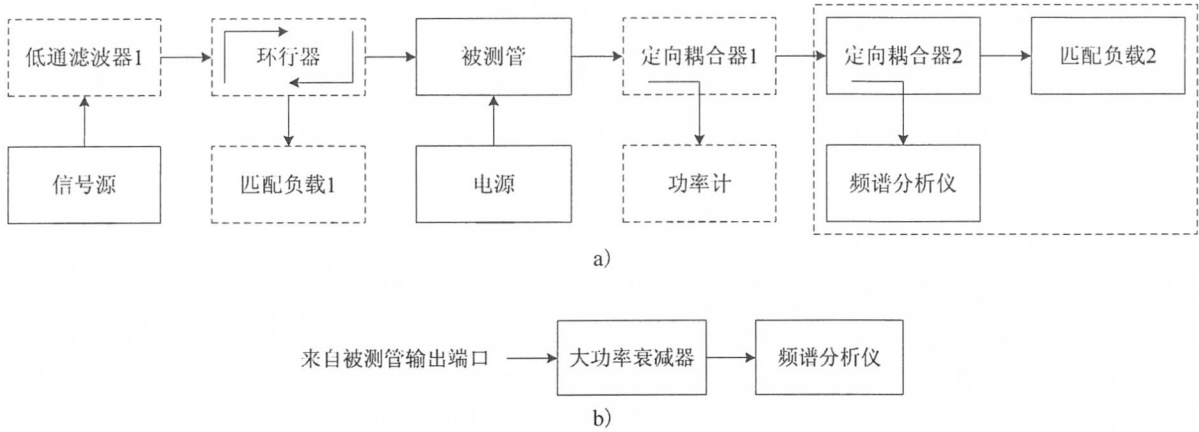


图 202—1 频谱仪法测谐波输出比原理框图

2.2 滤波器法

测试原理图如图 202—2 所示。环行器及匹配负载 1 的组合用于防止反向功率损坏信号源，也可用隔离器替代。

图中各低通滤波器的上截止频率应满足以下要求：

- a) 低通滤波器 1 截止频率 f_{c1} ， $1.1 f_0 < f_{c1} < 1.9 f_0$ ；
- b) 低通滤波器 2 截止频率 f_{c2} ， $2.2 f_0 < f_{c2} < 2.9 f_0$ ；
- c) 低通滤波器 3 截止频率 f_{c3} ， $3.2 f_0 < f_{c3} < 3.9 f_0$ 。

其中 f_0 为信号频率。

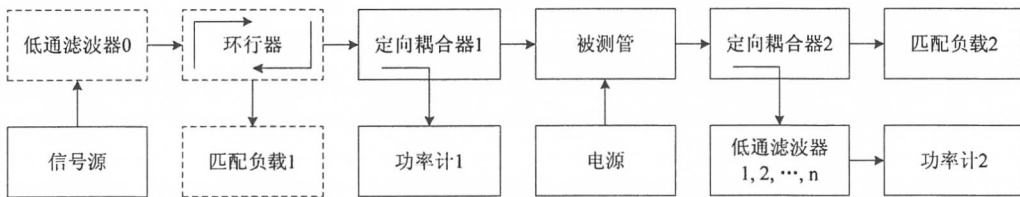


图 202—2 滤波器法测谐波输出比原理框图

3 测试程序

3.1 频谱仪法

- 3.1.1 按图 202—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。
- 3.1.2 确保信号源输出功率关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。
- 3.1.3 设置信号源的频率和功率，确保被测管处于测试规范要求的工作状态(例如饱和)。设置频谱仪的扫描范围，确保覆盖所测谐波频率，其他参数根据测试规范合理设置。开启信号源功率输出，在频谱仪上观察到基波和谐波的谱线，测量出频谱仪上显示的谐波输出比，则 n 次谐波输出比 P_n/P_0 。按公式(202—1)计算：

$$P_n/P_0 = N_n - (\Delta k_n + \Delta A_n) \dots \dots \dots (202-1)$$

式中:

P_n/P_0 —— n 次谐波输出比, dB;

N_n ——在频谱仪上测得的 n 次谐波对基波输出功率幅值的比值(当频谱仪以对数显示时为谱线高度差), dB;

Δk_n ——定向耦合器 2 在基波频率点上的耦合系数减去在 n 次谐波频率上的耦合系数, dB;

ΔA_n ——定向耦合器 2 连到频谱仪的电缆在基波频率点上的损耗减去在 n 次谐波频率上的损耗, dB。

3.2 滤波器法

3.2.1 按图 202-2 连接测试系统。测试设备严格接地, 保证测试安全。

3.2.2 确保信号源输出功率关闭, 按相关详细规范规定加上各极电压, 使被测管工作于静态。

3.2.3 从功率计 2 读出功率值为 P_{g1} , 则被测管基波输出功率 P_0 按公式(202-2)计算:

$$P_0 = P_{g1} \times 10^{0.1(K_1+L_1)} \dots\dots\dots (202-2)$$

式中:

P_0 ——被测管的基波输出功率, W;

P_{g1} ——接低通滤波器 1 时功率计读数, W;

K_1 ——定向耦合器 2 在频率 f_0 处的耦合系数, dB;

L_1 ——低通滤波器 1 在频率 f_0 处的衰减量, dB。

3.2.4 用低通滤波器 2 替换低通滤波器 1, 从功率计 2 读出功率值为 P_{g2} , 则被测管二次谐波输出功率 P_2 按公式(202-3)计算:

$$P_2 = (P_{g2} - P_{g1} \times 10^{0.1(L_1-L_{21})}) \times 10^{0.1(K_2+L_{22})} \dots\dots\dots (202-3)$$

式中:

P_2 ——被测管的二次谐波输出功率, W;

P_{g2} ——接低通滤波器 2 时功率计读数, W;

P_{g1} ——接低通滤波器 1 时功率计读数, W;

L_1 ——低通滤波器 1 在频率 f_0 处的衰减量, dB;

L_{21} ——低通滤波器 2 在频率 f_0 处的衰减量, dB;

K_2 ——定向耦合器在频率 $2f_0$ 处的耦合系数, dB;

L_{22} ——低通滤波器 2 在频率 $2f_0$ 处的衰减量, dB。

3.2.5 用低通滤波器 3 替换低通滤波器 2, 从功率计 2 读出功率值为 P_{g3} , 则被测管三次谐波输出功率 P_3 按公式(202-4)计算:

$$P_3 = (P_{g3} - P_{g2} \times 10^{0.1(L_{22}-L_{32})} - P_{g1} \times (10^{0.1(L_1-L_{31})} - 10^{0.1(L_1-L_{21}+L_{22}-L_{32})}) \times 10^{0.1(K_3+L_{33})} \dots\dots\dots (202-4)$$

式中:

P_3 ——被测管的三次谐波输出功率, W;

P_{g3} ——接低通滤波器 3 时功率计读数, W;

P_{g2} ——接低通滤波器 2 时功率计读数, W;

L_{22} ——低通滤波器 2 在频率 $2f_0$ 处的衰减量, dB;

L_{32} ——低通滤波器 3 在频率 $2f_0$ 处的衰减量, dB;

P_{g1} ——接低通滤波器 1 时功率计读数, W;

L_1 ——低通滤波器 1 在频率 f_0 处的衰减量, dB;

L_{31} ——低通滤波器 3 在频率 f_0 处的衰减量, dB;

L_{21} ——低通滤波器 2 在频率 f_0 处的衰减量, dB;

K_3 ——定向耦合器在频率 $3f_0$ 处的耦合系数, dB;

L_{33} ——低通滤波器 3 在频率 $3f_0$ 处的衰减量, dB。

3.2.6 按公式(202-5)计算谐波输出比:

$$P_n/P_0 = 10 \lg \frac{P_n}{P_0} \dots\dots\dots (202-5)$$

式中:

P_n/P_0 —— n 次谐波输出比, dB;

P_n ——被测管的 n 次谐波输出功率 ($n=2, 3$), W;

P_0 ——被测管的基波输出功率, W。

4 注意事项

- 4.1 定向耦合器工作频段足够宽以保证包含所测量谐波, 并对频率响应的波动进行校准以保证测量准确度。
- 4.2 当采用频谱仪法测量谐波输出比时, 输入到频谱仪的功率电平(基波和谐波)应使频谱仪的混频器处于线性工作状态。
- 4.3 应适当选择信号源和低通滤波器以保证在低通滤波器输出端的功率中谐波总分量低于基波 30dB 及以上。如信号源的输出中谐波分量比基波分量低 30dB 以上则低通滤波器可不接入。
- 4.4 校正时应将连接频谱仪的定向耦合器 2 和电缆连在一起, 一次求出 $(\Delta k_n + \Delta A_n)$ 值, 而不应分别求出后再相加。
- 4.5 当采用滤波器法测谐波输出比时, 功率计 2 的动态范围应足够大, 并应适当选择定向耦合器 2 的耦合度。当测量小谐波输出比时, 应在保证在任何情况下传送到功率计 2 上的功率不会超过容许值的条件下, 使传送到功率计 2 探头的基波功率尽量大。
- 4.6 当采用滤波器法测谐波输出比时, 如果想要得到全部谐波输出功率与基波输出功率之比且不要求很高的精度时, 可在步骤 3.2.3 中不接入低通滤波器测得 P_{g2} , 然后用公式(202-3)计算出总谐波功率(计算时 L_{21} 和 L_{22} 取零), 再用公式(202-5)计算总谐波输出比。
- 4.7 当采用滤波器法测谐波输出比时, 基本原理是利用功率计读取测量功率, 因此其他注意事项见方法 201。

方法 203B 功率增益

1 目的

测量微波电子管在规定工作条件下各种功率增益和有关功率增益的参量。包括功率增益、小信号增益、饱和增益、功率增量增益和增益线性度。

2 测试原理

功率增益的测试原理如方法 201B 中图 201-1 所示。

3 测试程序

3.1 功率增益(简称增益)

在规定的输入功率或输出功率的电平下, 按方法 201 测得输入功率 P_{in} 和输出功率 P_o 。按公式(203-1)或(203-2)计算功率增益:

$$G = 10 \lg \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \dots\dots\dots (203-1)$$

式中:

G ——功率增益, dB;

P_{out} ——输出功率, W;

P_{in} ——输入功率, W。

$$G = P_o - P_{\text{in}} \dots\dots\dots (203-2)$$

式中:

G ——功率增益, dB;

P_o ——输出功率, dBm;

P_{in} ——输入功率, dBm。

3.2 小信号增益、饱和增益和额定功率增益

3.2.1 在方法 201 的基础上, 信号源输出功率从小依次增加, 当功率计 2 读数不明显变化甚至下降时, 信号源输出功率回退找到功率计 2 读数最大值即为饱和状态。按方法 201 测出 P_o 和 P_{in} , 按公式 (203-1) 或公式 (203-2) 计算得到饱和增益。

3.2.2 以步骤 3.2.1 得到输出功率为准, 逐渐降低激励功率使输出功率由饱和功率回退相关详细规范的数值(通常回退 20dB), 按方法 201 测出 P_o 和 P_{in} , 按公式 (203-1) 计算小信号增益。

3.2.3 改变输入功率使输出功率达到额定值, 按方法 201 测出 P_o 和 P_{in} , 按公式 (203-2) 计算额定功率增益。

3.3 功率增量增益

当输入功率在规定值处有微小变化 ΔP_{in} 时, 其输出功率的微小变化 ΔP_{out} , 按公式 (203-3) 计算功率增量增益 $G_{\Delta P}$:

$$G_{\Delta P} = 10 \lg \frac{\Delta P_o}{\Delta P_{\text{in}}} \dots\dots\dots (203-3)$$

式中:

$G_{\Delta P}$ ——功率增量增益, dB;

ΔP_o ——输出功率变化, W;

ΔP_{in} ——输入功率变化, W。

3.4 增益线性度

增益线性度为在规定的激励功率或输出功率范围内, 最小的增量增益与最大的增量增益之比。

4 注意事项

测试增量增益时 ΔP_{in} 应在功率计精度容许的范围内尽可能小, 以减小误差。

方法 204B 增益随频率变化

1 目的

测量与微波电子管增益随频率变化相关的各种参数, 包括瞬时带宽、逐点测试带宽、增益均匀性、增益波动和增益斜率等。

2 测试原理

2.1 瞬时带宽

2.1.1 矢量网络分析仪法

测试原理图如图 204—1 所示。如果矢量网络分析仪输出功率不够，可以通过矢量网络分析仪预留的放大器接口接入预放。但要注意预放的输出功率不应超过矢量网络分析仪规定的最大可承受功率。

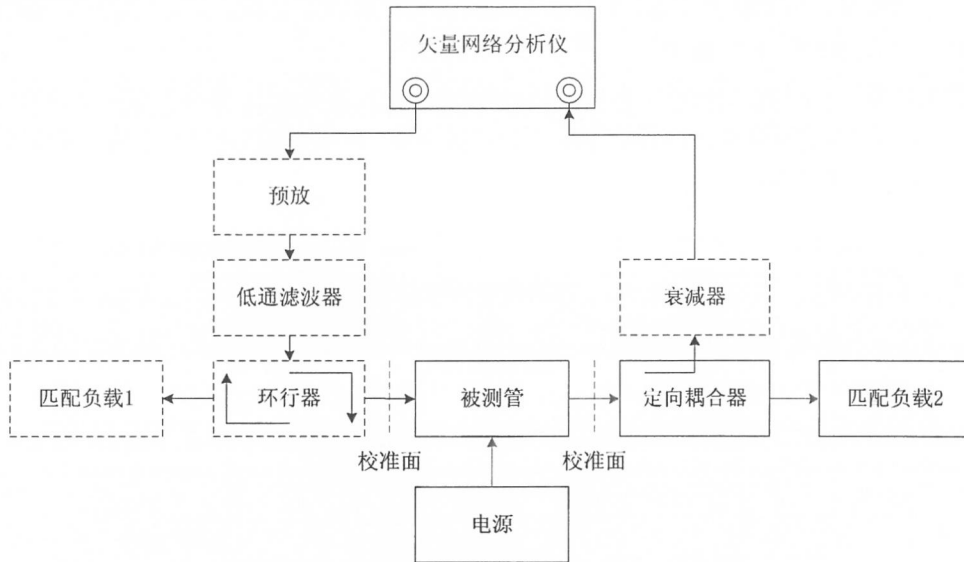


图 204—1 矢量网络分析仪法测连续波管瞬时带宽原理框图

2.1.2 标量网络分析仪法

测试原理图如图 204—2 所示。本方法适用于窄带微波电子管瞬时带宽的测量。如果信号源输出功率不够，可在环行器 1 后加一个预放。

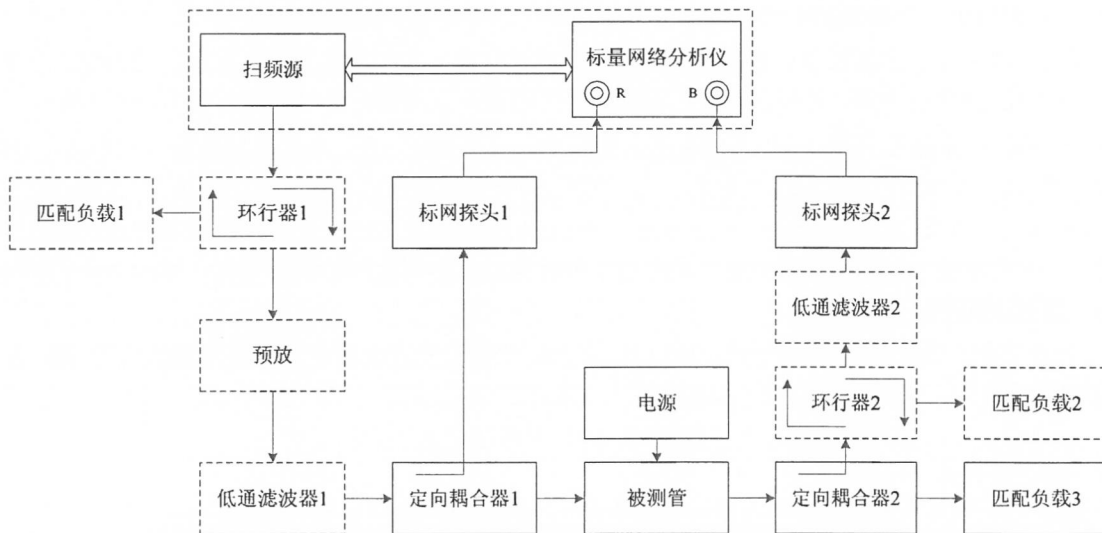


图 204—2 标量网络分析仪法测连续波管瞬时带宽原理框图

2.2 逐点测试带宽

测试原理图如方法 201 中图 201—1 所示。

3 测试程序

3.1 矢量网络分析仪法

3.1.1 矢量网络分析仪设定测量参数为 S_{21} ，显示格式为幅值对数。按图 204—1 所示的校准面进行全双端口校准或 TRL 校准并保存。

3.1.2 按图 204—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.1.3 矢量网络分析仪开机并预热充分。确保矢量网络分析仪输出功率关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.1.4 载入步骤 3.1.1 保存的校准状态。开启矢量网络分析仪功率输出，等待矢量网络分析仪扫描结束。矢量网络分析仪以对数幅度的形式显示 S_{21} ，即得如图 204—3 所示的增益对频率的关系曲线。增益符合规定值的带宽即为瞬时带宽。

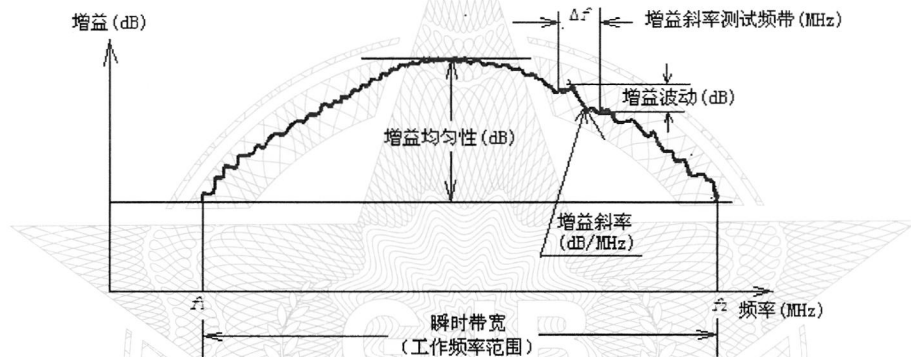


图 204—3 频带内的增益变化

3.2 标量网络分析仪法

3.2.1 将被测管从系统中断开，定向耦合器 1 的主臂输出端接到探头 1，副臂接宽带匹配负载，调节扫频信号源输出，使激励功率电平和波动在频带内符合相关详细规范规定值。

3.2.2 标网探头 1 恢复接到定向耦合器副臂，定向耦合器 1 和定向耦合器 2 连接，测得输出功率对激励功率的比值(单位为 dB)对频率的关系曲线。将此曲线存入网络分析仪存储器作为校准曲线。

3.2.3 将被测管接入系统，按相关详细规范和铭牌值规定条件工作，将激励功率输入被测管(扫频的起始点和终止点不应变化，功率电平也不应再调节)，测得输出功率对激励功率的比值(单位为 dB)对频率的关系曲线，将此曲线减去网络分析仪存储器中的校准曲线(有的网络分析仪采用观测曲线被校准曲线相除)，测得增益对频率的关系曲线。功率增益符合规定值的带宽即为瞬时带宽，如图 204—3 所示。

3.3 逐点测试带宽

按方法 203 进行测试，将激励频率手动逐点变动(变动的间隔应按相关详细规范的规定)测出增益对频率的关系曲线。激励功率的电平和被测管工作状态应固定不变。

功率增益符合相关详细规范规定值所对应的频率范围即为逐点测试带宽。

3.4 增益均匀性

在工作频带内，最大增益与最小增益的差值即为增益均匀性，如图 204—3 所示。

3.5 增益波动

在测试频带内，相邻的峰与谷之间功率增益的最大差值即为增益波动，如图 204—3 所示。

增益波动测试时，应将工作频带分为若干段进行扫频测量，以提高测试准确度。

3.6 增益斜率

在增益波动的增益斜率测试频带内，增益的最大斜率为增益斜率(单位为 dB/MHz)，如图 204—3 所示。应将工作频带分为若干段进行扫频测量，以提高测试准确度。

4 注意事项

- 4.1 用矢量网络分析仪测试宽带微波电子管时，如果所用电缆的频率响足够好，可以保证被测管处于等激励状态，则外稳幅用的定向耦合器和检波器或功率计可不接入。
- 4.2 用矢量网络分析仪测试宽带微波电子管时，如果所加预放输出谐波较大，则应在预放后将接低通滤波器、环行器和匹配负载作为一个整体接入矢量网络分析仪预留的放大器接口。
- 4.3 用量网络分析仪测试微波电子管时，检波器 2 应有较宽的线性动态范围，使校准和测试功率电平都在线性部分工作，该范围应比被测管最大功率高。如果网络分析仪探头 2 线性范围不够，则可以在按 3.2.2 进行系统校准后，在定向耦合器 2 和网络分析仪探头 2 之间插入一宽带精密极化衰减器或插入一已知频率响应的衰减器。插入此衰减器后应保证检波器 2 工作于线性范围。如果使用宽带精密极化衰减器，只要将测试结果加上衰减器指示的衰减量即可。如果使用已知频率响应的衰减器，则要在不同频率处根据频响曲线进行校正。
- 4.4 定向耦合器 1、2 的耦合系数要适当，使馈入到检波器 1、2 的功率在合适范围。
- 4.5 测试瞬时带宽时，激励功率的频率变化用快速扫频，其功率电平在测试频带内是等幅的。

