

等离子体微波干涉仪的新的显示方式

郑少白 杨宣宗

(中国科学院物理研究所)

等离子体微波干涉仪借微波束经过等离子体, 探测由于等离子体引起的相位变化, 给出等离子体平均电子线密度。在目前多种高温等离子体诊断手段中, 由于微波干涉仪对等离子体干扰小, 结果显示直观, 操作简单方便, 因而它已经成为一种常规的诊断手段。传统的微波干涉仪的工作原理如图 1 所示。微波源用一幅值和周期均能调节的锯齿波信号进行调制, 产生一个频率呈周期性线性变化的微波束。此束经过定向耦合器分成两路, 其中探测束经过等离子体, 参考束经过可变衰减器和移相器。合成波由具有平方律特性的晶体检波器接收。输出的视频段干涉信号 $u(t)$ 可写成

$$u(t) = u_1 u_2 \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3), \quad (1)$$

其中 u_1 和 u_2 分别是主、副路微波束的幅值, ϕ_1 为不存在等离子体时主、副两路之间固有的相差, ϕ_2 为锯齿波调制带来的相差, ϕ_3 为等离子体密度变化带来的相差。干涉信号经放大和整形送至示波器的辉度调制极(即 x 轴)。只有当 x 轴上有增辉脉冲时, 电子束才能到达示波器的荧光屏上, 否则电子束被切断, 锯齿波信号送至示波器垂直放大器输入端。在没有等离子体时, 仔细调节微波管电源的各级参数和锯齿波信号的幅值和频率, 当示波器水平扫描时间远小于锯齿波周期时, 在示波器上可看到一组明暗相间的静态干涉条纹。条纹亮暗每变化一个周期, 相当于相角改变 2π 弧

度, 在一个锯齿周期内一般有 2—5 条静态干涉条纹, 具体条数视调节而定。当探测臂中等离子体电子密度变化时, 由于 ϕ_3 的改变, 明暗条纹的位置产生相应的移动, 形成了与等离子体电子密度变化相一致的干涉斑马条纹, 这就是传统的 x 轴增辉显示方式。

这样的显示方式存在几个明显的缺点:

(1) 斑马条纹只能用记忆示波器在托卡马克装置放电时记录, 然后用照相的办法保存实验结果, 不能采用计算机采集系统来采集结果。

(2) 不同型号的示波器的 x 轴对增辉脉冲的极性和幅值有不同的要求, 某些示波器要求增辉脉冲的幅值很大, 势必对快脉冲整形线路提出较高的要求。

(3) 一般示波器的 x 轴频率特性不是很佳, 这必然会使斑马条纹产生较大的畸变。

为此我们采用了一个新型的显示方式来代替传统的增辉显示方式, 基本原理如图 2 所示。我们把图 1 中的锯齿波信号作为待测信号送入采样、保持器的输入端。整形器的输出信号经成形、放大后作为采样控制脉冲用来控制模拟开关的导通。采样、保持器由分立元件组成, 线路如图 3 所示。图中 G_1 和 G_2 是场效应管, 开关二极管 D_1, \dots, D_n 组成模拟开关, 与非门 T_1 和 T_2 构成单稳态电路, 作为脉冲成形器, G_3 和 G_4 为脉冲放大器, 电容器 C (其值为 C) 用来存贮待采信号。采样、保持器的工作过程如下: 整形脉冲经成形,

