

文章编号: 1005—8893 (2006) 04—0032—04

液态调配器控制系统^{*}

潘亚平¹, 王洪元¹, 李 玉¹, 赵燕平², 王 磊²

(1. 江苏工业学院 计算机科学与工程系, 江苏 常州 213164; 2. 中国科学院等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 在微波电路和天线系统中, 阻抗匹配是十分重要的问题。液态调配器是一种新型的阻抗调配装置, 在 HT—7 托卡马克等离子体大功率射频波的离子回旋共振加热系统中, 已采用液态调配器来取代传统的支节调配器。主要讨论了液态调配器控制系统的设计与实现, 介绍了液态调配器控制系统的3种功能: 本地控制、远程控制、计算机控制。

关键词: 离子回旋共振加热; 液态调配器; 阻抗匹配; 控制系统

中图分类号: TP 273

文献标识码: A

Liquid Stub Tuner Control System

PAN Ya—ping¹, WANG Hong—yuan¹, LI Yu¹, ZHAO Yan—ping², WANG Lei²

(1. Department of Computer Science and Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; 2. Institute of Plasma Physics, Academia Sinica, Hefei 230031, China)

Abstract: In microwave circuit and aerial system, impedance matching is very important. Liquid stub tuner is a new type of impedance matching device. In the HT—7 Tokamak Ion Cyclotron Resonance Heating system, we have already adopted liquid stub tuner to replace the conventional stub tuner. This paper mainly introduces the design and realization of the liquid stub tuner control system, and introduces its three functions: local control, remote control, computer control.

Key words: ICRH; liquid stub tuner; impedance matching; control system

在 HT—7 托卡马克等离子体大功率射频波的离子回旋共振加热 (Ion Cyclotron Resonance Heating, 简称 ICRH) 系统中, 阻抗匹配是十分重要的问题。阻抗匹配时高频发射机传输给同轴传输线和天线负载的功率最大, 从而发射机的功率通过天线负载能有效地耦合到等离子体中, 且此时馈线中的功率损耗最小。阻抗失配时高频发射机传输大功率容易导致同轴传输线被击穿, 同时反射波对信号源产生频率牵引作用, 使信号源工作不稳定, 甚至不能正常工作^[1]。

阻抗匹配的方法是在天线负载与同轴传输线之

间接入一个匹配装置, 使其输入阻抗等于传输线的特性阻抗。液态调配器是一种新型、高效、精确的阻抗匹配装置。它是在同轴传输线的内外导体之间充入一些具有低介电常数的液体 (硅油), 利用电磁波在空气和硅油中传播速度的不同来改变支节的特性阻抗, 使得同轴传输线和天线阻抗达到匹配^[2]。液态调配器在具体调配时是通过改变各支节液面高度来实现系统匹配的。

1 液态调配器控制系统的设计与实现

单支节液态调配器的原理图如图 1 所示^[3]。在

* 收稿日期: 2006—05—31

作者简介: 潘亚平 (1979—), 女, 江苏常州人, 讲师。

ICRH 实验中实际使用的是三支节的液态调配器。图 2 是三支节液态调配器的示意图。液态调配器的每根支节高 6 m；外导体直径为 236 mm、壁厚 3 mm；内导体直径为 100 mm、壁厚 3 mm、内外导体均由紫铜制造。