方法 205B 相位灵敏度

1 目的

测量微波电子管输出与输入信号间相位差随被测电极电压(或电流)变化而改变的关系。

2 测试原理

2.1 移相器法

测试原理图如图 205—1 所示。

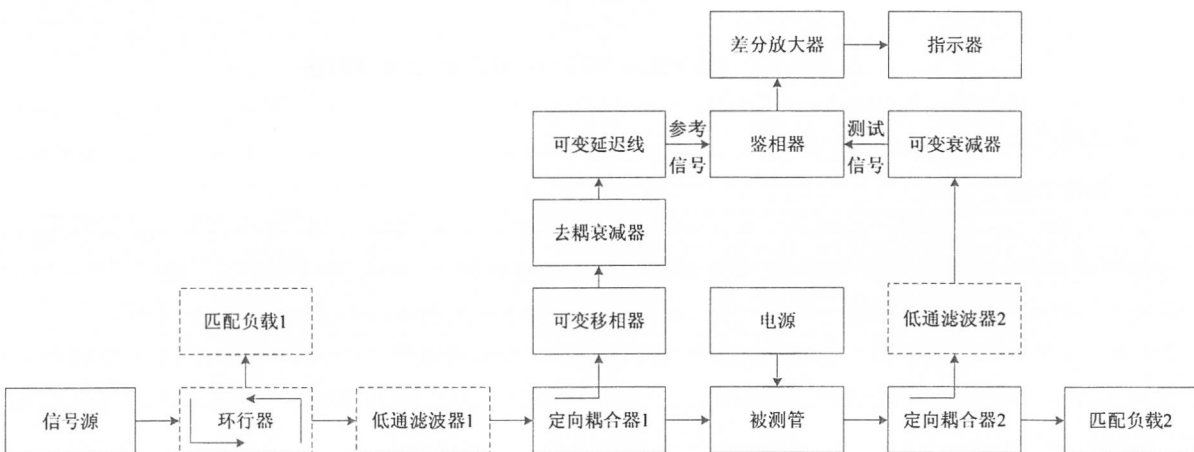


图 205—1 移相器法测试原理框图

2.2 矢量网络分析仪法

测试原理图如图 205—2 所示。

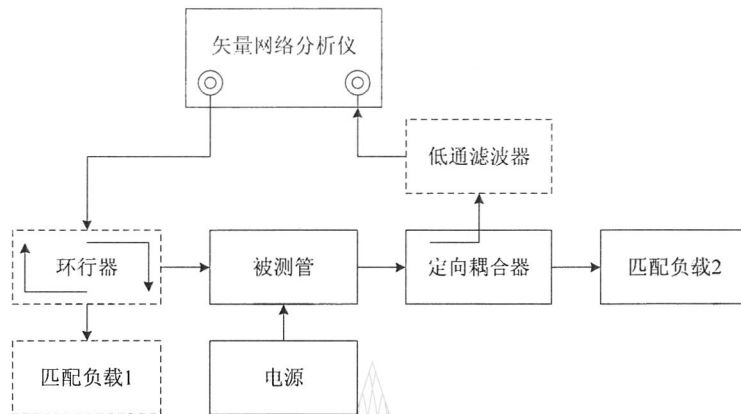


图 205-2 矢量网络分析仪法测试原理框图

2.3 脉冲矢量网络分析仪法

测试原理图如图 205-3 所示。

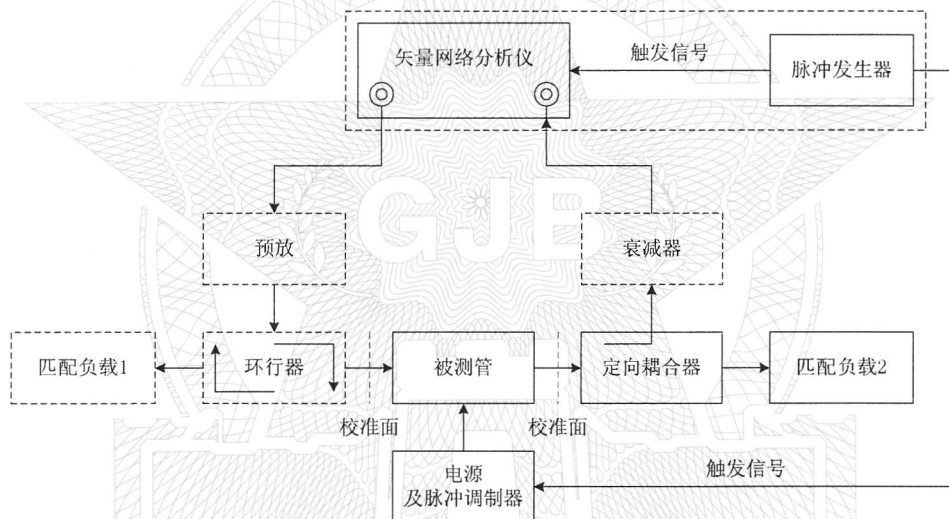


图 205-3 脉冲矢量网络分析仪法测试原理框图

3 测试程序

3.1 移相器法

3.1.1 按图 205-1 连接测试系统，使被测管按相关详细规范规定条件工作，参考信号与被测信号的功率电平应相当，调节可变移相器使平衡检波器平衡，必要时调节可变延迟线使平衡尖锐。

3.1.2 按规定变动被测电极电压或电流，此时其他电极电压或电流和激励功率应保持不变。

3.1.3 再调节可变移相器使平衡检波器再次平衡，两次移相器读数之差 $\Delta\Phi$ ，即为两次工作状态下相位差的差值，除以变动电压值即为电压相位灵敏度（单位为 $^{\circ}/V$ ），除以变动电流值即为电流相位灵敏度（单位为 $^{\circ}/A$ ）。

3.1.4 如果 3.1.2 中规定的电压变化量或电流变化量正好是被测电极电压或电流的 1%，则在 3.1.3 中测得的相位灵敏度即称为电压或电流变化 1% 时的相位灵敏度。

3.2 矢量网络分析仪法

3.2.1 矢量网络分析仪设定测量参数为 S_{21} ，显示格式为相位 (phase)。按图 205-2 所示的校准面进行全双端口校正或 TRL 校正。

3.2.2 按图 205—2 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.2.3 矢量网络分析仪开机并预热充分。确保矢量网络分析仪输出功率关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.2.4 载入步骤 3.2.1 保存的校准状态。开启矢量网络分析仪功率输出，确保参考信号和测试信号的功率电平差应在矢量网络分析仪的规定范围内，测出相移与频率的关系。如果显示的相位随频率变化出现相位有 $\pm 180^\circ$ 的突变时，应开启矢量网络分析仪的电延时功能，调节电延时时间，使在要测的频率范围内没有 $\pm 180^\circ$ 突变点或只有一个突变点，并使该突变点不在观测的频率点上。将结果存入矢量网络分析仪的存储器中。

3.2.5 将被测电极电压或电流变化规定值，使矢量网络分析仪显示测量值减储存值，即得到电压或电流变化时引起的相移变化量 $\Delta\Phi$ ，将其除以变动电压值即为电压相位灵敏度(单位为 $^\circ/\text{V}$)，除以变动电流值即为电流相位灵敏度(单位为 $^\circ/\text{A}$)。

3.2.6 如果 3.2.5 中规定的电压变化量或电流变化量正好是被测电极电压或电流的 1%，则在 3.2.5 中测得的相位灵敏度即称为电压或电流变化 1%时的相位灵敏度。

3.3 脉冲矢量网络分析仪法

3.3.1 按图 205—3 所示的校准面进行全双端口校正或 TRL 校正。

3.3.2 按图 205—3 连接测试系统，使被测管按相关详细规范规定条件工作，参考信号和测试信号的功率电平差应在矢量网络分析仪的规定范围内，调整好脉冲的时序关系。测出相移与频率的关系。如果显示的相位随频率变化出现相位有 $\pm 180^\circ$ 的突变时，应开启矢量网络分析仪的电延时功能，调节电延时时间，使在要测的频率范围内没有 $\pm 180^\circ$ 突变点或只有一个突变点，并使该突变点不在观测的频率点上。将结果存入矢量网络分析仪的存储器中。

3.3.3 将被测电极电压或电流变化规定值，使矢量网络分析仪显示测量值减储存值，即得到电压或电流变化时引起的相移变化量 $\Delta\Phi$ ，将其除以变动电压值即为电压相位灵敏度(单位为 $^\circ/\text{V}$)，或除以变动电流值即为电流相位灵敏度(单位为 $^\circ/\text{A}$)。

3.3.4 如果 3.2.3 中规定的电压变化量或电流变化量正好是被测电极电压或电流的 1%，则在 3.3.3 中测得的相位灵敏度即称为电压或电流变化 1%时的相位灵敏度。

4 注意事项

4.1 可用数字电压表以精确测量电压的变动值，按方法 103 的取样电阻法测量电流变动值。

4.2 相关详细规范中应规定被测管的测试频率点。

4.3 定向耦合器 1 的方向性应足够高，以减小因被测管输入端反射造成的影响。

4.4 各接口点上向广义源和广义负载两方向的失配应减至最小。

4.5 脉冲测量时由于不同的脉冲矢量网络分析仪的工作方式不同，需按其说明书进行操作。

4.6 利用脉冲矢量网络分析仪进行脉冲信号相位灵敏度测量时脉冲信号发生器应具有触发信号输入和输出功能及延时功能，以便实现被测管和脉冲矢量网络分析仪的同步。

4.7 如果矢量网络分析仪的输出功率已足够推动被测管，则图 205—3 中的预放可以不接入。

方法 206A 寄生输出比

1 目的

测量微波电子管寄生输出功率与载波输出功率之比。

2 测试原理

测试原理图如图 206—1 所示。

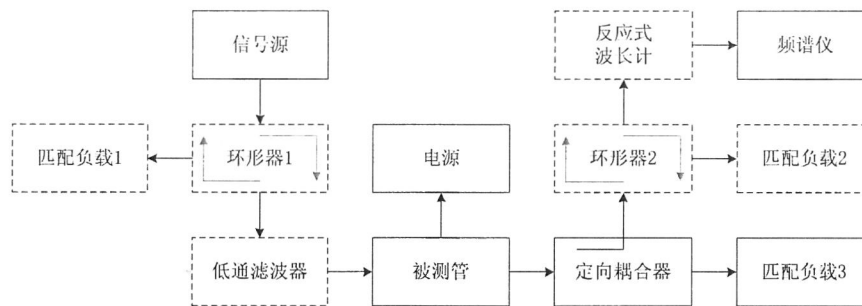


图 206-1 寄生输出比测试原理框图

3 测试程序

3.1 按图 206-1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.2 信号源和频谱分析仪开机并预热充分。确保信号源功率输出关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.3 将反应式波长计的谐振频率调到尽可能远离信号频率处。开启信号源功率输出，保证输入到频谱仪的功率电平合适，使频谱仪工作于线性状态，频谱仪的中心频率调到信号频率，此时频谱仪指示信号功率的幅值读数为 A_1 ，频谱仪上射频衰减器的衰减量为 L_1 ，单位均为 dB。将反应式波长计的谐振频率调到与信号频率一致，使频谱仪上显示的信号幅度降到最小。

3.4 使频谱仪中心频率偏离信号频率，频谱仪上射频衰减器的衰减量减小到 L_2 ，单位为 dB。将频谱仪的扫频带宽置于比较窄的位置，在规定频带内扫频搜索，直到检测出与信号共生的最大寄生输出。此时寄生输出幅值在频谱仪上的读数为 A_2 ，单位为 dB。

3.5 寄生输出比 J/P_{out} 按公式 (206-1) 计算：

$$J/P_{out} = (A_2 - A_1) + \Delta k + (L_2 - L_1) \dots \dots \dots (206-1)$$

式中：

J/P_{out} ——寄生输出比，dB；

A_2 ——寄生输出幅值在频谱仪上的读数，dB；

A_1 ——反应式波长计的吸收频率远离信号频率时信号输出幅值在频谱仪上的读数，dB；

Δk ——定向耦合器加电缆在寄生输出频率上的耦合系数减去在载波频率上的耦合系数，dB；

L_2 ——测寄生输出幅值时频谱仪上射频衰减器的衰减量，dB；

L_1 ——测信号输出幅值时频谱仪上射频衰减器的衰减量，dB。

3.6 按相关详细规范规定变动信号源频率，重复上述测试。

4 注意事项

4.1 频谱仪的中频带宽应选择小于脉冲重复频率的值。

4.2 由于寄生输出最大点可能不在微波电子管的工作频带内，因此要在工作频带外搜索是否存在最大寄生输出比。

4.3 对定向耦合器、环形器和反应式波长计组合的总插损的频响进行校准，以便对测量数据进行修正。

4.4 信号源、环形器和低通滤波器组合后的输出信号的寄生输出比应远小于被测管的寄生输出比。

方法 207B 互调比

1 目的

测量微波电子管互调比。

2 测试原理

测试原理图如图 207—1 所示。

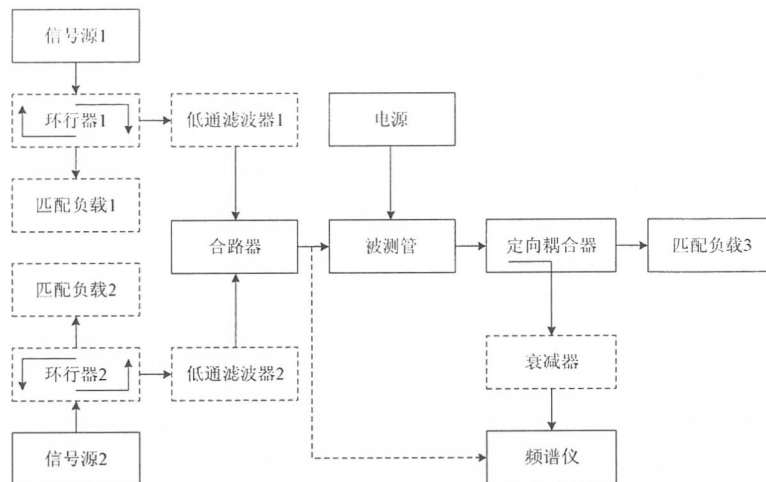


图 207—1 互调比测试原理框图

3 测试程序

3.1 按图 207—1 中虚线箭头连接测试系统。由于测试需要在输入端输入两个功率相等、频率分别为 f_1 和 f_2 (由相关详细规范规定, 一般相差 5MHz) 的未调制载波, 所以设置信号源 1 和信号源 2 频率分别为 f_1 和 f_2 。开启信号源 1 和信号源 2 的功率输出, 调节信号源 1 和信号源 2 的输出功率使两者的输出信号 f_1 和 f_2 在频谱仪上的幅值相等。

3.2 按图 207—1 接入被测管连接测试系统。确保信号源 1 和信号源 2 的功率输出关闭, 按相关详细规范规定加上各极电压, 使被测管工作于静态。

3.3 以 3.1 得到的信号源输出功率为基础, 回退 3dB 设置信号源 1 和信号源 2。开启两者的功率输出。由于被测管的非线性, 输出频谱中会出现互调分量: 三阶互调分量频率 $(2f_2 - f_1)$ 、 $(2f_1 - f_2)$, 五阶互调分量频率 $(3f_2 - 2f_1)$ 、 $(3f_1 - 2f_2)$ 等, 如图 207—2 所示。

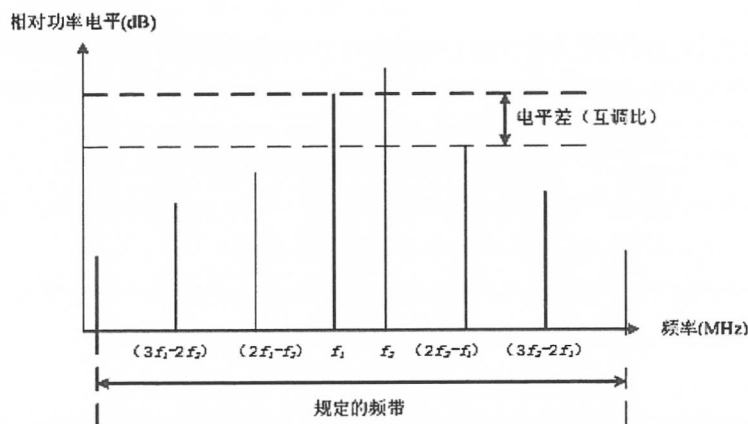


图 207—2 互调比测试中的输出频谱

3.4 输出频谱中两个载波电平可能不相同。两个同阶次的互调分量电平也不等。较低功率的载波电平与规定阶次互调分量中的较高电平间的电平差即为该阶次的互调比(单位为 dB)。

4 注意事项

- 4.1 为避免激励信号中的互调失真，合成载波用混合接头和环行器获得。输入信号中的互调分量的幅值应比规定的频带(见图 207—2)内最小的互调分量至少低 10dB。
- 4.2 频谱仪应工作于线性状态。
- 4.3 微波转移开关应外接匹配负载。

方法 210B 失配稳定性

1 目的

测试微波电子管在失配状态下稳定工作的能力。

2 测试原理

测试原理图如图 210—1 所示。测试短路稳定性时，图中虚框内的可调配可移动销钉和大功率负载的组合不适用，可用大功率可变衰减器和短路活塞组合代替。

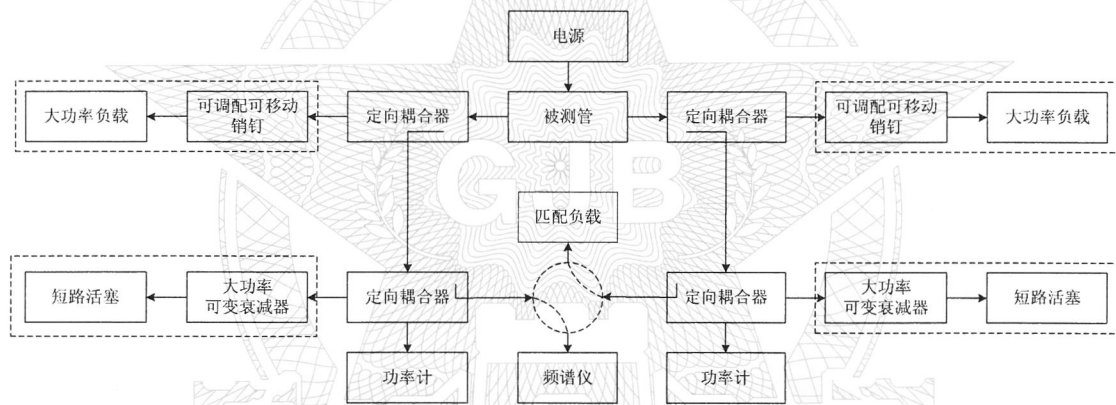


图 210—1 失配稳定性测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 将输入端和输出端的可调配可移动销钉和大功率负载或大功率可变衰减器和短路活塞接到矢量网络分析仪或标量网络分析仪上，调节销钉的插入深度或大功率可变衰减器的衰减量使他们的反射系数的幅值达到相关详细规范的规定值。然后将他们接回图 210—1 所示的系统上。
- 3.2 按图 210—1 建立测试系统，使被测管按相关详细规范规定的条件工作。
- 3.3 输入端和输出端的销钉或短路活塞移动规则为：当一个销钉或短路活塞在工作频率半波长范围的任何位置时，另一个销钉或短路活塞至少移动半个工作频率波长。
- 3.4 在整个过程中两个功率计测得的输入和输出回路的功率电平在相关详细规范规定值以下，且频谱中不出现超过相关详细规范规定值的谱线，则认为被测管是稳定的。