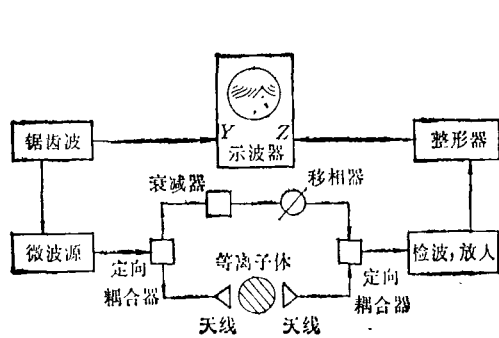


图 1 频率调制式条纹移动干涉仪原理图

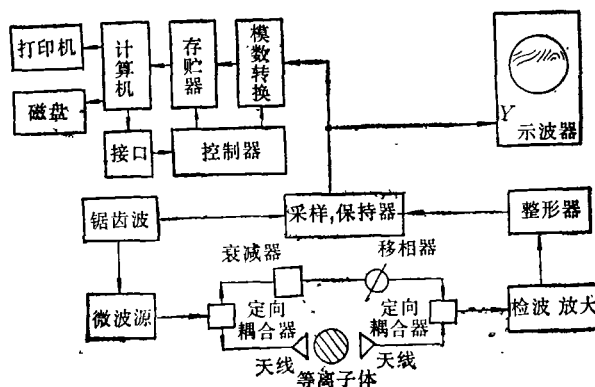


图 2 采样、保持显示方式的原理图

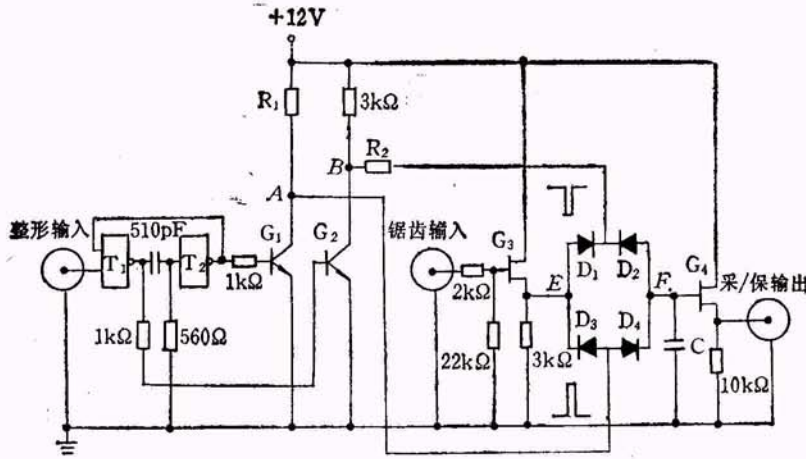


图3 采样、保持器线路图

放大后在 A, B 两点同时输出一个上跳脉冲和一个下跳脉冲。此时若 E 点电位高于 F 点电位, 则 D_3 和 D_4 导通, F 点电位以时间常数 $R_1 C$ 充电至与 E 点相同的电位, 反之则 D_1 和 D_2 导通, F 点电位以时间常数 $R_2 C$ 放电至与 E 点相同的电位。总之, 采样控制脉冲来到时, 模拟开关导通, 电容器 C 上建立起与待采信号相同的电位; 模拟开关关闭后, 电容器 C 上电位保持恒定。通常锯齿周期为 $5\mu\text{s}$ 左右, 为使斑马条纹能准确、清晰地反映干涉信号的相移, 我们选取采样控制脉冲的宽度为 $0.3\mu\text{s}$, 采样时间常数 $R_1 C$ 和 $R_2 C$ 均为 $0.1\mu\text{s}$, 它们都远小于锯齿周期。

采样、保持输出有如下的优点:

(1) 输出信号为一般的模拟电压信号, 这样既可用示波器监视结果, 也可以用计算机来采集结果

(2) x 轴增辉结果是一个亮点, 而采样、保持器的输出则是一段亮线。这样不但干涉条纹的辉度和清晰度有明显的提高, 而且可以记录变化更快的干涉条纹。

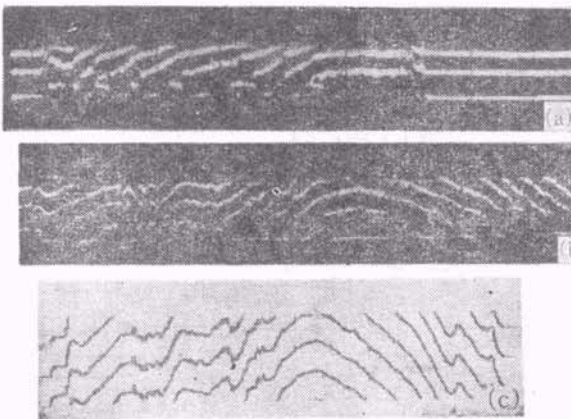


图4 CT-6B 的斑马图结果

如图 2 所示, 采样、保持输出作为模拟电压信号, 可直接送计算机采集。由模数转换器、缓冲存储器 and 控制器组成数据采集系统。主要指标如下: 最高采集频率为 40kHz , 分辨率为八位, 电压输入范围 $100\text{mV}-25\text{V}$, 电压极性没有要求, 数据存贮量为 2K 字节。计算机为 AppleII, 采用机器语言和 BASIC 语言混合使用的软件。

我们已经在 CT-6B 托卡马克实验装置上^[1]用采样、保持输出替代了传统的 x 轴增辉显示方式。实验结果如图 4 所示, 其中 (a) 为 x 轴增辉结果, 放电条件:

$$\begin{cases} f_0 = 69\text{GHz}, \\ T = 4.5\mu\text{s}, \\ I_p = 25\text{kA}, \\ \tau_p = 30\text{ms}, \\ F = 2.06 \times 10^{12}/\text{cm}^3. \end{cases} \quad (2)$$

(b) 为采样、保持器输出结果, 放电条件:

$$\begin{cases} f_0 = 93\text{GHz}, \\ T = 7.6\mu\text{s}, \\ I_p = 22\text{kA}, \\ \tau_p = 50\text{ms}, \\ F = 3.45 \times 10^{12}/\text{cm}^3, \end{cases} \quad (3)$$

其中 f_0 为微波源工作频率, T 为锯齿周期, I_p 为平台区等离子体电流, τ_p 为放电持续时间, 下为每移动一条干涉条纹, 对应的电子密度变化, 此时等离子体弦长均取 20cm 。(c) 为计算机同时采集 (b) 的结果, (c) 的图形与 (b) 是一致的。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院物理研究所 104 组, 物理学报, 29 (1980), 577.