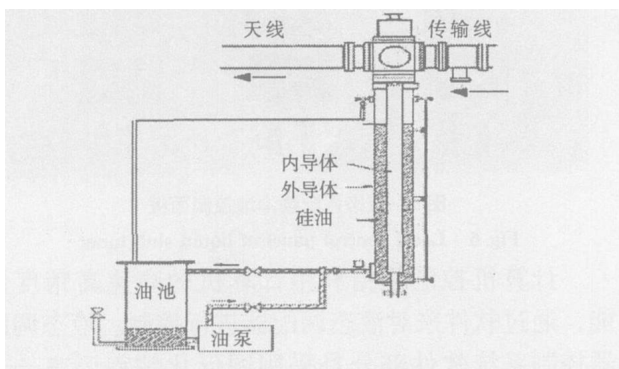


图 1 单支节液态调配器原理图

Fig 1 Principle graph of single liquid stub tuner

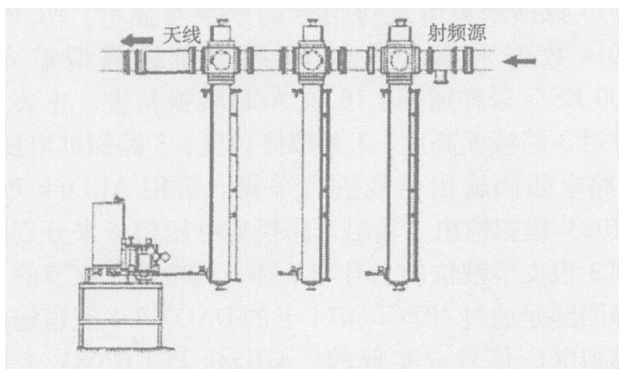


图 2 三支节液态调配器示意图

Fig 2 Sketch map of triple liquid stub tuner

1.1 液态调配器控制系统硬件装置

液态调配器的每根支节是通过控制由油箱、电动球阀、过滤器、油泵、压力表、手动阀等设备组成的油路系统来实现支节液位高度的上升与下降。图 3 是液态调配器硬件装置的实物图。

液态调配器硬件装置示意图如图 4 所示。其中，上升回路和下降回路是互锁的独立回路，任一时刻至多只有一个回路处于工作状态。OMAL 电动球阀配合 AM 调节型电动执行器一起使用。电动执行器的输入信号为 4 ~ 20 mA 的电流信号，当输入的电流信号小于等于 4 mA 时电动执行器停止运转，球阀阀门由当前位置回至关闭位置，阀门完全关闭；当输入的电流信号为 20 mA 时阀门完全打开。4 ~ 20 mA 之间的电流信号对应着电动球阀的阀门开度大小，电流越大，阀门开度也就越大，液体上升下降的速度也就越快。