4 注意事项

- 4.1 相关详细规范中应规定允许振荡功率电平。
- 4.2 大功率可变衰减器或大功率负载应能承受可能出现的最大振荡功率而不会损坏。
- 4.3 进行本试验时应注意观察是否有振荡出现。一旦出现振荡，应立即停止移动销钉或短路活塞并关闭被测管，以免损坏被测管。

方法 211B 交叉调制

1 目的

测量微波电子管调幅—调幅转移因子。

2 测试原理

测试原理图如方法 207 中图 207—1 所示。

3 测试程序

3.1 按图 207—1 连接测试系统,使被测管按相关详细规范规定的条件工作。因调幅—调幅转移因子与输出功率电平有关,应规定测试点的输出功率。输出功率按方法 201 测量。

3.2 信号源 1 提供未调制载波,频率为 f_1 , 信号源 2 及调制器提供一个调幅载波,频率为 f_2 , 调制频率 f_m , f_1 和 f_2 相差应符合相关详细规范的规定值(一般为 5MHz)。

3.3 将频谱仪接到被测管输入端,测量载波 f_2 的调制度。在频谱仪上观察 f_2 、 $f_2 \pm f_m$ 三根谱线。 $f_2 \pm f_m$ 谱线幅值为 f_2 谱线幅值的 $0.5M$ 倍(线性值), M 为调制度。调节调制器输出使 M 等于 30%。

3.4 调节信号源 1 和信号源 2,使载波 f_1 、 f_2 幅度差达规定值(用频谱仪测量),并使输出功率达到规定值。

3.5 将频谱仪接到被测管输出端,测量载波 f_1 的调幅度。调幅—调幅转移因子等于载波 f_1 在输出端处的调幅度与载波 f_2 在输入端处的调幅度之比,以“百分数/百分数”表示。

4 注意事项

4.1 频谱仪应具有足够的分辨率和动态范围。

4.2 衰减器用来使输入到频谱仪的功率电平合适,频谱仪工作于线性。

4.3 若信号源包含调制功能,则不再接入调制器。

方法 212B 噪声系数

1 目的

测量微波电子管的噪声系数。

2 测试原理

2.1 噪声源法

测试原理图如图 212—1 所示。需要注意的是为了保证测试准确度,需要保证噪声系数测试仪工作在线性区。如果被测管的噪声功率比较大,首先可以通过噪声系数测试仪内部衰减设置达到效果,但是如果仪器内部最大衰减量也无法满足测试条件,则需要被测管输出端连接外部衰减器或耦合器。

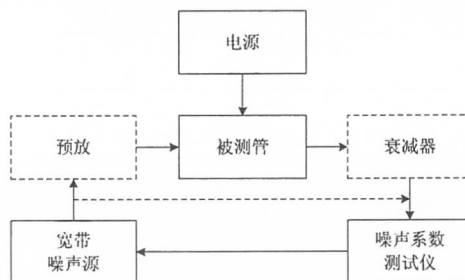


图 212—1 噪声源法噪声系数测试原理框图

2.2 信号源法

测试原理图如图 212—2 所示。此方法适宜于测量大于 25dB 的噪声系数。

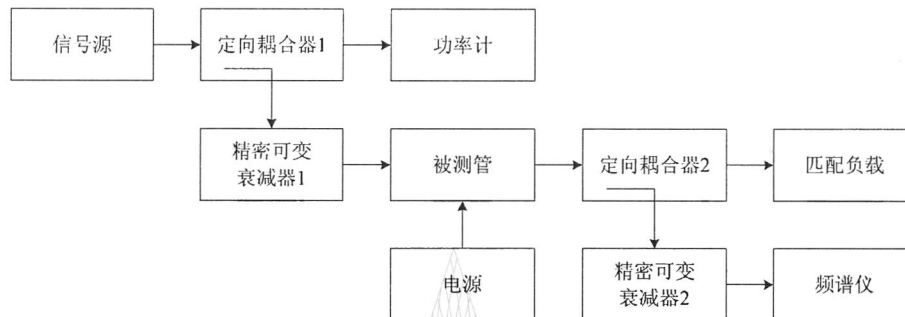


图 212—2 信号源法噪声系数测试原理框图

2.3 噪声功率谱密度法

测试原理图如方法 213 中的图 213—1 所示。

3 测试程序

3.1 噪声源法

3.1.1 按图 212—1 中虚线箭头所示，将宽带噪声源输出端直接连接至噪声系数测试仪的输入端进行校准。

3.1.2 按图 212—1 接入被测管连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.1.3 测试仪器开机并预热充分。按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.1.4 噪声源接上电源，待噪声系数分析仪测量结束后直接读取噪声系数。如果测量结果数据波动较大，不宜读数，可适当改变平均次数或观察带宽进行改善。

3.1.5 当衰减器引入的噪声忽略不计，且微波电子管有足够高的增益，则噪声系数 N_F 按公式 (212—1) 计算：

$$N_F = 10 \lg \frac{ENR}{A-1} \dots\dots\dots (212-1)$$

式中：

N_F ——噪声系数，dB；

ENR ——噪声源的超噪比，以倍数计；

A ——精密可变衰减器增加的衰减量，以倍数计。

3.1.6 如果被测管的噪声系数高，使用的宽带噪声源的超噪比不能满足测试要求时，可以在被测管和噪声源之间插入一放大器，则噪声系数 N_F 按公式 (212—2) 计算：

$$N_F = 10 \lg \frac{G(ENR + N'_F) - 1}{A - 1} \dots\dots\dots (212-2)$$

式中：

N_F ——噪声系数，dB；

G ——放大器在测试频率点的增益，以倍数计；

ENR ——噪声源的超噪比，以倍数计；

N'_F ——放大器在测试频率点的噪声系数，以倍数计；

A ——精密可变衰减器增加的衰减量，以倍数计。

3.2 信号源法

3.2.1 按图 212—2 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。设定频谱仪的分辨率带宽和视频滤波器的带宽(视频带宽)。

3.2.2 用已知超噪比的宽带噪声源校正频谱仪的等效噪声带宽。如果频谱仪说明书中已给出等效噪声带宽，此步可省略，但要注意按其规定设置的分辨率带宽和视频滤波器带宽。

3.2.3 使被测管按相关详细规范规定的条件工作。信号源电源断开，频谱仪调谐在规定频率范围内，调节被测管后的精密可变衰减器使频谱仪显示高于其本底噪声 10dB 左右的噪声带。记录精密可变衰减器的读数。

3.2.4 信号源接上电源，使其工作在所需频率。调节接在定向耦合器副路上的精密可变衰减器，使频谱仪上显示的信号谱线高于噪声 3dB~5dB。根据功率计的读数和定向耦合器的耦合系数及定向耦合器副路上的精密可变衰减器的衰减量算出送到被测管上的功率 P_{in} 。

3.2.5 调节被测管后的精密可变衰减器使指示器上的读数与 3.2.3 得到的读数相同。精密可变衰减器增加的衰减量为 A ，以倍数表示。

3.2.6 按公式(212—3)计算该频率点的噪声系数：

$$N_F = 10 \lg \frac{P_{in}}{K \cdot T \cdot \Delta F (A-1)} \dots\dots\dots (212-3)$$

式中：

N_F ——噪声系数，dB；

P_{in} ——被测管输入端的功率，W；

K ——玻尔茨曼常数，为 1.38×10^{-23} J/K；

T ——室温，K；

ΔF ——频谱仪的等效噪声带宽，Hz；

A ——被测管后的精密可变衰减器增加的衰减量，以倍数计。

4 注意事项

4.1 噪声源对被测管应是匹配的。

4.2 噪声源的工作频带应包含被测管的工作频带，超噪比应满足表 212—1 的要求。

表 212—1

单位为分贝

被测管噪声系数范围	0~20	0~30	0~35
超噪比	4.5~6.5	12~17	20~22

4.3 微波电子管应没有任何的寄生振荡。

4.4 所测得的噪声功率是按所用的接收机类型为单边带或双边带频率范围内的平均值。对双边带接收机而言，本振频率调谐至规定频率，以便将噪声功率在距规定频率为中频的两个相等的频带内平均。

4.5 检波器固有噪声应远低于所测噪声电平。将微波电子管电源断开和接通，其指示器指示值至少有 10dB 差值，否则应按公式(212—4)进行修正：

$$N_F = N'_F - \frac{N''_F - 1}{G} \dots\dots\dots (212-4)$$

式中：

N_F ——被测管噪声系数，以倍数计；

N'_F ——测得噪声系数，以倍数计；

N''_F ——接收机噪声系数，以倍数计；

G ——被测管增益，以倍数计。

4.6 精密衰减器精度要足够高以保证测试准确度。

4.7 为保证仪器安全，需要时应在噪声系数测试仪前加一限幅器，并在计算噪声系数时扣除限幅器对噪声系数的影响。

方法 213B 噪声功率谱密度

1 目的

测量微波电子管在无激励时输出的单位带宽内的噪声功率。

2 测试原理图

噪声功率谱密度测试原理图如图 213—1 所示。

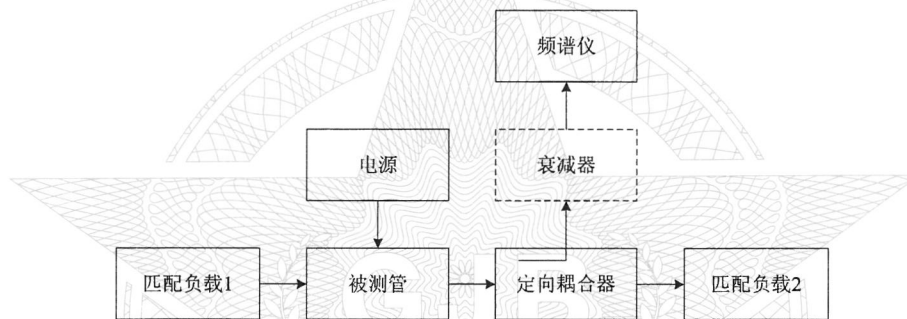


图 213—1 噪声功率频谱密度测试原理框图

3 测试程序

3.1 确定被测管无寄生振荡

3.1.1 按图 213—2 连接测试系统。可变衰减器衰减量置于最大值。测试设备严格接地，保证测试安全。

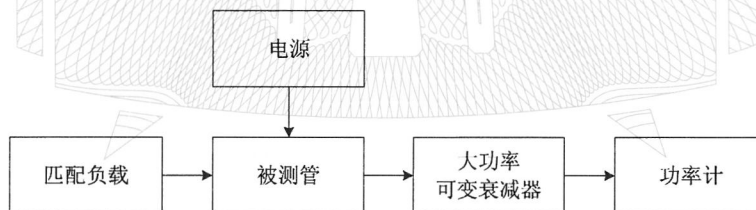


图 213—2 确定被测管无寄生振荡测试原理框图

3.1.2 测试仪器开机并预热充分。按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.1.3 将可变衰减器衰减量逐渐减小直至功率计上有稳定的功率指示。

3.1.4 稍微变动微波电子管慢波结构电压，以判断此指示是因噪声功率还是管内寄生振荡所致。噪声功率输出对电压变动不敏感，而寄生振荡受电压影响很大，以此判定被测管有无寄生振荡。

3.2 按图 213—1 连接测试系统。频谱仪的衰减器调到零，并置于窄带扫描。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.3 测试仪器开机并预热充分。按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.4 设置频谱仪的频率扫描范围，保证覆盖测试规范规定的工作带宽。等待频谱仪扫描结束，测得工作频带内噪声功率的频率分布。

3.5 从频谱仪上读出功率电平值，按公式(213-1)计算噪声功率 P_N ：

$$P_N = P \times 10^{0.1L} \dots\dots\dots (213-1)$$

式中：

- P_N ——噪声功率， μW 或 mW ；
- P ——频谱仪测得的功率电平值， μW 或 mW ；
- L ——环行器及连接电缆在测试频率点上的损耗，dB。

噪声功率频谱密度 P_{Nd} 按公式(213-2)计算：

$$P_{Nd} = \frac{P_N}{\Delta f} \dots\dots\dots (213-2)$$

式中：

- P_{Nd} ——噪声功率频谱密度， mW/MHz 或 $\mu\text{W/MHz}$ ；
- P_N ——噪声功率， μW 或 mW ；
- Δf ——频谱仪分辨率带宽，MHz。

3.6 也可以用标记噪声功能从频谱仪直接读取噪声功率谱密度值。

4 注意事项

- 4.1 噪声功率谱密度测试前应保证被测管是稳定的，没有寄生振荡，否则会损坏仪器。
- 4.2 频谱仪的分辨率带宽应比测试频带窄得多，并应在相关详细规范中规定。
- 4.3 由于被测管噪声功率谱密度的最大值不一定出现在被测管工作频带内，因此应在比被测管工作带宽更宽的频率范围内搜索噪声功率谱密度的最大值。

方法 214B 脉间噪声和脉内噪声(无激励状态)

1 目的

测量脉冲微波电子管在无激励功率情况下脉冲间歇期间的脉间噪声和在脉冲通导期间的脉内噪声。

2 测试原理

2.1 测试原理图如图示 214-1 所示。频谱分析仪灵敏度不足时，低噪声放大器可放大噪声，提高测试准确度。衰减器用于保证频谱分析仪处于线性工作状态。

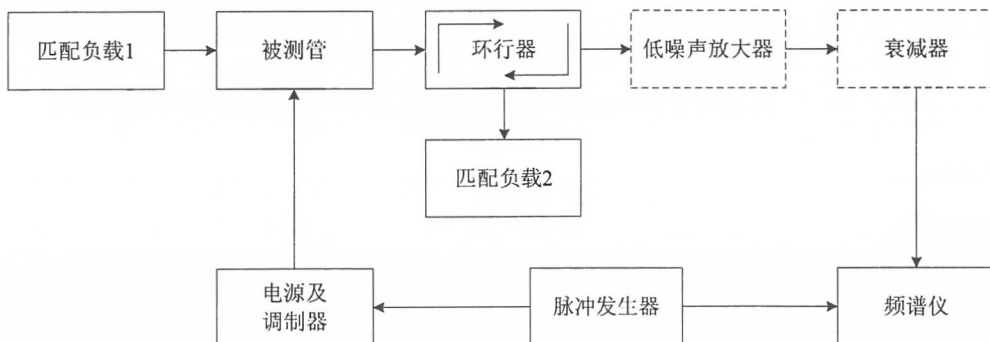


图 214-1 脉间噪声和脉内噪声(无激励状态)测试原理框图

2.2 测量脉间噪声是在脉冲间歇期间将测试系统接入被测管输出端，在规定频带内测量其全部射频输出功率。在脉冲通导期间将测试系统与输出端断开，不测量。

2.3 测量脉内噪声(无激励状态)是在脉冲通导期间将测试系统接入微波电子管输出端，在规定频带内测量其全部射频输出功率。在脉冲间歇期间将测试系统与输出端断开，不测量。测试系统的接入与断开用 PIN 开关实现。

2.4 PIN 开关工作的时间与脉冲电流的时间关系如图 214—2 所示。

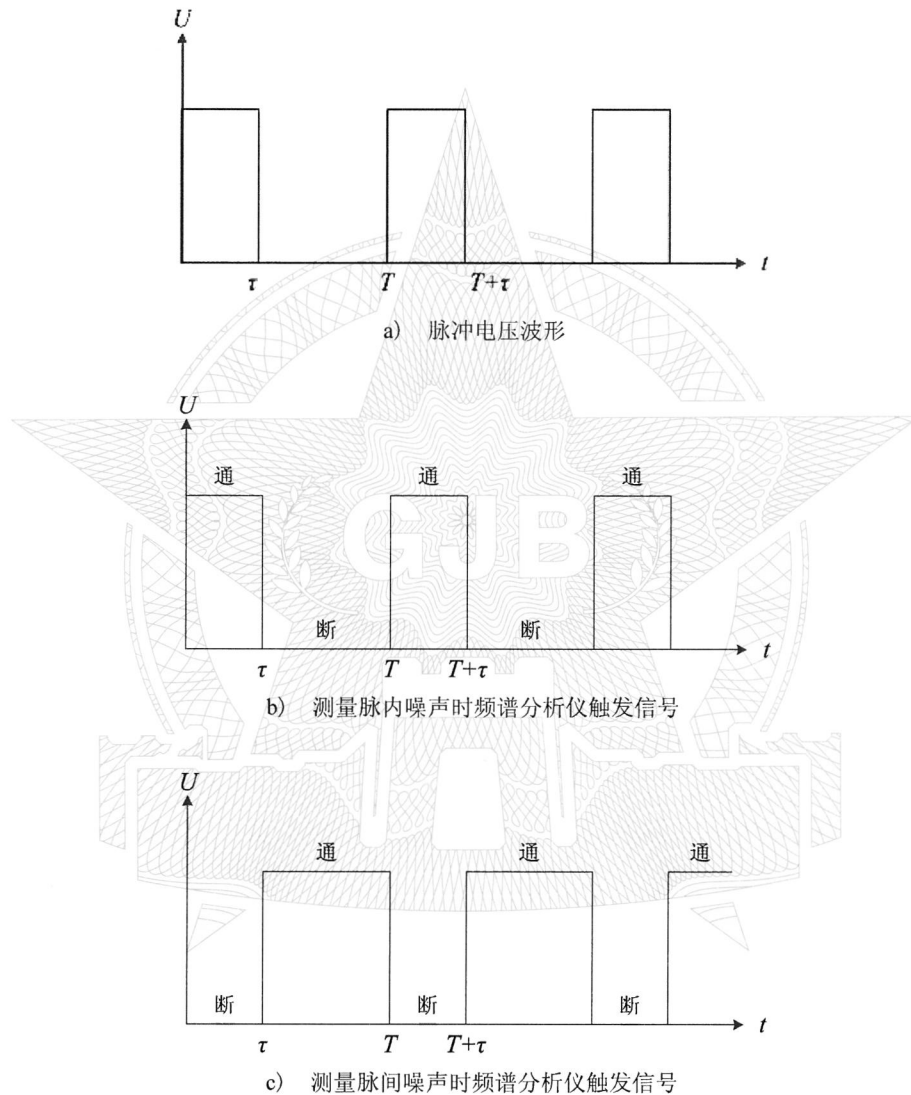


图 214—2 频谱分析仪触发波形与行波管电源脉冲电压波形的时间关系图

3 测试程序

3.1 使用频谱仪

3.1.1 按图 214—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。电源及频谱仪采用外部触发方式，由脉冲发生器提供触发信号。

3.1.2 按方法 213 的测试程序，开启脉冲信号发生器，通过改变频谱仪的门信号宽度和门延迟，分别测量出在脉冲间歇期间(脉间)和脉冲通导期间(脉内)的噪声功率频谱密度在规定的测试频带内的频率

分布情况。

3.1.3 将测得噪声功率频谱密度随频率的分布在规定频带进行积分，以得到脉冲间歇期间和脉冲通导期间的全部射频功率输出。

3.2 使用滤波器和高灵敏度功率计

3.2.1 按图 214—1 连接测试系统，将可变衰减器的衰减量置于最大值。然后，使被测管按相关详细规范规定条件工作。

3.2.2 将可变衰减器衰减量逐渐减小直至功率计上有一定指示。按照方法 213 判断此指示是噪声功率还是寄生振荡，如果是噪声功率则将可变衰减器衰减量调至零。

3.2.3 在规定频带内的全部射频输出功率即噪声功率 P_N ，按公式 (214—1) 计算：

$$P_N = P \times 10^{0.1L} \dots\dots\dots (214-1)$$

式中：

P_N ——噪声功率， μW 或 mW ；

P ——功率计指示值， μW 或 mW ；

L ——滤波器、环行器、PIN 开关在规定的测试频带内的损耗系数之和，dB。

3.2.4 在脉冲间歇期间的全部射频输出功率为脉间噪声，在脉冲通导期间测得的全部射频输出功率为脉内噪声(无激励状态)。

4 注意事项

- 4.1 被测管在测试时应是稳定的，没有寄生振荡。
- 4.2 使用频谱仪测试时应按照方法 213 的注意事项。

方法 215B 调频工作特性

1 目的

测量微波电子管在调频工作时的调频增益与边带抑制功率。

2 测试原理

测试原理图如图 215—1 所示。被测管的电子注被锯齿波电压调制后，电子速度随时间变化，使被测管的相移也随时间而变化，由于频率随时间的变化等于相移对时间的导数，导致被测管的输出频率与信号频率不一致，形成调频。

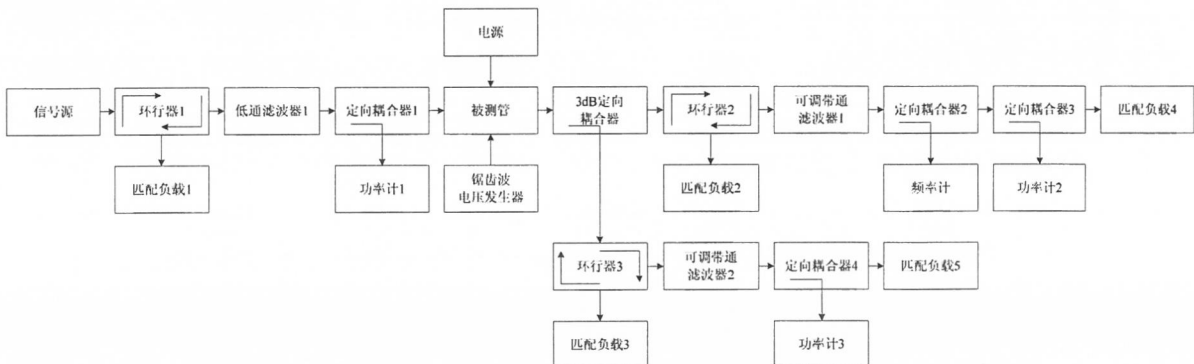


图 215—1 调频工作测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 按图 215—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。
- 3.2 测试仪器开机并预热充分。确保信号源输出功率关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。
- 3.3 按相关详细规范规定加上频率为 f_m 的激励信号和锯齿波电压。
- 3.4 调节可调带通滤波器 1 的通带频率使功率计 1 输出最大，由频率计测出相应的频率 f_1 。功率计 1 测出在 f_1 的功率 P_{out1} 。调节信号源的输出功率使 P_{out1} 达规定值。
- 3.5 频率变化量 $\Delta f = f_m - f_1$ ，调频增益 $G_{\Delta f}$ 按公式 (215—1) 计算：

$$G_{\Delta f} = 10 \lg \frac{P_{out1}}{P_{in}} + L \dots\dots\dots (215-1)$$

式中：

$G_{\Delta f}$ ——调频增益，dB；

P_{out1} ——在频率 f_1 处的输出功率，W；

P_{in} ——被测管的输入功率，由功率计 3 读得功率后用公式 (201—1) 或 (201—2) 换算得到，dB；

L ——滤波器 1、取样器、环行器在频率 f_1 处的损耗系数及 3dB 定向耦合器在频率 f_1 处的总耦合系数，dB。

- 3.6 在所有条件不变的情况下，将可调带通滤波器 2 调节至 $f_1 \pm \Delta f$ ， $f_1 \pm 2\Delta f$ (按规定)。在这些频带内测试功率，这些功率称作抑制功率 P_s ，其最大值应小于规定值。在测定这些功率时应应对 3dB 定向耦合器的耦合系数及可调带通滤波器 2 和环行器的插入损耗进行修正。

4 注意事项

应规定滤波器的通带宽度及阻带范围。

方法 216B 有害幅度调制

1 目的

测量微波电子管输出信号中的有害幅度调制及有害谱线。该调幅是由机械的或其他(例如声波或电)的因素激励微波电子管所引起的。

2 测试原理

测试原理图如图 216—1 所示。可用频谱仪代替检波器和示波器，此时频谱仪应工作在零扫宽状态下，且调谐到信号源频率上。

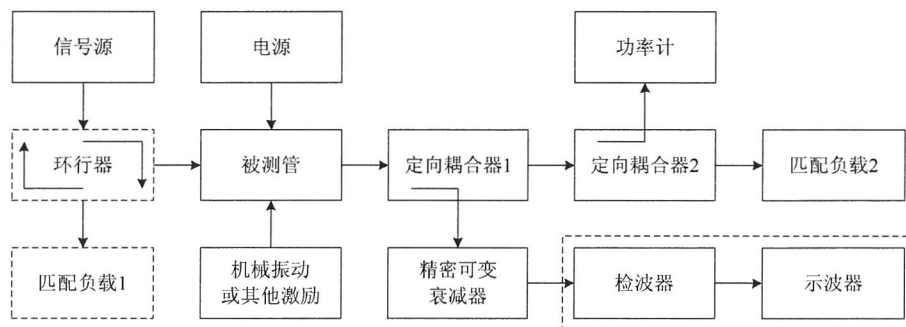


图 216—1 有害幅度调制测试原理框图

3 测试程序

3.1 有害幅度调制测试

3.1.1 微波电子管牢固安装在振动台上(如为其他激励方式时应有可靠的耦合), 并使其按相关详细规范和铭牌值规定条件工作, 输出功率达规定值。

3.1.2 按照相关详细规范规定对被测管施加激励, 调节衰减器, 使检波器工作在平方率检波范围内(如用频谱仪则应设置为扫频带宽为零的状态且工作在线性范围内)在示波器(或频谱仪)上显示射频包络波动的图形, 如图 216—2 所示。

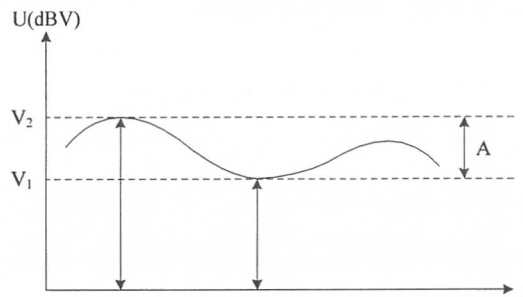


图 216—2 经检波后的输出功率波动图形

3.1.3 调节精密衰减器测出最大值与最小值间的差值 A , 以 dB 计。用公式 (216—1) 换算成倍数:

$$V_2/V_1 = 10^{\frac{A}{20}} \dots\dots\dots (216-1)$$

3.1.4 按公式 (216—2) 计算调幅百分数 η_A :

$$\eta_A = \frac{V_2/V_1 - 1}{V_2/V_1 + 1} \times 100\% \dots\dots\dots (216-2)$$

3.2 有害频谱测试

3.2.1 微波电子管牢固安装在振动台上(如为其他激励方式时应有可靠的耦合), 并使其按相关详细规范和铭牌值规定条件工作, 输出功率达规定值。

3.2.2 图 216—1 中检波器和示波器组合换成频谱仪, 设置频谱仪的中心频率等于信号频率, 选择合适的扫频带宽。调节衰减器使频谱仪工作在线性状态。信号谱线应有足够的高度。

3.2.3 按照相关详细规范规定对被测管施加激励, 频谱仪上将出现附加的谱线(即有害频谱), 利用频谱仪的光标即可测出有害谱线与信号谱线幅度之差(单位为 dB)。

4 注意事项

被测管的输出功率变化, 应注意区分是激励源(机械的或其他的)对被测管的作用引起的, 还是其他因素所引起的。

方法 217B 群时延

1 目的

测量微波电子管的群时延随频率变化的特性。

2 测试原理

测试原理图如方法 204 中的图 204—1 所示。

3 测试程序

3.1 群时延—频率曲线

3.1.1 按照图 204—1 所示的校准面进行全双端口校正或 TRL 校正并保存。

3.1.2 按图 204—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.1.3 测试仪器开机并预热充分。确保矢量网络分析仪输出功率关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.1.4 载入步骤 3.1.1 保存的校准状态。开启矢量网络分析仪输出功率，等待矢量网络分析仪扫描结束。在矢量网络分析仪上直接测出群时延与频率的关系曲线。

3.2 群时延波动

群时延波动为在规定频带内群时延的最大值与最小值之差。

用最小二乘法将群时延—频率曲线拟合合成一条二次曲线，由公式(217—1)表示：

$$t_D = A_0 + A_1 f + A_2 f^2 \dots\dots\dots (217-1)$$

式中：

t_D ——群时延时间，ns；

A_0 ——群时延零次项，ns；

A_1 ——线性时延失真，ns/MHz；

A_2 ——抛物线时延失真，ns/(MHz)²；

f ——测试频率，MHz。

3.3 群时延斜率

群时延斜率为在规定频带内群时延变化最快(曲线斜率最大)处。

首先观察曲线，大致判定群时延变化最快区域。然后针对该区域，利用光标在曲线上按照详细规范规定的间隔(例如 10MHz)选择 N 个点。最后，分别计算这些点的群时延斜率，由公式(217—2)表示：

$$S_i = \frac{t_{gi+1} - t_{gi}}{f_{i+1} - f_i} \dots\dots\dots (217-2)$$

取这些点群时延斜率最大值为群时延斜率指标。

4 注意事项

4.1 测试系统中的元件和连接用电缆在扫频带宽范围内，应有平坦的 $d\omega/d\beta$ 特性。

4.2 图 217—1 中预放为可选件，当矢量网络分析仪输出功率可推动被测管时可不接入。

方法 218B 相位和增益一致性

1 目的

测量一组微波电子管的相位频率响应和增益频率响应的离散性。

2 测试原理

连续波相位和增益一致性测试原理图如图 217—1 所示，脉冲相位和增益一致性测试原理图如图 218—1 所示。

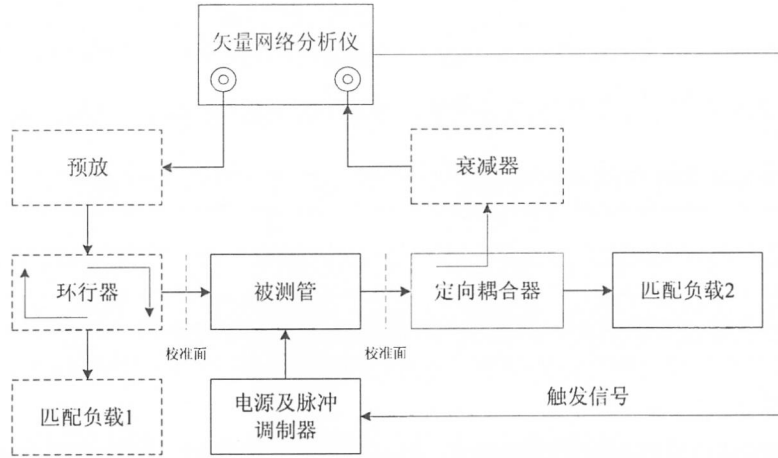


图 218-1 脉冲相位和增益一致性测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 根据被测管是连续波工作或脉冲工作，按图 217-1 或图 218-1 所示的校准面进行全双端口校正或 TRL 校正并保存。
- 3.2 在待测的一组微波电子管中确定一只作基准管，根据被测管是连续波工作或脉冲工作，按图 217-1 或图 218-1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。
- 3.3 测试仪器开机并预热充分。确保矢量网络分析仪输出功率关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。
- 3.4 载入步骤 3.1 保存的校准状态。开启矢量网络分析仪输出功率，等待矢量网络分析仪扫描结束。测量被测管的 S_{21} —频率关系曲线并存入矢量网络分析仪作为基准。脉冲测试时还要调整脉冲时序。
- 3.5 在规定测试条件下，依次将被测管接入测试系统，重复步骤 3.3~3.4，测量 S_{21} —频率曲线，得到被测管与基准管 S_{21} —频率曲线的差值。选择显示方式为相位或对数幅度，即可分别显示被测管和基准管间相位或增益的不一致性。
- 3.6 利用矢量网络分析仪的标记搜索最大和最小值功能，可读出该被测管相位或增益不一致性的最大、最小值。再将一组被测管的相位或增益不一致性的最大和最小值比较即可得到该组被测管相位或增益不一致性的最大和最小值。
- 3.7 也可以通过记录设备将被测管相位或增益不一致性—频率曲线打印在坐标图上。所有被测管的输入至输出传输相位或增益应处在标称相位附近的一个规定的相位或增益区域内。再读出相位（或增益）不一致性的最大值和最小值。

4 注意事项

- 4.1 脉冲测量时由于不同的脉冲矢量网络分析仪的工作方式不同，需按其说明书进行操作。
- 4.2 脉冲测量时行波管电源的脉冲调制器需有外触发功能。
- 4.3 图 218-1 中预放为可选件，当矢量网络分析仪输出功率可推动被测管时可不接入。

方法 219B 输入—输出特性

1 目的

测试微波电子管输出—输入特性和饱和输出功率。

2 测试原理

2.1 手动测试法

测试原理图如方法 201 中图 201—1 所示。

2.2 功率扫描法

测试原理图如方法 204 中图 204—2 所示。

3 测试程序

3.1 手动测试法

3.1.1 按图 201—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.1.2 测试仪器开机并预热充分。确保信号源的激励输出关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.1.3 按相关详细规范的规定设置测试频率，打开信号源功率输出，信号源输出功率从小逐步增加，按方法 201 的步骤 3.1 和 3.2 测出每一步的输入功率和输出功率。

3.1.4 将每步得到的输出—输入功率关系和增益—输入功率关系绘成如图 219—1 所示的曲线。

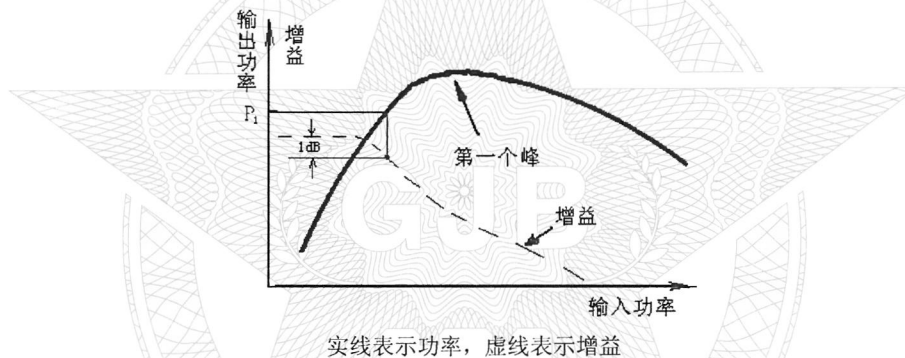


图 219—1 输出—输入特性图

3.1.5 从图 219—1 中读出所需输出—输入特性的关键值，图中的功率峰值即为该管的饱和输出功率。在增益曲线上找到相对小信号增益下降 1dB 点，读出对应的输出功率 P_1 即为增益压缩 1dB 功率。读出对应输出功率峰值的输入功率，再读出按相关详细规范规定的过激励 dB 数的输入功率所对应的输出功率与饱和功率之差即可得到过激励特性。

3.2 功率扫描法

3.2.1 对标量网络分析仪进行功率定标。按图 204—2 连接测试系统，被测管按相关详细规范的规定加上各极电压。

3.2.2 调节信号源输出功率扫描范围，使其在标量网络分析仪上显示的功率扫描范围经换算后得到的被测管的输入功率扫描范围符合相关详细规范的要求。

3.2.3 关闭信号源（功率扫描设置不变），被测管按铭牌值规定加上各极电压。

3.2.4 重新开启信号源，标量网络分析仪上显示如图 219—1 所示的输出功率—输入功率关系和增益—输入功率关系。

3.2.5 同 3.1.5。

4 注意事项

4.1 在不同频率下被测管的输出—输入特性是不完全一样的，因此在相关详细规范中应规定测试的频率点。

4.2 测试中除信号频率和输入功率可以变化外，其他测试条件都不应变化。

4.3 大功率被测管在过量过激励时可能损坏，相关详细规范中应规定最大激励功率或容许的过激励量。并加以监视。

4.4 手动测试时还应注意方法 201 中相关的注意事项。

方法 220B 控制极截止电压

1 目的

测量微波电子管的控制极的截止电压。

2 测试原理

测试原理图如图 220—1 所示。

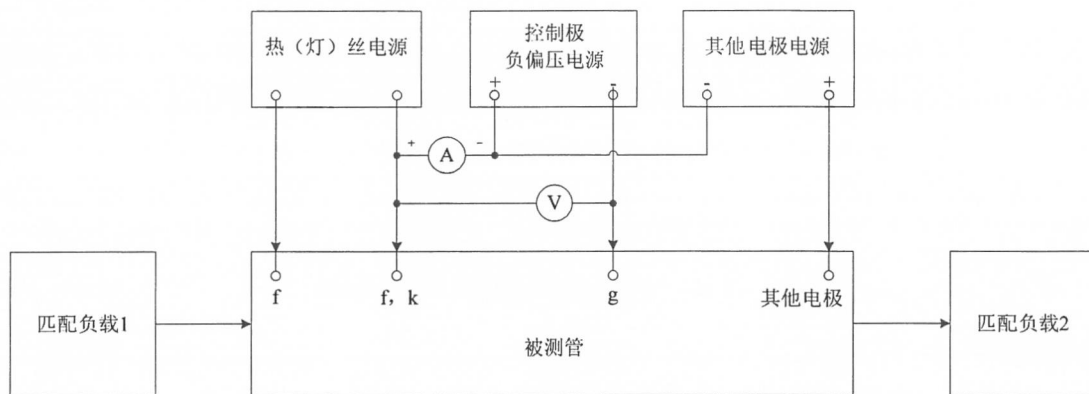


图 220—1 由阴极电流确定控制极的截止电压测试原理框图

3 测试程序

3.1 按图 220—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.2 按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.3 调节负偏压电源电压使被测管的阴极电流达到相关详细规范规定的值，此时负偏压电源所指示的电压即为控制极的截止电压。

4 注意事项

由于控制极发射及阴极控制电极间漏电的存在可能出现阴极电流为负的情况。

方法 221A 相位噪声

1 目的

测量微波电子管的相位噪声。

2 测试原理

2.1 相位噪声测试仪法

测试原理图如图 221—1 所示。图中定向耦合器 2 和功率计 2 非必选项，可用于功率监测以确定被测管是否工作在相关规范规定的条件下。

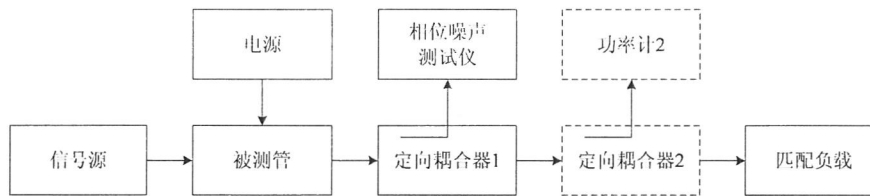


图 221-1 相位分析仪法测试原理框图

2.2 直接频谱法

测试原理图如图 221-2 所示。图中功率计 1 和功率计 2 用于功率监测，以确定被测管是否工作在相关规范规定的条件下。频谱仪应具有相位噪声测试功能。

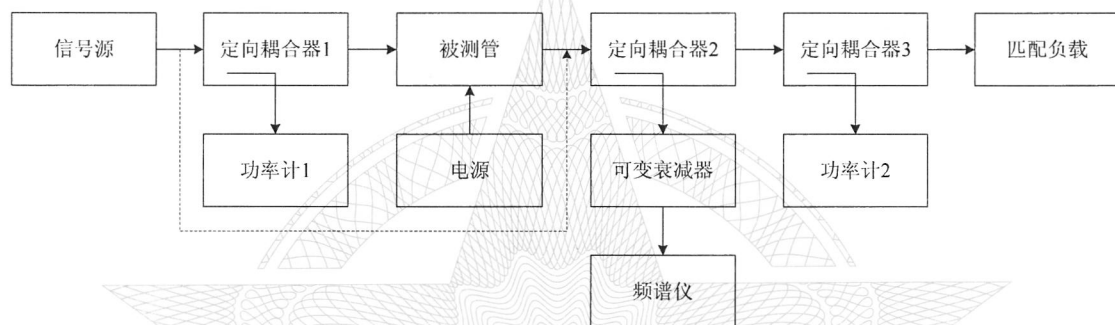


图 221-2 直接频谱法测试原理框图

3 测试程序

3.1 相位噪声测试法

- 3.1.1 按照所用相位噪声测试仪的规定进行校准。
- 3.1.2 按图 221-1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。
- 3.1.3 测试仪器开机并预热充分。确保信号源功率输出关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。
- 3.1.4 按相关详细规范规定设置信号源频率。开启信号源功率输出，调整信号源输出功率使被测管处于测量规范规定的工作状态(例如饱和和工作态)。
- 3.1.5 调整相位噪声分析仪测量频率及合理设置其他参数，从显示器上读出相位噪声与频率的关系。

3.2 直接频谱法

- 3.2.1 按图 221-2 中虚线箭头所示，将信号源直接连接至定向耦合器 2 输入端。将频谱仪扫宽设置为稍大于 2 倍需要值，分辨率设置为 1Hz。
- 3.2.2 将低相噪信号源直接接在定向耦合器上，可变衰减器置于衰减量最小位置。开启信号源功率输出，调节信号源输出和频谱仪的刻度，使频谱仪显示的相位噪声高于频谱仪的本底噪声，同时能看到载波信号。
- 3.2.3 记录各频率偏移量所对应的噪声功率低于载波的分贝数，记作 N_{p1} (单位为 dBc)， N_{p1} 为一负数。将信号源输出调到最小。
- 3.2.4 按图 221-2 接入被测管连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。
- 3.2.5 测试仪器开机并预热充分。确保信号源功率输出关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。
- 3.2.6 开启信号源功率输出，调节信号源输出功率使被测管处于测量规范规定的工作状态(例如饱和和工作态)。调节可变衰减器，使频谱仪显示的相位噪声高于频谱仪的本底噪声，同时能看到载波信号。

3.2.7 记录各频率偏移量所对应的噪声功率低于载波的分贝数,记作 N_{p2} (单位为 dBc), N_{p2} 为一负数。

3.2.8 如果 $N_{p2}-N_{p1} \geq 10\text{dB}$, 则 3.2.7 所测得的值即可认为是其相位噪声。如果 $N_{p2}-N_{p1} < 3\text{dB}$ 说明信号源相位噪声已大于被测管的相位噪声,需要更换信号源。当 $3\text{dB} \leq N_{p2}-N_{p1} < 10\text{dB}$ 时,应按公式(221-3)进行修正:

$$N_p = N_{p1} + 10 \lg \left(10^{\frac{N_{p2}-N_{p1}}{10}} - 1 \right) \dots\dots\dots (221-3)$$

式中:

N_p ——修正后的被测管的相位噪声, dB;

N_{p1} ——频率偏移量所对应的噪声功率低于载波的 dB 数, dBc;

N_{p2} ——频率偏移量所对应的噪声功率低于载波的 dB 数, dBc。

4 注意事项

4.1 相位噪声与电源的纹波和稳定度有强烈的依赖关系,因此在相关详细规范中应明确规定测试电源的指标。

4.2 在电源频率的谐波频率处会出现很高的相位噪声谱线,是电源引起的,不是被测管的问题,应予排除。

4.3 信号源的相位噪声应低于被测管的相位噪声。

4.4 直接频谱法不能分辨相位噪声和调幅噪声,因此不宜用于调幅噪声较大的情况。

4.5 频谱仪分辨率应不大于 1Hz,本底噪声要低于待测相位噪声的最低值 5dB 以上。

方法 222A 功率稳定性和重复性

1 目的

测试微波电子管的功率稳定性和重复性。

2 测试原理

测试原理图如方法 201 中的图 201-1 所示。

3 测试程序

3.1 稳定性

3.1.1 被测管按相关详细规范和铭牌值规定工作。待被测管热平衡后,按照相关详细规范规定的时间点,按方法 201 测量输出功率。

3.1.2 从所有测量功率中找到最大值和最小值,两者的差值定义为被测管的功率稳定性。

3.2 重复性

被测管按相关详细规范和铭牌值规定工作,待被测管热平衡后,按方法 201 测得输出功率 P_1 。断开被测管高压,保持规定时间后恢复到原来的工作条件(包括激励功率等),待被测管热平衡后再次测得输出功率 P_2 。按公式(222-1)计算功率稳定性:

$$S_p = \left(1 - \frac{|P_1 - P_2|}{P_1} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (222-1)$$

式中:

S_p ——功率稳定性, %;

P_1 ——第 1 次测得的输出功率, W;

P_2 ——重新加高压后测得的输出功率, W。

方法 223 杂散

1 目的

测试微波电子管的杂散。

2 测试原理

测试原理图如方法 202 中的图 202—1 所示。

3 测试程序

被测管按相关详细规范和铭牌值规定工作, 将被测管输入频率设置为工作频带内某一频率, 调整信号源的输出功率, 使被测管处于正常工作状态, 按方法 105 测量频谱, 在规定的频率范围内, 除载频及谐波以外的其他信号为杂散信号。用频谱仪读出杂散信号最大幅值与载波幅值的差值即为杂散, 单位为 dBc。

4 注意事项

测试系统中频谱仪的平均噪声电平 (DANL) 指标应大于测试指标要求。

方法 224 饱和功率平坦度

1 目的

测量微波电子管饱和和工作态下的射频脉冲输出功率和射频平均输出功率随频率的变化情况。

2 测试原理

测试原理图如方法 201 中的图 201—1 所示。

3 测试程序

3.1 按图 201—1 连接测试系统。

3.2 按方法 203 测量得到当前激励频率的饱和输出功率, 然后按相关详细规范规定的频率变动激励频率, 依次获得所有激励频率的饱和输出功率。

饱和功率平坦度按照公式 (224—1) 计算:

$$\Delta P = P_{out_{max}} - P_{out_{min}} \dots\dots\dots (224-1)$$

式中:

ΔP ——饱和功率平坦度, dB;

$P_{out_{max}}$ ——饱和输出功率最大值, dBm;

$P_{out_{min}}$ ——饱和输出功率最小值, dBm。

方法 225 非线性相移和调幅—调相转换系数

1 目的

测量微波电子管饱和和工作态下的射频非线性相移变化情况以及调幅—调相(AM-PM)转换系数。

2 测试原理

测试原理图如方法 204 中的图 204—1 所示。

3 测试程序

3.1 矢量网络分析仪设定测量参数为 S_{21} ，扫描方式为功率扫描，显示格式为相位(phase)。按图 225—1 所示的校准面进行直通校准。校准时需要对所有详细规范规定的测量频点进行校准并保存。

3.2 按图 225—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.3 测试仪器开机并充分预热。确保矢量网络分析仪的激励输出关闭，开启电源并按相关详细规范的规定使被测管处于静态。

3.4 依次设置矢量网络分析仪的测量参数为“b2, 1”，扫描方式为“功率扫描(power sweep)”，并设置“功率扫描范围”和“扫描频率”。

3.5 开启并调节行波管电源，使其正常工作。

3.6 打开矢量网络分析仪的信号功率输出，调节矢量网络分析仪的测试参量为 S_{21} ，并改变 S_{21} 的输出方式为“相位(Phase)”，此时所得数据即为设定频率所对应的相移与功率的变化曲线，在行波管输出功率曲线上，曲线最高点对应的输入功率即为行波管的饱和点。

3.7 按以下步骤测试非线性相移：

- a) 首先关闭矢量网络分析仪功率输出，然后加载步骤 3.1 保存的校准文件，接着打开矢量网络分析仪功率输出，最后开启矢量网络分析测量触发等待获取完整的相移—功率曲线；
- b) 以步骤 3.6 得到的饱和输入功率为基准，按照测试规范规定的回退功率(通常为 0、-3dB、-6dB、-9dB、-13dB)，利用矢量网络分析仪的标记功能，读取对应的各测试点的相移；
- c) 按照小信号定义回退功率的(具体由测试规范定义，通常为 -20dB)测试点的相移为基准，计算得到步骤 3.7 定义的各个测量点的相位偏移。

3.8 利用步骤 3.7 b) 得到的标记点，在每一个回退功率的测量点位置选择一个回退 1dB 的比较点，两者相减得到 AM/PM 转换系数。

3.9 关断行波管电源和矢量网络分析仪的电源，并断开行波管和矢量网络分析仪的连接。

4 注意事项

4.1 需要提前预估被测管的饱和输入功率，以保证按 3.4 设置的功率扫描范围能够包含饱和输入功率的同时不至于太过饱和。

4.2 利用步骤 3.6 测量饱和激励功率时，测量系统的校准面位于矢量网络分析仪的激励和测量端口。而 3.7 调用的校准文件的校准面位于被测管的输入和输出端口，所以矢量网络分析仪的激励端口和被测管的输入端口之间的插损未计入。因此，当矢量网络分析仪的激励端口和被测管的输入端口之间的插损足以影响测量准确度时，应将 3.6 得到的饱和激励功率减去插损作为 3.7 的饱和输入功率。

4.3 当需要时，应在被测行波管输出端连接上足够量级的衰减器或耦合器，以确保进入矢量网络分析仪的信号功率在其安全范围内，避免损坏矢量网络分析仪。

方法 226 工作态反射系数

1 目的

测量微波电子管在工作态下输入端和输出端的反射系数。

2 测试原理

工作态输入端反射系数测试原理框图如图 226—1 所示。

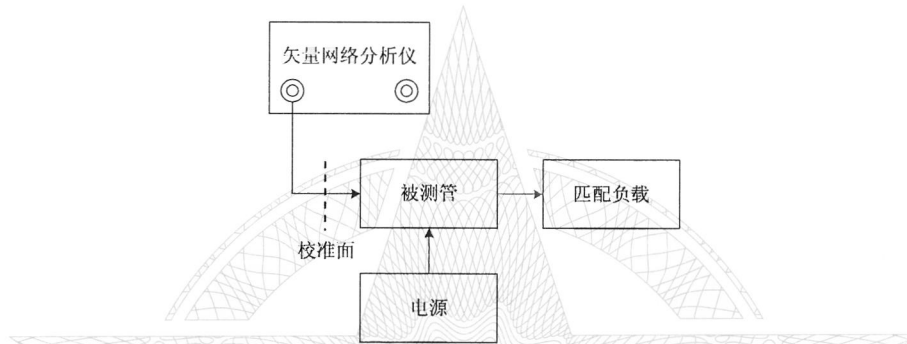
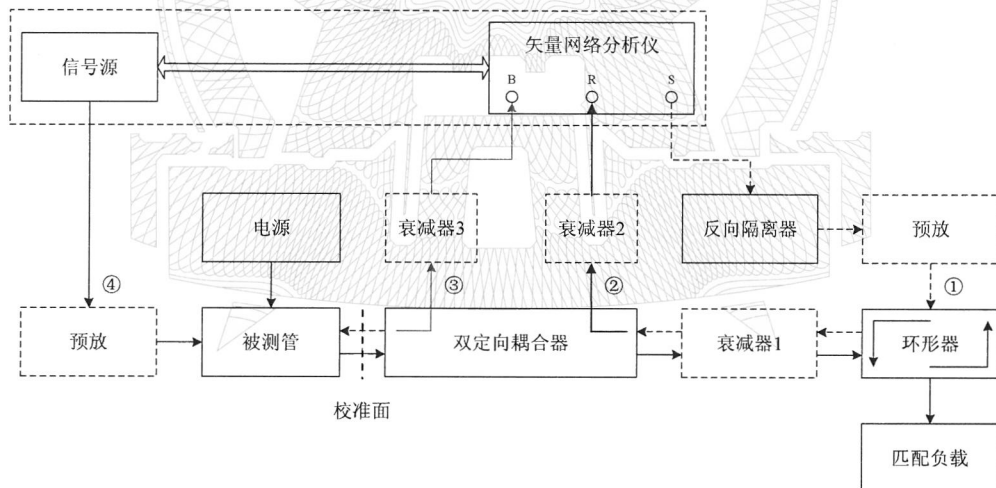


图 226—1 工作态输入端反射系数的测试原理框图

输出端工作态反射系数测试原理框图如图 226—2 所示。对于具有双源的矢量网络分析仪，虚线框中的信号源和矢量网络分析仪可以合二为一。



注：图中①、②、③、④为路信号标识，①为矢量网络分析仪源端的激励信号；②为矢量网络分析仪参考端的参考信号；③为进入矢量网络分析仪测量端口的测量信号；④为保证被测管正常工作的激励信号和经过被测管放大之后的信号。信号①、②的频率相同 f_0 ，与信号④存在一定的频率偏置 Δf ，信号③包含了 f_0 和 $f_0+\Delta f$ 两种信号。矢量网络分析仪的中频带宽 IF 应远小于 Δf ，以达到滤除 $f_0+\Delta f$ 的目的。

图 226—2 工作态输出端反射系数的测试原理框图

3 测试程序

3.1 工作态输入端反射系数测量

3.1.1 矢量网络分析仪设定测量参数为 S_{11} ，显示格式为电压驻波比(VSWR)。按图 226—1 进行单端

口校准并储存。

3.1.2 按图 226—1 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.1.3 矢量网络分析仪开机并预热充分。确保矢量网络分析仪输出功率关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。

3.1.4 载入步骤 3.1.1 保存的校准状态。按相关详细规范的规定设置矢量网络分析仪激励功率(例如 0dBm)，开启矢量网络分析仪输出功率，等待矢量网络分析仪扫描结束。在矢量网络分析仪上直接测出电压驻波比与频率的关系曲线，利用矢量网络分析仪标记功能寻找相关详细规范规定的带宽内的最大驻波比。

3.2 工作态输出端反射系数测量

3.2.1 矢量网络分析仪测参数为 S_{22} ；显示格式为电压驻波比(VSWR)；中频带宽 IF 设置足够小，保证滤除矢量网络分析仪参考信号之外的信号。按图 226—2 所示校准面进行单端口校准并保存。

3.2.2 按图 226—2 连接测试系统。测试设备严格接地，保证测试安全。

3.2.3 信号源和矢量网络分析仪开机并预热充分。按详细规范规定的被测管状态设置信号源的输出功率，信号源的频率由矢量网络分析仪控制，它们之间设置为一定的频率偏置(通常 1MHz)。确保信号源和矢量网络分析仪功率输出关闭，按相关详细规范规定加上各极电压，使被测管工作于静态。开启信号源功率输出，保证被测管工作在测试规范规定的工作状态(通常饱和状态)。

3.2.4 载入步骤 3.2.1 保存的校准状态。按相关详细规范的规定设置矢量网络分析仪激励功率(例如 0dBm)，开启矢量网络分析仪功率输出，等待矢量网络分析仪扫描结束。在矢量网络分析仪上直接测出电压驻波比与频率的关系曲线，利用矢量网络分析仪标记功能寻找相关详细规范规定的带宽内的最大驻波比。

4 注意事项

矢量网络分析仪应具备有跳线功能，源信号、参考信号及测量信号可以由外部输入。

方法 301B 工作特性

1 目的

测量微波电子管在规定的负载条件下，振荡频率、输出功率、效率与磁场、脉冲阳极电压和脉冲阳极电流之间相互关系的特性。

2 测试原理

测试原理图如图 301—1 所示。

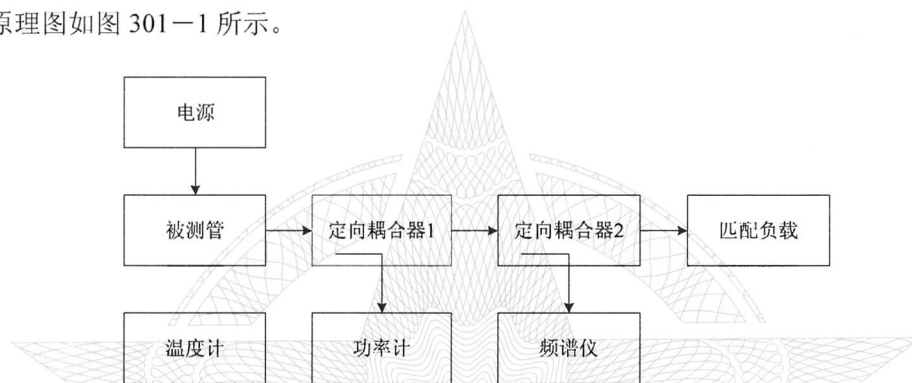


图 301—1 工作特性测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 根据具体条件选定被测管的工作频率范围和定向耦合器的耦合度。
- 3.2 按图 301—1 建立测试系统。改变磁通密度，在各指定磁通密度下测出不同阳极电流下的阳极电压和所对应的振荡频率、输出功率，并计算出各对应点的效率。
- 3.3 绘出等功率线、等频率线、等效率线及等磁场线，即得到工作特性曲线。

4 注意事项

- 4.1 在整个测试过程中，管体温度变化保持在规定范围内。
- 4.2 测试系统应在测试前进行校准。
- 4.3 绘制工作特性曲线时，应对数据点做平滑处理，得到平滑的工作曲线。

方法 302B 负载特性(含频率牵引系数)

1 目的

测量微波电子管在规定的工作条件下，振荡频率、输出功率和效率随负载变化的特性。

2 测试原理

测试原理图如图 302—1 所示。

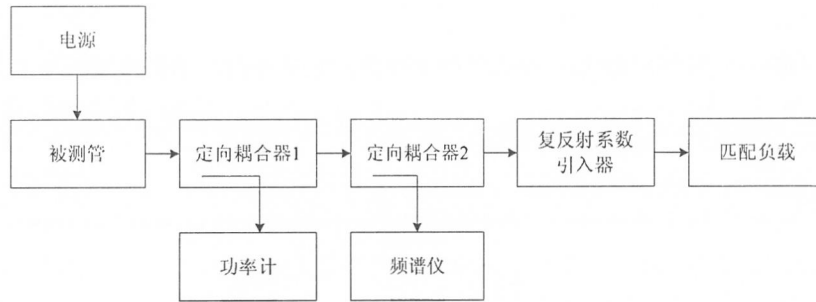


图 302—1 负载特性测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 根据具体条件选定被测管的工作范围和定向耦合器的耦合度。
- 3.2 反复调整复反射系数引入器，利用矢量网络分析仪对与被测管输出端口相对接的端口进行定标。
- 3.3 在各规定电压驻波比下，改变相位，测量不同相位上的功率和频率，并计算各点对应的效率。在阻抗圆图上绘出等功率线和等频率线、等效率线等，即得到负载特性曲线。
- 3.4 将在规定的电压驻波比(按相关详细规范中规定)条件下，改变 360° 相位时，测量出的振荡频率的最大变化量定义为频率牵引系数。

4 注意事项

- 4.1 在整个测试过程中，管体的温度变化保持在规定范围内。
- 4.2 绘制工作特性曲线时，应对数据点做平滑处理，得到平滑的负载特性曲线。

方法 303B 频率推移系数

1 目的

测量微波电子管阳极脉冲电流在规定的范围内变化时，振荡频率变化量与阳极电流变化量的最大比值。

2 测试原理

测试原理图如图 303—1 所示。

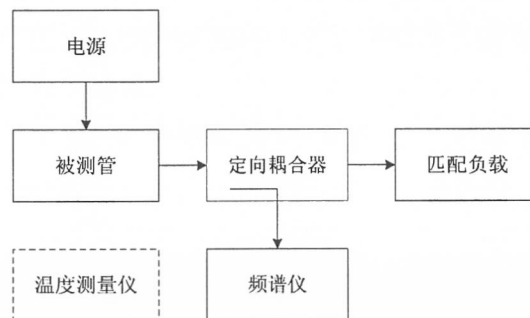


图 303—1 频率推移系数测试原理框图

3 测试程序

3.1 加被测管阳极电流至规定值 I_{a1} ，待达到热平衡后，记录下此时的振荡频率 f_1 ，快速调整被测管阳极电压，使阳极电流至 I_{a2} 、 I_{a3} 、 \dots 、 I_{ai} 、 \dots 、 I_{an} ，并记录下此时对应的振荡频率 f_2 、 f_3 、 \dots 、 f_i 、 \dots 、 f_n ，按公式(303-1)计算各测试点的频率推移系数：

$$\Delta f_i / \Delta I_{ai} = \frac{f_i - f_{i-1}}{I_{ai} - I_{a(i-1)}} \dots\dots\dots (303-1)$$

式中：

$\Delta f_i / \Delta I_{ai}$ ——第 i 次测试的频率推移系数 ($i=2, 3, \dots, n$)，MHz/A；

f_i ——第 i 次测试的振荡频率 ($i=2, 3, \dots, n$)，MHz；

f_{i-1} ——第 $(i-1)$ 次测试的振荡频率 ($i=2, 3, \dots, n$)，MHz；

I_{ai} ——第 i 次测试的阳极电流 ($i=2, 3, \dots, n$)，A；

$I_{a(i-1)}$ ——第 $(i-1)$ 次测试的阳极电流 ($i=2, 3, \dots, n$)，A。

3.2 I_{an} 取被测管的规定工作电流，在 n 的取值上不应过大，同时使磁控管的阳极温度变化不大，且方便读数。

3.3 若无其他规定，则在高、中、低三个频率点上各测一次，取绝对值最大的 $\Delta f_i / \Delta I_{ai}$ 值作为被测管的频率推移系数。

4 注意事项

若需要考虑温度影响，在已知频率温度系数的情况下，在 I_{a1} 稳定后加测一个温度，再将电流变化至在 I_{ai} ，待达到热平衡后，测出 I_{ai} 状态下的频率 f_i 及温度 T_i ，按公式(303-2)计算频率推移系数：

$$\Delta f_i / \Delta I_{ai} = \frac{(f_i - f_{i-1}) - (T_i - T_{i-1}) \times \alpha_f}{I_{ai} - I_{a(i-1)}} \dots\dots\dots (303-2)$$

式中：

$\Delta f_i / \Delta I_{ai}$ ——第 i 次测试的频率推移系数 ($i=2, 3, \dots, n$)，MHz/A；

f_i ——第 i 次测试的振荡频率 ($i=2, 3, \dots, n$)，MHz；

f_{i-1} ——第 $(i-1)$ 次测试的振荡频率 ($i=2, 3, \dots, n$)，MHz；

T_i ——第 i 次测试的温度 ($i=2, 3, \dots, n$)，K；

T_{i-1} ——第 $(i-1)$ 次测试的温度 ($i=2, 3, \dots, n$)，K；

α_f ——频率温度系数，MHz/K；

I_{ai} ——第 i 次测试的阳极电流 ($i=2, 3, \dots, n$)，A；

$I_{a(i-1)}$ ——第 $(i-1)$ 次测试的阳极电流 ($i=2, 3, \dots, n$)，A。

方法 305B 漏脉冲

1 目的

测量微波电子管在规定工作条件下，在规定的时间内，漏脉冲数与调制脉冲总数的百分比。

2 测试原理

测试原理图如图 305-1 所示。利用示波器波形实时采样异常脉冲。通过比较其波形与详细规范规定正常波形之差值，判定异常脉冲是否为漏脉冲，以获得漏脉冲数。

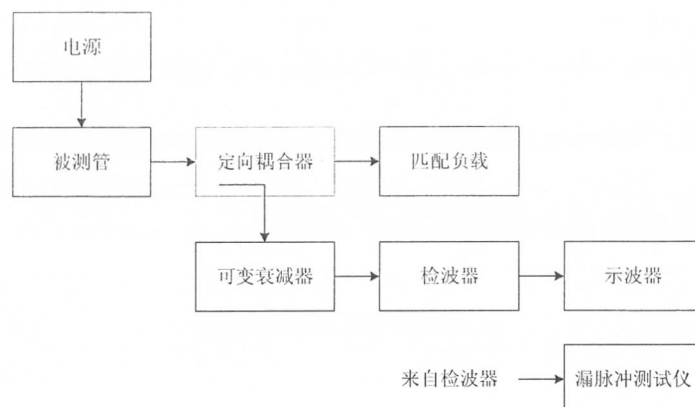


图 305—1 漏脉冲测试原理框图

3 测试程序

3.1 测试设备要求

3.1.1 负载的驻波比在被测管频带内应符合相关详细规范规定。

3.1.2 可变衰减器衰减量的调节范围应能保证检波器的检波二极管在被测管的全频带范围内均可工作在线性检波区。

3.1.3 示波器和漏脉冲测试仪的采样率应高于被测频率一个数量级，以保证能采集完整的波形和测试的准确性。

3.2 测试准备

按图 305—1 建立测试系统。

3.3 漏脉冲的测试程序

3.3.1 使被测管在相关详细规范规定的测试条件下稳定工作，调整可变衰减器，保证检波二极管工作在线性检波区。

3.3.2 将示波器设置好后开始测试。除非另有规定，常规测试条件下的漏脉冲测试时间为 3min。

3.3.3 利用示波器观察在规定时间内波形，并与规定正常脉冲波形进行比较，将异常波形中低于规定正常脉冲 70% 的脉冲定为漏脉冲波形，漏脉冲波形的总数即为在规定时间内漏脉冲数。

3.3.4 计算漏脉冲数对脉冲总数的百分比得到漏脉冲率。

3.4 在测试条件下漏脉冲的测试

使被测管在相关详细规范规定的测试条件下工作。按 3.3 的测试程序测试并计算出被测管在该测试条件下的漏脉冲率。

3.5 阳极电流拉偏漏脉冲的测试

阳极电流拉偏值为典型值的 $\pm 10\%$ ，且不应超过被测管的绝对额定值，使被测管在两个极限电流各工作 1.5min。按 3.3 的测试程序测试并计算出被测管在该测试条件下的漏脉冲率。

3.6 热(灯)丝电压(流)拉偏漏脉冲的测试

热(灯)丝电压拉偏值为热(灯)丝工作电压的 $\pm 5\%$ ，电流拉偏值为热(灯)丝工作电流的 $\pm 3\%$ ，且均不应超过被测管的绝对额定值，使被测管在两个极限值各工作 1.5min。按 3.3 的测试程序测试并计算出被测管在该测试条件下的漏脉冲率。

4 注意事项

4.1 如果对被测管的工作频率点无特殊规定，则在中心频率下测试。

4.2 注意示波器与检波器的匹配，各接插线应牢固，并注意屏蔽，防止检波包络受到干扰出现波动导

致大量的异常波形检波输出。

- 4.3 应严格遵守相关详细规范中规定的被测管阳极温度和热丝电流或电压的要求。
- 4.4 根据实际使用需要，可选取 3.4、3.5、3.6 中的某一项或几项进行测试。
- 4.5 对过窄脉冲、高过冲脉冲等特殊脉冲，检波器、示波器和传输电缆要有足够的带宽，并适当调节参考波形模板的取值，使得既能采集到全部漏脉冲，又能满足示波器的存取速度限制要求。
- 4.6 本测试方法对频率处于捷变状态的微波电子管不适用。

方法 307B 功率波动

1 目的

测量频率机械可调的微波电子管带宽内最大输出功率与最小输出功率的比值。

2 测试原理

测试原理图如图 307-1 所示。

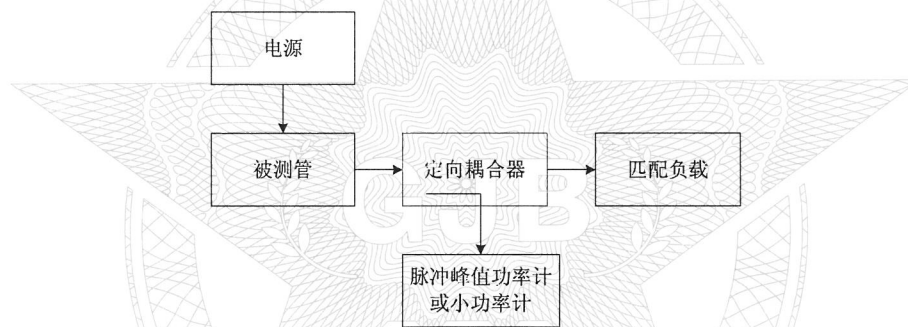


图 307-1 功率波动测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 按图 307-1 建立测试系统。
- 3.2 转动被测管的调谐机构，使得频率达到规定的频率范围，测出每个频率点的峰值功率，并筛选出其中的最大值 $P_{\text{out}_{\text{max}}}$ 和最小值 $P_{\text{out}_{\text{min}}}$ 。
- 3.3 按公式 (307-1) 或公式 (307-2) 计算功率波动：

$$\Delta P_{\text{out}} = 10 \lg \frac{P_{\text{out}_{\text{max}}}}{P_{\text{out}_{\text{min}}}} \dots\dots\dots (307-1)$$

式中：

- ΔP_{out} —— 功率波动，dB；
- $P_{\text{out}_{\text{max}}}$ —— 最大输出功率，W；
- $P_{\text{out}_{\text{min}}}$ —— 最小输出功率，W。

$$\Delta P_{\text{out}} = P_{\text{out}_{\text{max}}} - P_{\text{out}_{\text{min}}} \dots\dots\dots (307-2)$$

式中：

- ΔP_{out} —— 功率波动，dB；
- $P_{\text{out}_{\text{max}}}$ —— 最大输出功率，dBm；
- $P_{\text{out}_{\text{min}}}$ —— 最小输出功率，dBm。

4 注意事项

- 4.1 测试前捷变频管应在捷变状态下确定阳极电流，非捷变频管在中心频率点下确定阳极电流。测试过程中采用手动调频方式，并且不再调整阳极电压和电流。
- 4.2 功率波动(落差)的测试过程中，调谐速度不宜太快，以满足功率计的响应时间，在功率计读数出现转折时，应在该频率点附近微调频率，找出功率的极值。
- 4.3 $P_{\text{out,max}}$ 和 $P_{\text{out,min}}$ 为经过频率校正后核算出的实际功率值，其单位应保持一致。

方法 308B 带宽、捷变速率和实际中心频率

1 目的

- 1.1 测量微波电子管(主要针对捷变频磁控管)在规定条件下捷变工作时的最高频率和最低频率之差，称之为捷变带宽。
- 1.2 测量微波电子管(主要针对捷变频磁控管)捷变工作时频率的变化速率。
- 1.3 测量微波电子管的频带宽度和实际中心频率。

2 测试原理

测试原理图如图 308—1 所示。

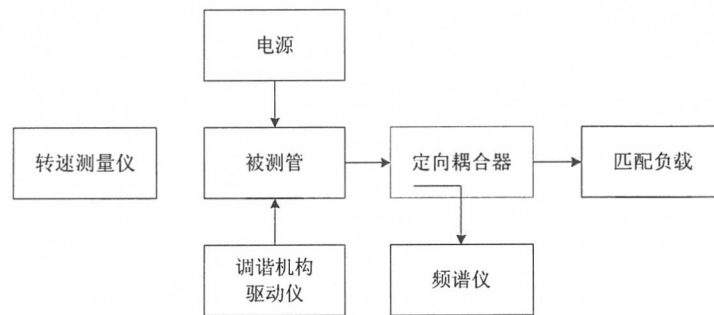


图 308—1 带宽、捷变速率和实际中心频率测试原理框图

3 测试程序

3.1 测试准备

按图 308—1 建立测试系统。

3.2 捷变带宽的测试

3.2.1 设定好频谱仪的分辨率带宽(RBW)、扫频带宽(span)和幅度，扫频带宽一般取被测管最大带宽的 1.2 倍~2 倍，幅度一般取被测管频谱最大幅度的 1.2 倍~1.5 倍。

3.2.2 被测管在规定工作条件下，启动调谐机构，经过规定时间的捷变工作，待被测管稳定工作并达到热平衡后，使用频谱仪的锁定功能(hold max)，将捷变产生的谱线全部锁定。经过规定时间后(不低于 5min)，测出最高频 f_{max} 和最低频 f_{min} 两根谱线的频率之差即为捷变带宽(若为对数显示，则测试边缘最高点下不小于 3dB 的频率差；若为线性显示，则测试边缘幅度不小于 70.7% 的频率差)。

3.3 捷变速率的测试

被测管按相关详细规范规定的试验条件，捷变工作稳定后，用转速测量仪器测量被测管外旋转部件(正常情况下，被测管外旋转部件的转速等于被测管内调谐机构的转速)的转速，捷变速率按公式(308—1)计算：

$$U_1 = \frac{2N \cdot \Delta f \cdot n}{60 \times 10^6} \dots\dots\dots (308-1)$$

式中:

U_1 ——捷变速率, MHz/ μ s;

N ——调谐机构转速, r/min;

Δf ——捷变带宽, MHz;

n ——被测管调谐机构每转一圈, 频率在带宽内变化的周期数。

3.4 频带宽度的测试

对非捷变频管或捷变频管手动测试时, 则转动调谐机构, 确保调谐机构达到最大行程或经过所有的调谐周期(视被测管类型而定), 找出最高频率 f_{\max} 和最低频率 f_{\min} 。

3.5 中心频率的测试

按公式(308-2)计算中心频率:

$$f_0 = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2} \dots\dots\dots (308-2)$$

式中:

f_0 ——中心频率, MHz;

f_{\max} ——最高频率, MHz;

f_{\min} ——最低频率, MHz。

4 注意事项

4.1 测试应在被测管稳定后进行。

4.2 转速测量仪根据工作条件选取适当的量程。

方法 310B 脉冲前沿抖动时间

1 目的

测量微波电子管输出射频脉冲包络前沿随时间的变化。

2 测试原理

测试原理图如图 310-1 所示。

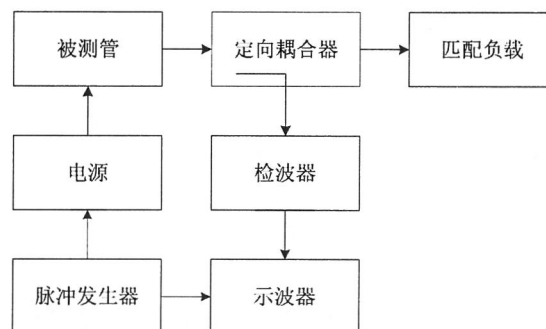


图 310-1 脉冲前沿时间抖动测试原理框图

3 测试程序

3.1 按图 310—1 建立测试系统，被测管按相关详细规范规定条件工作稳定后进行测试。示波器应采用被测管工作脉冲电压的上升沿作为触发，触发点为脉冲电压上升沿的 50% 处。

3.2 射频脉冲包络的前沿 50% 处的时间变化定义为脉冲前沿抖动时间。读取 Δt 的方法见图 310—2，允许脉冲数的 1% 的边沿脉冲不计入 Δt 内，此 Δt 即为脉冲前沿抖动时间的最大值，脉冲前沿抖动时间的均方根值按 $\Delta t/5$ 进行计算。

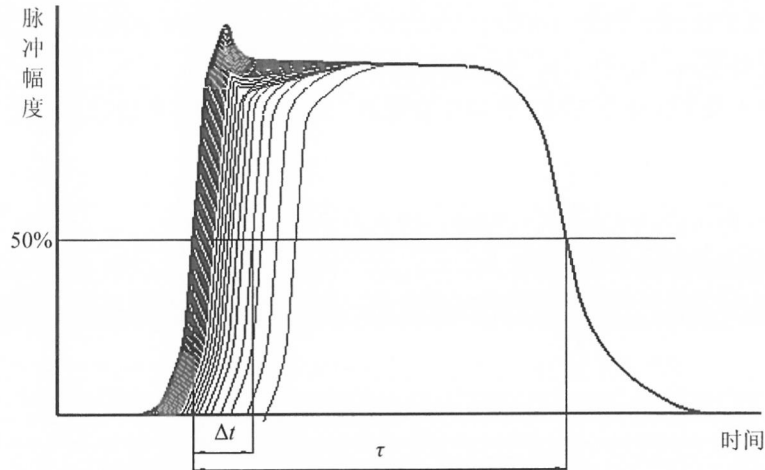


图 310—2 脉冲前沿抖动最大变化量的可视包络线

4 注意事项

- 4.1 示波器的带宽应保证其上升时间远小于检波包络的上升时间。
- 4.2 注意示波器与检波器的匹配，各接插线应牢固，并注意屏蔽，防止检波包络受到干扰。
- 4.3 测试过程中检波器或示波器不应饱和，在示波器上应能观察到检波包络顶部的变化。
- 4.4 若无特殊规定，则应在被测管稳定工作后测试 3min。

方法 311A 稳定工作建立时间

1 目的

测量微波电子管从加上全高压到稳定工作所需要的时间。

2 测试原理

测试原理图如图 311—1 所示。

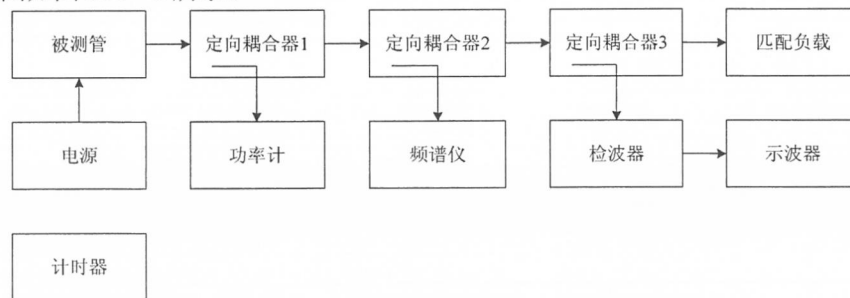


图 311—1 稳定工作建立时间测试原理框图

3 测试方法

3.1 按图 311—1 建立测试系统。预调电压至被测管规定的工作状态，测试仪器处于开机等待状态。

3.2 按以下规定进行测试：

- a) $t=0$ ，加全高压；
- b) $t=t_n$ ，测量频率、微波包络幅度(或功率)、阳极电流值，并观察频谱；
- c) $t=t_{n+1}$ ，测量频率、微波包络幅度(或功率)、阳极电流值，并观察频谱。

当 t_{n+1} 与 t_n 所测的频率，微波包络幅度(或功率)、阳极电流的值之间差异低于规定值，且频谱主副瓣比达到要求且无畸变时， t_n 的时间即为建立稳定工作时间。

如果被测管处于捷变工作状态时，使用阳极电流、微波包络的差异进行判断工作是否稳定。

4 注意事项

- 4.1 如果对被测管的工作频率点无特殊规定，则只在中心频率下测试。
- 4.2 被测管工作前应保证管体处于冷状态。
- 4.3 注意示波器与检波器的匹配，各接插线应牢固，并注意屏蔽，防止检波包络受到干扰。

方法 312 频率温度系数

1 目的

测试微波电子管管体温度在规定的范围内变化时，振荡频率随之变化的程度。

2 测试原理

测试原理图如图 312—1 所示。

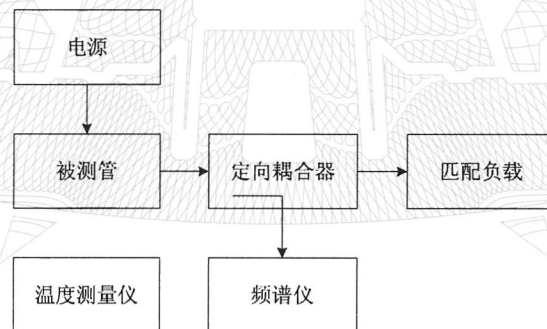


图 312—1 频率温度系数的测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 按图 312—1 建立测试系统。
- 3.2 被测管按规定条件工作，达到热平衡后，测出振荡频率 f_1 及管体规定点上的温度 T_1 。
- 3.3 将管体规定点上的温度变化至规定值 T_2 ，达到热平衡后，再测出振荡频率 f_2 。
- 3.4 按公式 (312—1) 计算频率温度系数：

$$\alpha_f = \frac{f_2 - f_1}{T_2 - T_1} \dots\dots\dots (312-1)$$

式中:

α_f ——频率温度系数, MHz/K;

T_1 、 T_2 ——管体规定点上所测的不同温度, K;

f_1 、 f_2 ——管体规定点上温度为 T_1 、 T_2 时对应的振荡频率, MHz。

3.5 重复测试三次, 求其平均值。

4 注意事项

4.1 改变管体温度的方法可以从下述方法中选择一种或是几种方法的适当组合:

- a) 改变环境温度;
- b) 改变冷却剂的流速;
- c) 改变注入冷却剂的温度。

4.2 在不同温度测试时, 不应调整电源。

4.3 测试过程中, 被测管管体规定点上的温度不应超过相关详细规范中额定值的规定。

4.4 为了提高测试精度, 重复测试时, T_1 、 T_2 可在规定值的范围内任意变化, 且 T_1 、 T_2 之间的温差应尽可能大。

4.5 频率温度系数可以为负值, 不应取绝对值。

方法 402B 引燃极引燃电流

1 目的

测量把额定引燃电压经过总串联电阻加到引燃极上所产生的放电电流。

2 测试原理

测试原理如图 402—1 所示。

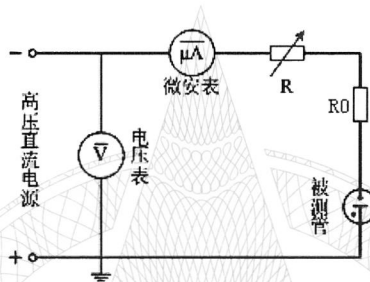


图 402—1 引燃极引燃电流的测试电路图

3 测试程序

3.1 校准限流电阻 $R_{\text{限}}$ ：按图 402—1 测试电路连接，将被测管短路，将高压直流电源的电压升至详细规范的规定值 U ，调整 R ，使回路中的电流值 I 满足 $I = U/R_{\text{限}}$ ($R_{\text{限}}$ 为相关详细规范的限流电阻值)。

3.2 按图 402—1 测试电路连接，将被测管接入系统中，将高压直流电源的电压调到相关详细规范规定值，微安表的读数即为被测管引燃极的引燃电流。

4 注意事项

4.1 具有两个或两个以上引燃极的开关管，应分别进行测试。

4.2 本方法也适用于监测极检测电流的测试。

方法 406B 低电平电压驻波比和总插入损耗

1 目的

测量在低电平状态下，开关管接入信号源和匹配负载之间，开关管输入端的电压驻波比及开关管所引入的功率损耗。

2 测试原理

2.1 标量网络分析仪法

2.1.1 TR 管

测试原理图如方法 108 中图 108—1 所示。

2.1.2 双 TR 管

测试双 TR 管时，方法 108 中图 108—1 中的被测管由图 406—1 替代。

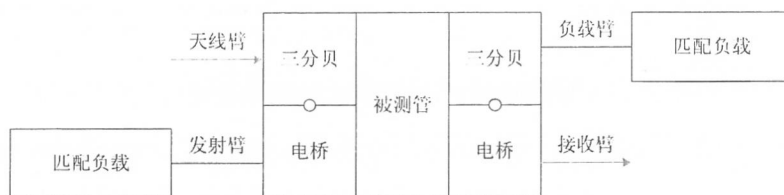


图 406-1 双 TR 管替代被测管示意图

2.2 矢量网络分析法

2.2.1 TR 管

测试原理图如方法 108 中图 108-2 所示。

2.2.2 双 TR 管

测试双 TR 管时，方法 108 中图 108-2 中的被测管由图 406-1 替代。

2.2.3 ATR 管

测试原理图如图 406-2 所示。

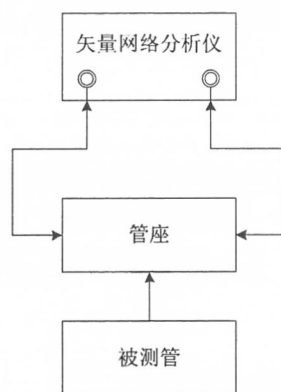


图 406-2 ATR 管矢量网络分析仪法测量原理框图

3 测试程序

3.1 标量网络分析法

3.1.1 按图 108-1 建立测试系统。

3.1.2 将扫频源工作频率设置在相关详细规范规定的频率范围内，在标量网络分析仪上设置一通道 A/R 显示电压驻波比，设置另一通道 B/R 显示总插入损耗，将标量网络分析仪分别进行短路或直通校准。

3.1.3 接入被测管，从网络分析仪上的两通道上直接读出开关管的电压驻波比和(或)总插入损耗。

3.2 矢量网络分析法

3.2.1 按图 108-2 或图 406-2 建立测试系统。

3.2.2 将矢量网络分析仪系统工作频率设置在相关详细规范规定的频率范围内。

3.2.3 一条轨迹设置 S_{11} 测试，选择 SWR 显示；另一条轨迹设置 S_{21} 测试，并选择 log 显示。

3.2.4 对矢量网络分析仪进行全双端口校准或 TRL 校准。

3.2.5 接入被测管(图 108-2)或被测管和管座(图 406-2)，即可从网络分析仪上直接读出开关管的电压驻波比和(或)总插入损耗。

4 注意事项

4.1 校准后系统的电压驻波比应不大于 1.05，总插入损耗应不大于 0.02dB。

4.2 测量带限幅器的开关管，输入信号应小于 PIN 管的限幅电平阈值。

方法 408B 相位移和相对相位移

1 目的

测量开关管输入参考面至输出参考面之间的相位移。

2 测试原理

测试原理图如图 108—2 所示。

3 测试程序

3.1 相位移

3.1.1 按图 108—2 建立测试系统。

3.1.2 将矢量网络分析仪系统工作频率设置在相关详细规范规定的频率范围内。

3.1.3 对矢量网络分析仪进行全双端口校准或 TRL 校准。

3.1.4 设置 S_{21} 测试，选择相位显示，接入被测管，所显示值为相位移值 Φ (单位为 $^{\circ}$)。

3.2 相对相位移

3.2.1 按图 108—2 建立测试系统。

3.2.2 将矢量网络分析仪系统工作频率设置在相关详细规范规定的频率范围内。

3.2.3 对矢量网络分析仪进行全双端口校准或 TRL 校准。直通校准时，接入对应的校准件或参考管。

3.2.4 设置 S_{21} 测试，选择相位显示，接入被测管，所显示值为相对相位移值 Φ (单位为 $^{\circ}$)。

4 注意事项

4.1 测双管时去掉三分贝电桥，用两个分支波导对接校准，分别进行单边测试。

4.2 测量带限幅器的开关管，输入信号电平应小于 PIN 管的限幅电平阈值。

方法 412B 最小着火功率

1 目的

在高功率射频脉冲发生器稳定工作状态下，测量引起开关管着火(开始放电)的最小入射射频脉冲功率值。

2 测试原理

测试原理图如图 412—1 所示。

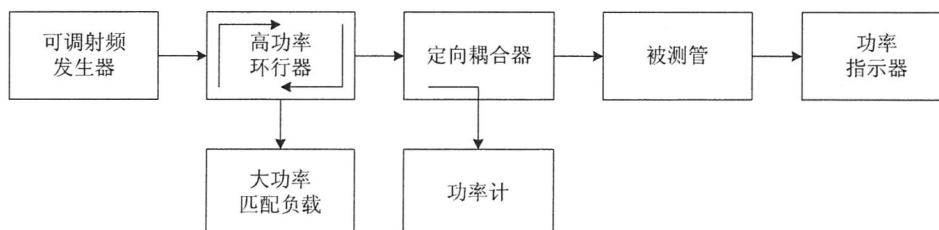


图 412—1 最小着火功率测试原理框图

3 测试程序

3.1 按图 412—1 建立测试系统。

3.2 按相关详细规范的规定将高功率射频脉冲发生器调整于正常工作状态。从零或较小开始逐渐增加射频入射功率，直到功率指示器的指示突然下降瞬时为止。

3.3 读取功率计的平均功率值 \bar{P} ，开关管的最小着火功率按公式(412—1)计算：

$$P_Z = \frac{\bar{P}}{\tau \cdot f_{cp}} (10^{\frac{A}{10}} - 1) \dots\dots\dots (412-1)$$

读取功率计的脉冲功率值 P'_Z ，开关管的最小着火功率按公式(412—2)计算：

$$P_Z = P'_Z (10^{\frac{A}{10}} - 1) \dots\dots\dots (412-2)$$

式中：

P_Z ——最小着火功率，W；

P'_Z ——功率计测出的脉冲功率值，W；

\bar{P} ——功率计测出的平均功率值，W；

τ ——高功率射频脉冲发生器的脉冲宽度，s；

f_{cp} ——高功率射频脉冲发生器的脉冲重复频率，Hz；

A ——定向耦合器的耦合度，dB。

4 注意事项

具有引燃极的开关管应按相关详细规范的规定使引燃极正常工作。

方法 413B 最大漏过功率

1 目的

在高功率射频脉冲发生器稳定工作状态下，测量开关管随入射功率从低于着火功率增长到出现漏过功率最大值时的漏过脉冲功率。

2 测试原理

测试原理如图 413—1 所示。

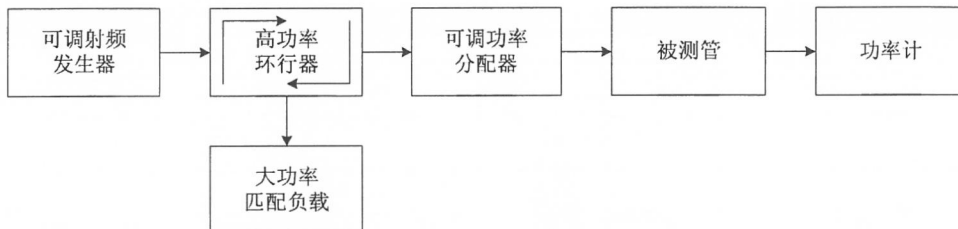


图 413—1 最大漏过功率测试原理框图

测试双 TR 管时，被测管由图 413—2 替代。

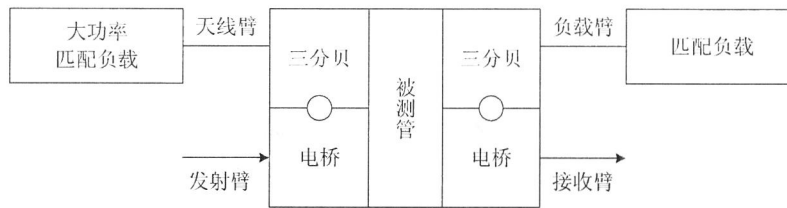


图 413-2 双 TR 管替代被测管示意图

3 测试程序

- 3.1 按图 413-1 建立测试系统。
- 3.2 按相关详细规范的规定将高功率射频脉冲发生器调整到正常工作状态。
- 3.3 调节可调功率分配器，使入射到开关管的射频脉冲功率从低于开关管未着火的功率逐渐增大，直到功率计出现最大值时止，读取功率计的最大值。
- 3.4 测量值为平均功率时，开关管最大漏过功率按公式(413-1)计算；测量值为脉冲功率时，开关管最大漏过功率按公式(413-2)计算：

$$P_{\max} = \frac{\bar{P}_{\max}}{\tau \cdot f_{cp}} \dots\dots\dots (413-1)$$

$$P_{\max} = P'_{\max} \dots\dots\dots (413-2)$$

式中：

- P_{\max} ——最大漏过功率，W；
- \bar{P}_{\max} ——功率计测出的最大平均功率值，W；
- P'_{\max} ——功率计测出的最大脉冲功率值，W；
- τ ——高功率射频脉冲发生器的脉冲宽度，s；
- f_{cp} ——高功率射频脉冲发生器的脉冲重复频率，Hz。

4 注意事项

具有引燃极的开关管应按相关详细规范的规定使引燃极正常工作。

方法 414A 波尖漏过能量

1 目的

在稳定的额定高功率射频脉冲状态下，测量开关管漏过的波尖能量。

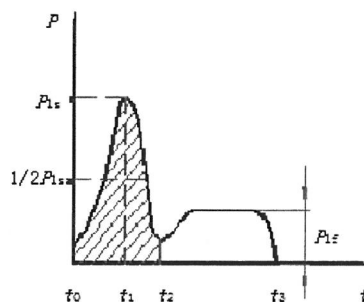


图 414-1 漏过功率脉冲波形示意图

图 414-1 中, $t_0 \sim t_1$ 时间期间为开关管微波放电从未着火到着火期, 漏过功率脉冲形成一个波尖, 最大峰值为尖峰漏过功率 P_{fs} 。在 t_1 时刻放电达到电子雪崩, 漏过功率将下降到极低值 (t_2 时刻), 在 $t_0 \sim t_2$ 期间漏过的能量 (阴影部分) 称为波尖漏过能量。

2 测试原理

2.1 变脉宽法

2.1.1 高功率环行器法

测试原理图如图 414-2 所示。

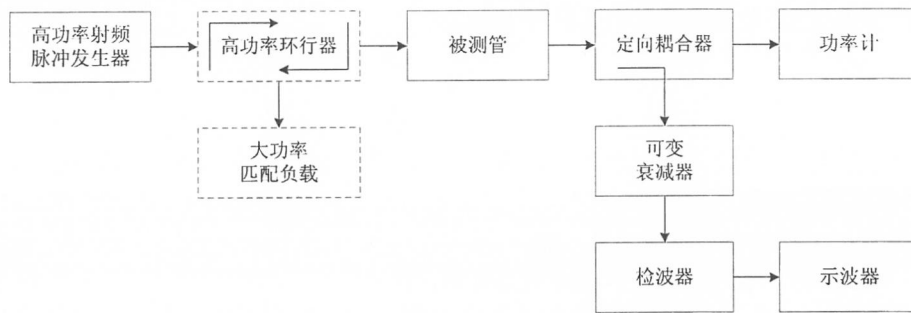


图 414-2 高功率环行器法测试原理框图

测试双 TR 管时, 被测管由图 413-2 替代, 此时高功率环行器电路取消。定向耦合器可用波导开关替代。

2.1.2 T 型接头法 (TR 管)

测试原理图如图 414-3 所示。

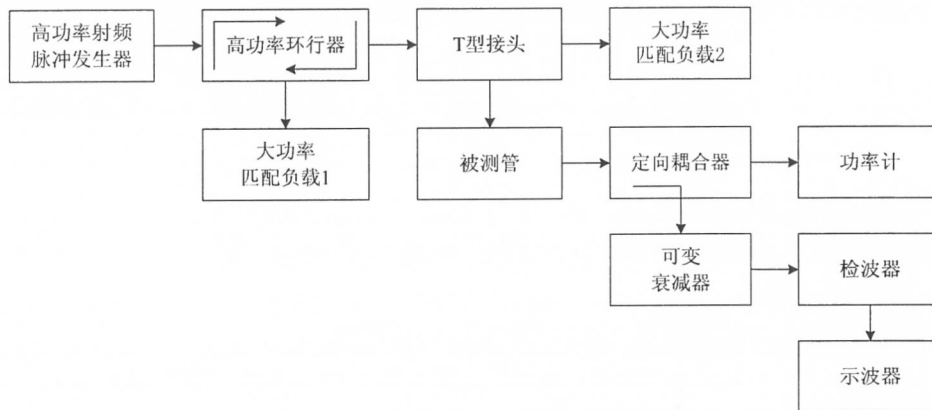


图 414-3 T 型接头法测试原理框图

定向耦合器可用波导开关替代。

2.2 峰值功率分析法

测试原理图如图 414-4 所示。

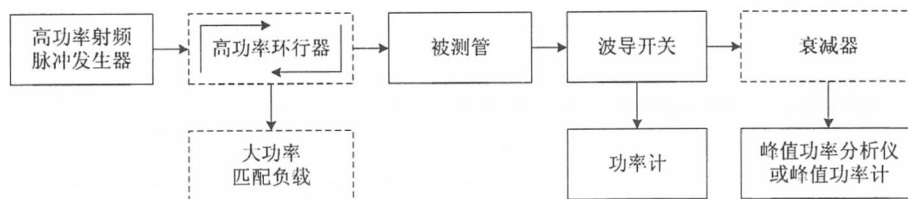


图 414-4 峰值功率分析法测试原理框图

测试双 TR 管时, 被测管由图 413—2 替代, 此时高功率环行器电路取消。

3 测试程序

3.1 变脉宽法

3.1.1 按图 414—2 或图 414—3 建立测试系统。

3.1.2 调整可变衰减器, 使检波器工作在线性区域, 在示波器上显示出漏过功率脉冲波形, 并使脉冲重复频率和输出脉冲功率达到相关详细规范的规定, 调整高功率射频脉冲发生器的脉冲宽度使其等于开关管漏过脉冲波尖宽度(一般约为 $0.05\mu\text{s}\sim 0.25\mu\text{s}$), 读取功率计平均漏过功率值。

3.1.3 按公式(414—1)计算开关管的波尖漏过能量:

$$W_s = \frac{\bar{P}_l}{f_{cp}} \dots\dots\dots (414-1)$$

式中:

W_s ——波尖漏过能量, J;

\bar{P}_l ——功率计测得的平均漏过功率, W;

f_{cp} ——高功率射频脉冲发生器的脉冲重复频率, Hz。

3.2 峰值功率分析法

3.2.1 按图 414—4 建立测试系统, 波导开关转接于功率计。

3.2.2 按照相关详细规范的规定将高功率射频脉冲发生器调整好。

3.2.3 用功率计测量漏过开关管的平均功率值, 若不超过峰值功率计或峰值功率分析仪的测量额定范围方可将波导开关转接到峰值功率计或峰值功率分析仪; 当超过峰值功率计或峰值功率分析仪的测量额定范围时, 使用衰减器降低功率计输入功率电平, 记录衰减器衰减量。

3.2.4 测量波尖漏过功率的峰值 P_{ls} 以及 $P_{ls}/2$ 处时间间隔 t , 按公式(414—2)近似计算开关管波尖漏过能量:

$$W_s \approx P_{ls} \cdot 10^{\frac{A}{10}} \cdot t \dots\dots\dots (414-2)$$

式中:

W_s ——波尖漏过能量, J;

P_{ls} ——峰值功率计或峰值功率分析仪测得的尖峰漏过功率峰值, W;

A ——衰减器的衰减量, dB;

t ——漏过功率的脉冲波形在 $P_{ls}/2$ 处(时基线上)时间间隔, s。

3.2.5 当波尖漏过波形近似于三角形时, 则测量三角形底端(时基线上)时间间隔 t , 开关管波尖漏过能量按公式(414—3)近似计算:

$$W_s \approx \frac{1}{2} P_{ls} \cdot t \cdot 10^{\frac{A}{10}} \dots\dots\dots (414-3)$$

式中:

W_s ——波尖漏过能量, J;

P_{ls} ——峰值功率计或峰值功率分析仪测得的尖峰漏过功率峰值, W;

A ——衰减器的衰减量, dB;

t ——波尖漏过功率脉冲波形底端(时基线上)时间间隔, s。

4 注意事项

4.1 具有引燃极的开关管应按相关详细规范的规定使引燃极正常工作。

4.2 图 414—4 中当波尖漏过峰值远小于峰值功率计或峰值功率分析仪测量额定值时，可以去除衰减器，计算公式中 $A=0$ 。

方法 415A 总漏过功率

1 目的

测量高功率射频脉冲入射到开关管时，通过它输出的等效矩形脉冲功率值。

2 测试原理

2.1 高功率环行器法

测试原理图如图 414—2 所示。

测试双 TR 管时，被测管由图 413—2 替代，此时高功率环行器电路取消。

定向耦合器可用波导开关替代。

2.2 T 型接头法 (TR 管)

测试原理图如图 414—3 所示。

定向耦合器可用波导开关替代。

3 测试程序

3.1 按图 414—2 或图 414—3 建立测试系统。

3.2 按相关详细规范的规定将高功率射频脉冲发生器调整好。

3.3 调整可变衰减器，使检波器工作在线性区域，从示波器上测量出漏过功率脉冲波形在时基线上的脉冲宽度 τ 。

3.4 测量漏过功率的平均值。

3.5 开关管的总漏过功率按公式(415—1)计算：

$$\Sigma P_l = \frac{\bar{P}_l}{\tau \cdot f_{cp}} \dots\dots\dots (415-1)$$

式中：

ΣP_l ——总漏过功率，W；

\bar{P}_l ——功率计测得的平均漏过功率，W；

τ ——漏过功率脉冲波形在时基线上的脉冲宽度，s；

f_{cp} ——高功率射频脉冲发生器的脉冲重复频率，Hz。

4 注意事项

具有引燃极的开关管应按相关详细规范的规定使引燃极正常工作。

方法 416B 电弧损耗

1 目的

在高功率射频脉冲状态下，测量开关管电离所形成的等效短路面代替标准短路面时，传输电路中产生的传输功率的损耗值。

2 测试原理

2.1 ATR 管

测试原理图如图 416—1 所示。

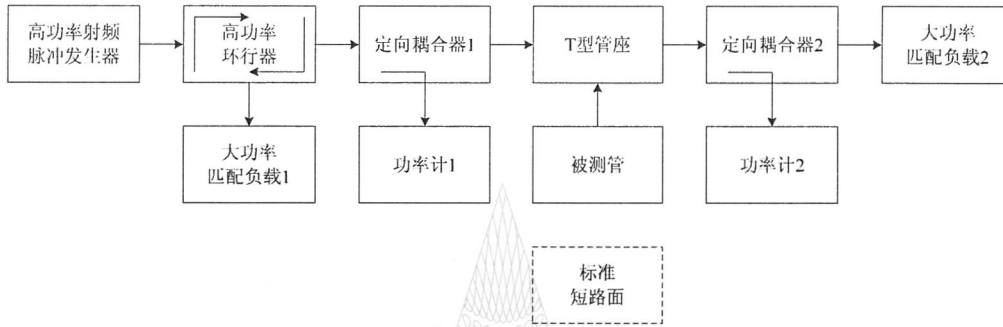


图 416—1 ATR 管电弧损耗测试原理框图

2.2 双 TR 管

测试原理如图 416—2 所示。

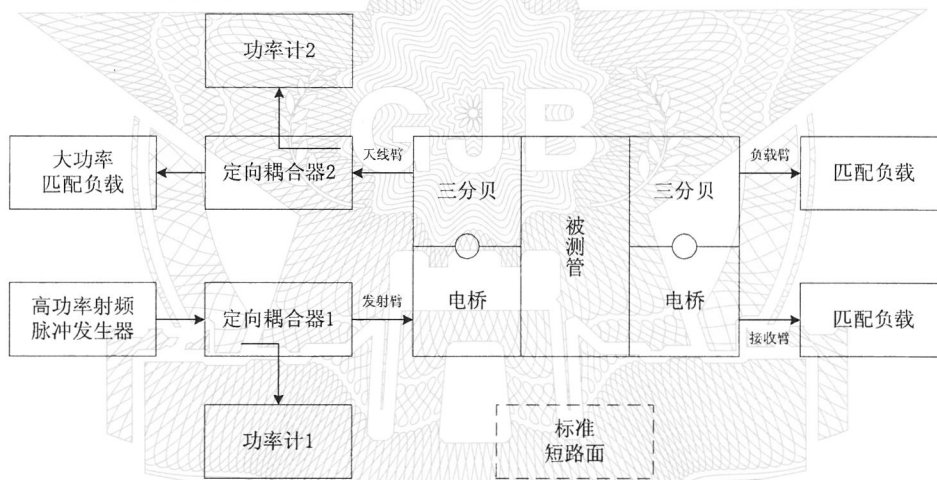


图 416—2 双 TR 管电弧损耗测试原理框图

3 测试程序

- 3.1 按图 416—1 或图 416—2 建立测试系统。
- 3.2 将标准短路面接入门座内(图 416—1)，或接入左侧三分贝耦合器(前桥)输出端(图 416—2)。
- 3.3 按相关详细规范的规定将高功率射频脉冲发生器调整好。
- 3.4 读取功率计 1 和 2 的平均功率值。
- 3.5 用被测管代替短路面，按相关详细规范的规定将高功率射频脉冲发生器调整好。
- 3.6 读取功率计 1 和 2 的平均功率值。
- 3.7 开关管的电弧损耗按公式(416—1)计算：

$$L_n = 10 \lg \frac{\bar{P}_2 \cdot \bar{P}'_1}{\bar{P}'_2 \cdot \bar{P}_1} \dots\dots\dots (416-1)$$

式中：

L_h ——电弧损耗，dB；

\bar{P}_1 ——接入标准短路面时，功率计 1 读取的平均功率值，W；

\bar{P}'_1 ——接入被测管时，功率计 1 读取平均功率值，W；

\bar{P}_2 ——接入标准短路面时，功率计 2 读取的平均功率值，W；

\bar{P}'_2 ——接入被测管时，功率计 2 读取平均功率值，W。

4 注意事项

4.1 按图 416—1 测试 TR、前置 TR 时，T 型管座由 T 型接头替代，被测管后接匹配负载。

4.2 具有引燃极的开关管应按相关详细规范的规定使引燃极正常工作。

方法 418A 幅度恢复时间

1 目的

测量从射频脉冲终止的时刻起，到开关管对低功率信号的幅值衰减达到某一规定值为止的时间间隔。

2 测试原理

2.1 脉冲探测信号同向输入法

2.1.1 TR 管、前置 TR 管

测试原理图如图 418—1 所示。

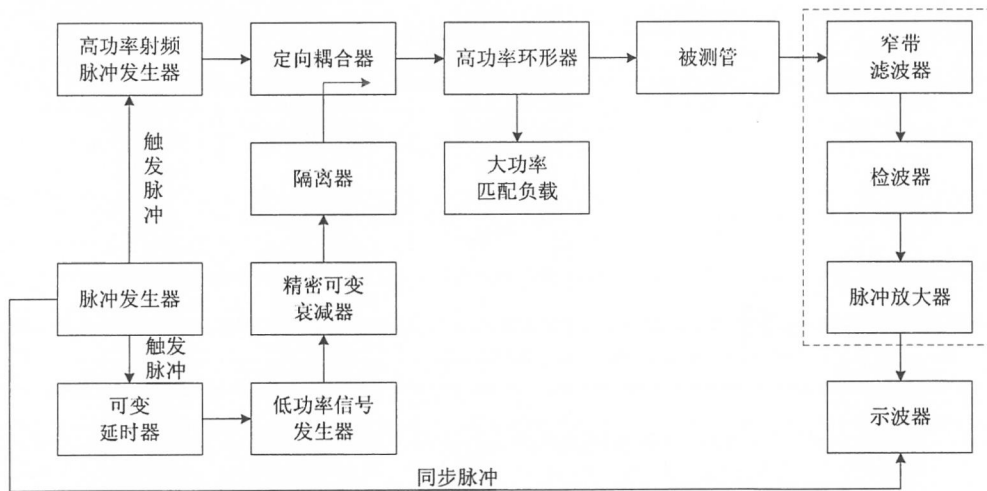


图 418—1 TR 管、前置 TR 管脉冲探测信号同向输入法测试原理框图

图中定向耦合器可用魔 T 代替。

测试双 TR 管时，被测管由图 413—2 替代，高功率环行器及大功率匹配负载可省略。

2.1.2 ATR 管

测试原理图如图 418—2 所示。

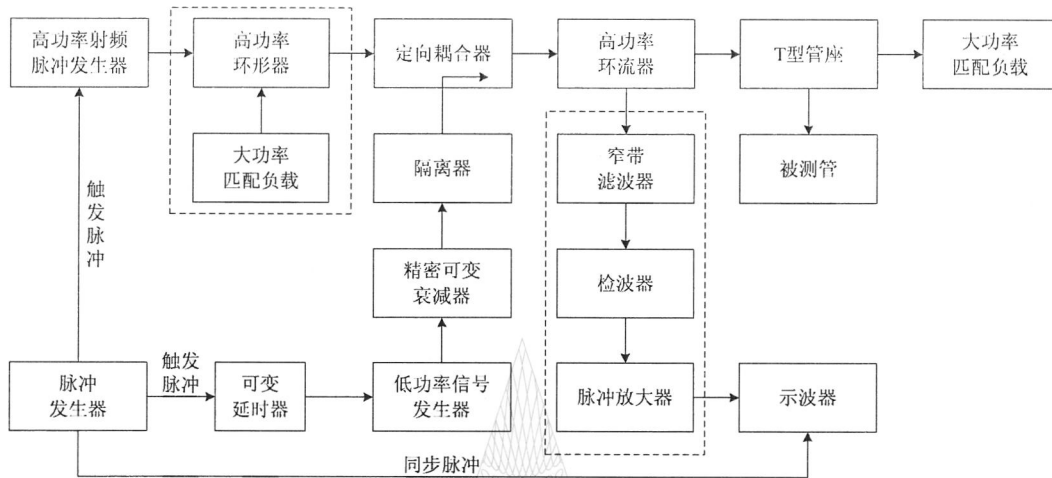


图 418-2 ATR 管脉冲探测信号同向输入法测试原理框图

2.2 脉冲探测信号反向输入法

2.2.1 TR 管、前置 TR 管、双 TR 管

测试原理图如图 418-3 所示。

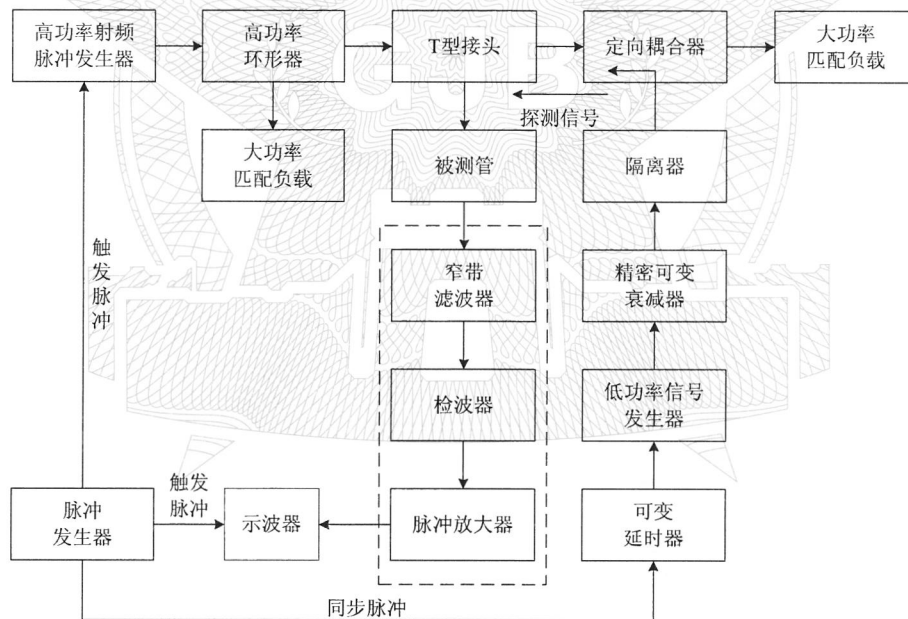


图 418-3 TR 管、前置 TR 管、双 TR 管脉冲探测信号反向输入法测试原理框图

图中定向耦合器可用魔 T、四端高功率环行器代替。

测试双 TR 管时，T 型接头去掉，被测管由图 418-7 替代。

2.2.2 ATR 管

测试原理图如图 418-4 所示。

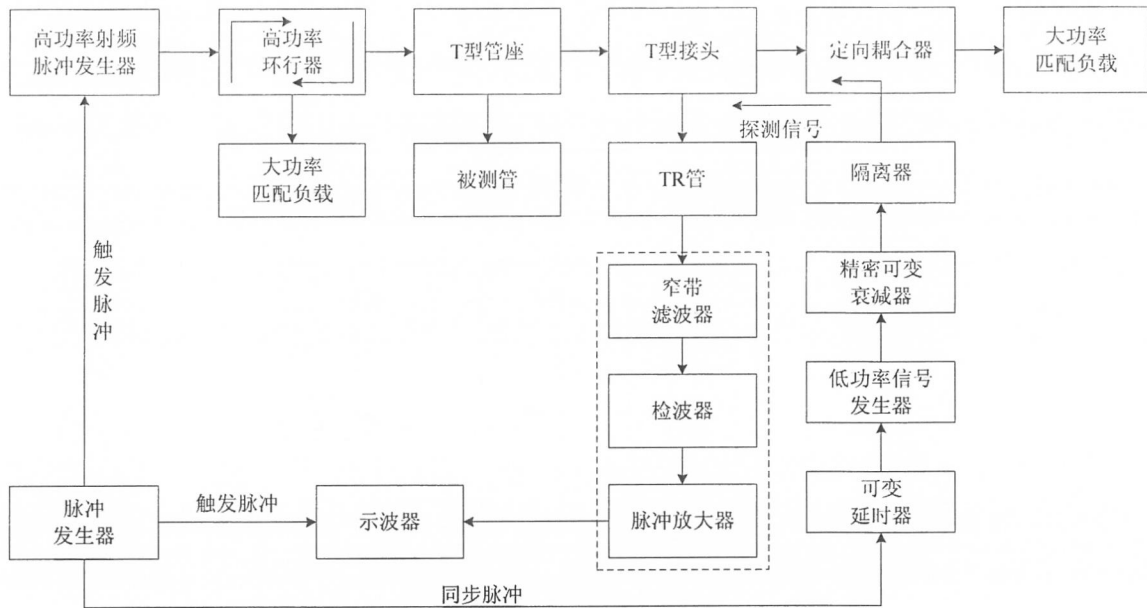


图 418—4 ATR 管脉冲探测信号反向输入法测试原理框图

图中定向耦合器可用魔 T、四端高功率环行器代替。

2.3 连续波探测信号同向输入法

测试原理框图如图 418—5 所示。

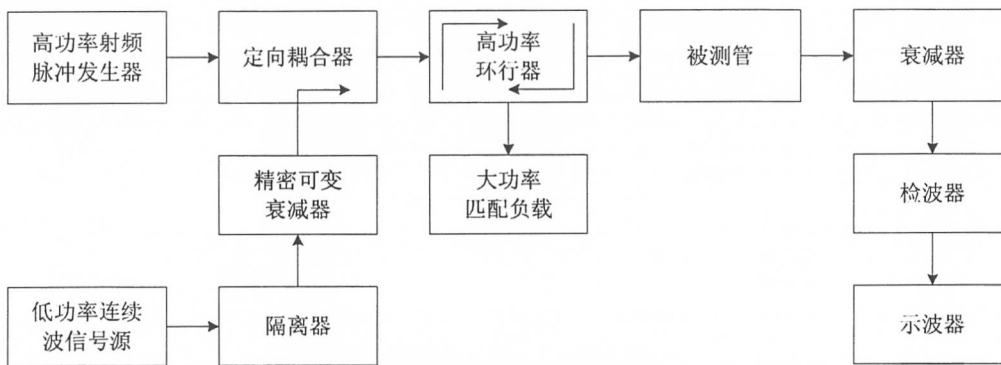


图 418—5 连续波探测信号同向输入法测试原理框图

图中定向耦合器可用魔 T 代替。

测试双 TR 管时，被测管由图 413—2 替代，高功率环行器及大功率匹配负载可省略。

2.4 连续波探测信号反向输入法

测试原理图如图 418—6 所示。

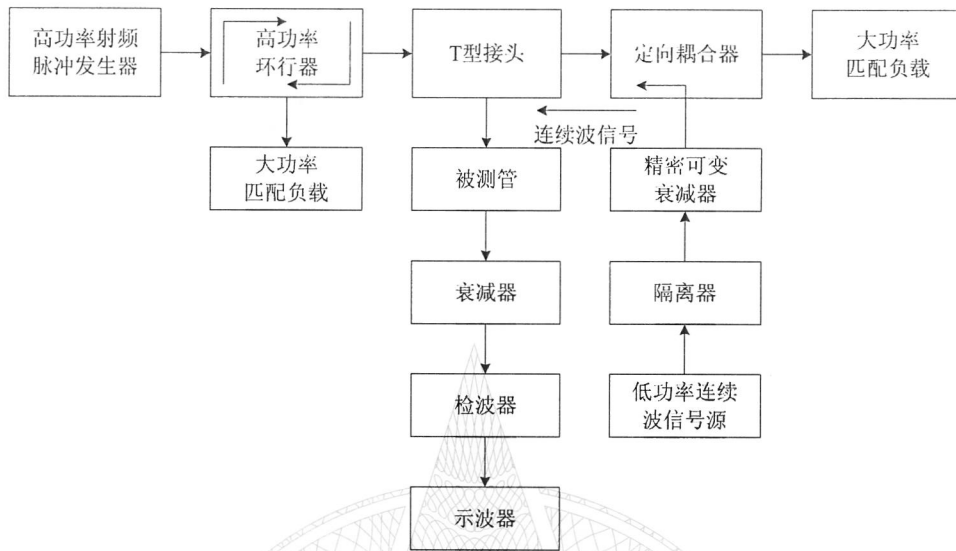


图 418-6 连续波探测信号反向输入法测试原理框图

图中定向耦合器可用魔 T、四端高功率环行器代替。

测试双 TR 管时，T 型接头去掉，被测管由图 418-7 替代。

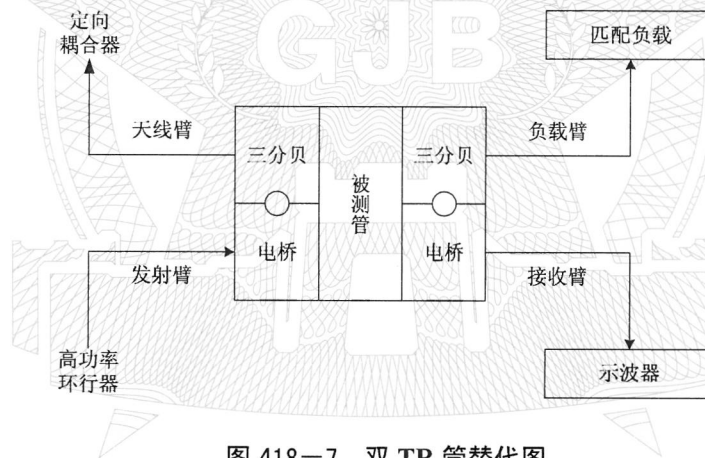


图 418-7 双 TR 管替代图

3 测试程序

3.1 脉冲探测信号同向输入法

3.1.1 按图 418-1 或图 418-2 建立测试系统。

3.1.2 调节好低功率电平信号，使在示波器上观察到的探测信号保持在线性状态且幅度较大，用精密衰减器在示波器上定出所规定的衰减量。

3.1.3 将高功率射频脉冲发生器按相关详细规范的规定调整，调节可变延时器，使探测信号向主脉冲方向移动至探测信号幅值达到所规定的衰减量。

3.1.4 测量主脉冲终止至探测信号脉冲顶部的时间间隔，即为开关管的幅度恢复时间。

3.1.5 使用窄带滤波器时，应将主脉冲信号和探测信号的频率作适当偏离，调节滤波器中心频率，使窄带滤波器谐振于探测信号。

3.2 脉冲探测信号反向输入法

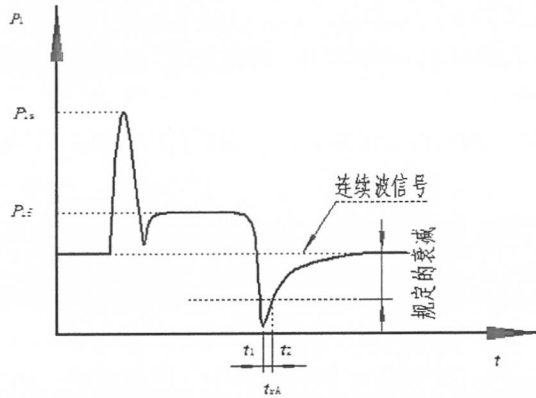
按图 418—3 或图 418—4 建立测试系统，按 3.1.2~3.1.5 的测试程序进行测量。

3.3 连续波探测信号输入法

3.3.1 按图 418—5 或图 418—6 建立测试系统。

3.3.2 将低功率连续波信号调至相关详细规范规定的频率点，在示波器上显示一平滑直线，用精密衰减器在示波器上定出所规定的衰减电平。

3.3.3 将高功率射频脉冲发生器按相关详细规范的规定调整，示波器上显示图 418—8 的波形。



t_1 ——相应于主脉冲终止时间； t_2 ——探测信号被衰减到额定值的时间

图 418—8 恢复时间的示波图形

3.3.4 按示波图形测量射频脉冲终止的时间 t_1 和规定衰减量时的时间 t_2 。

3.3.5 开关管幅度恢复时间按下式计算：

$$t_{rA} = t_2 - t_1 \dots\dots\dots (418-1)$$

式中：

- t_{rA} ——幅度恢复时间， μs ；
- t_2 ——探测信号被衰减到额定值的时间， μs ；
- t_1 ——射频脉冲终止的时间， μs 。

4 注意事项

- 4.1 虚线方框内的设备，可以用外差接收机代替，或直接用检波器。
- 4.2 按图 418—2 用同向输入法测 ATR 管时，高功率环行器也可使用 T 型接头和 TR 管代替。
- 4.3 按图 418—1 或图 418—3 测前置 TR 管时，可在前置 TR 管后接入一个恢复时间小于被测管、较小漏过功率的 TR 管，保护检波器不被烧毁。
- 4.4 图 418—4 中所用 TR 管的恢复时间应远小于被测管。
- 4.5 测量带限幅器的开关管，到达被测管的低功率信号电平应小于 PIN 管的限幅电平阈值。
- 4.6 具有引燃极的开关管应按相关详细规范规定使引燃极正常工作。
- 4.7 使用连续波探测输入法时连续波信号幅度不应高于限幅器限幅电平。

方法 422 尖峰漏过功率及平坦漏过功率

1 目的

测量放电管漏过功率波形的尖峰最大点及平坦部分的功率值。

2 测试原理

开关管测试原理如图 414—4 所示。

测试双 TR 管时，被测管由图 413—3 替代。

3 测试程序

- 3.1 按图 414—4 建立测试系统，波导开关转接于功率计。
- 3.2 将高功率射频脉冲发生器按相关详细规范的规定调整好。
- 3.3 用功率计测量漏过开关管的平均功率值，不超过峰值功率计或峰值功率分析仪的测量额定范围方可将波导开关转接峰值功率计或峰值功率分析仪；若超过时，峰值功率计或峰值功率分析仪前应加合适衰减量的衰减器，读取衰减量 A 。
- 3.4 在峰值功率计或峰值功率分析仪的示波器上直接测量如图 414—1 所示脉冲波形最高点功率值 P'_s 及脉冲波形平坦处功率值 P'_f 。
- 3.5 开关管的尖峰漏过功率按公式 (422—1) 计算：

$$P_{ls} = P'_s \cdot 10^{\frac{A}{10}} \quad \text{..... (422-1)}$$

式中：

- P_{ls} ——尖峰漏过功率，W；
 P'_s ——漏过功率波形最高点测量值，W；
 A ——衰减器的衰减量，dB。

- 3.6 开关管的平坦漏过功率按公式 (422—2) 计算：

$$P_{lf} = P'_f \cdot 10^{\frac{A}{10}} \quad \text{..... (422-2)}$$

式中：

- P_{lf} ——平坦漏过功率，W；
 P'_f ——漏过功率波形平坦部分测量值，W；
 A ——衰减器的衰减量，dB。

4 注意事项

- 4.1 峰值功率计或峰值功率分析仪检波器的响应时间应保证远小于高功率射频脉冲波形的上升时间，且带宽应宽。
- 4.2 具有引燃极的开关应按相关详细规范的规定使引燃极正常工作。

中华人民共和国
国家军用标准
微波电子管测试方法
GJB 3311B—2024

*

国家军用标准出版发行部出版
(北京东外京顺路7号)
国家军用标准出版发行部印刷车间印刷
国家军用标准出版发行部发行
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 5½ 字数 173 千字
2025年2月第1版 2025年2月第1次印刷

*

军标出字第 16403 号