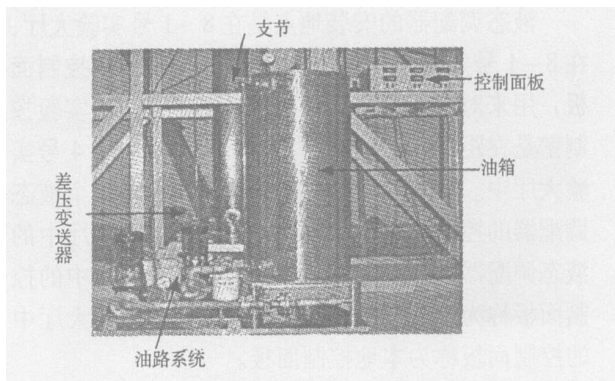


图 3 液态调配器硬件装置实物图

Fig 3 Practicallity map of hardware equipment of liquid stub tuner

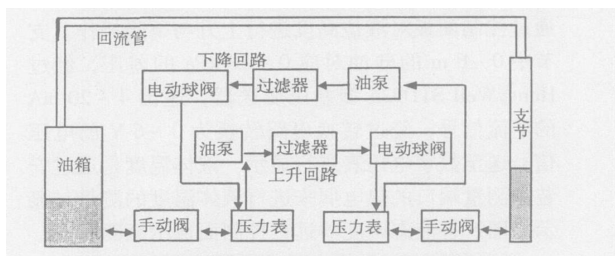


图 4 液态调配器硬件装置示意图

Fig 4 Sketch map of hardware equipment of liquid stub tuner

1.2 液态调配器电器控制线路

将油泵、电动球阀等组成的油路系统作为控制对象，通过由继电器、控制按钮、限位指示灯等所组成的控制装置对控制对象进行控制^[4,5]。由于是三支节的液态调配器，对每一根支节都有一个控制线路。按下控制面板上的“上升、停止、下降”3 档选择按钮的“上升”档，则上升回路中的电动球阀阀门打开，油泵运转，将油箱中的硅油传送到液态调配器的支节中，实现支节液面高度的上升，同时控制面板上的上升指示灯亮；按下“下降”档时，则下降回路中电动球阀阀门打开，油泵运转，将支节内外导体间的硅油传输到油箱中，实现支节液面的下降，同时面板上的下降指示灯亮；按下“停止”档时，则将切断上升回路或下降回路中的油泵和电动执行器。当支节液面高度低于所设定的下限值 0.1 m 时，控制面板上的下限指示灯亮，油泵和电动球阀阀门自动关闭；当支节液面高度高于所设定的上限值 6 m 时，控制面板上的上限指示灯亮，油泵和电动球阀阀门自动关闭。

2 液态调配器控制系统的功能

设计的液态调配器控制系统具有 3 个功能：本地控制、远程控制、计算机控制。

液态调配器的安装地点是在 8—1 号实验大厅, 在 8—1 号实验大厅中有一个液态调配器的控制面板, 用来对液态调配器进行控制。而 ICRH 实验控制室是在距 8—1 号实验大厅约 200 m 的 2—4 号实验大厅中。在 ICRH 实验控制室中同样有一个液态调配器的控制面板, 用来对 8—1 号实验大厅中的液态调配器进行控制。将 2—4 号实验大厅中的控制面板称为远程控制面板, 将 8—1 号实验大厅中的控制面板称为本地控制面板。

远程控制是在 2—4 号实验大厅中读取液态调配器 3 根支节当前各自的液面高度、液体温度, 并通过控制面板对液位高度进行上升与下降操作。支节中 0~6 m 的硅油对应 0~50 kPa 的差压, 经过 HoneyWell STD924 型差压变送器, 送出 4~20 mA 的电流信号, 经过转换电路转换为 0~6 V 的电压信号送至数字电压表进行显示。液体温度是通过安装在测量端口的热电偶来进行液体温度的测量与显示。图 5 是液态调配器远程控制面板示意图。



图 5 液态调配器远程控制面板

Fig 5 Remote control panel of liquid stub tuner

本地控制是在 8—1 号实验大厅中显示液态调配器的液面高度、液体温度, 并通过控制面板对液面高度进行上升与下降操作。本地控制的功能与远程控制的功能相类似, 但远程控制面板上多了一个

互斥的钥匙开关, 用来进行功能的选择。当选择远程控制时, 本地控制及计算机控制不起作用。任一时刻最多只有一种控制在起作用。图 6 是液态调配器本地控制面板实物图。

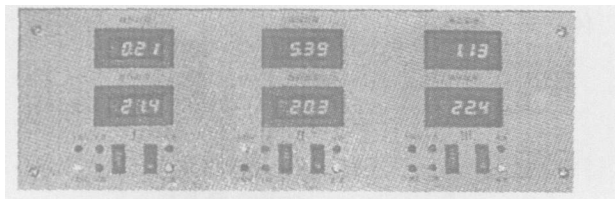


图 6 液态调配器本地控制面板

Fig 6 Local control panel of liquid stub tuner

计算机控制是指利用计算机的高速高精度性能, 通过软件来对液态调配器进行控制。液态调配器控制系统软件部分是采用图形化编程语言——LabVIEW 和 C 语言进行开发的^[6~8]。采用 NI PCI 6014 数据采集卡进行信号的采集与显示。NI PCI 6014 数据采集卡具有 16 通道单边模拟输入、200 KS/s 采样速率、16 位 A/D 转换精度, 主要用来对 3 路液面高度、3 路液体温度、3 路探针电压、6 路电磁阀输出信号进行采集。采用 ADLink PCI 6208V 模拟输出卡输出 5 路模拟电压信号来分别控制 3 根支节液位的上升与下降, 其中第 3 支节的下降回路是通过 NI PCI 6014 卡的 DAC00OUT 通道输出模拟电压信号来实现的。ADLink PCI 6208V 卡输出 3 路模拟电压信号, 通过转换电路转换为电流信号来控制电动球阀阀门的开度大小, 即控制硅油上升下降的速率大小。液态调配器计算机控制系统原理图如图 7 所示。

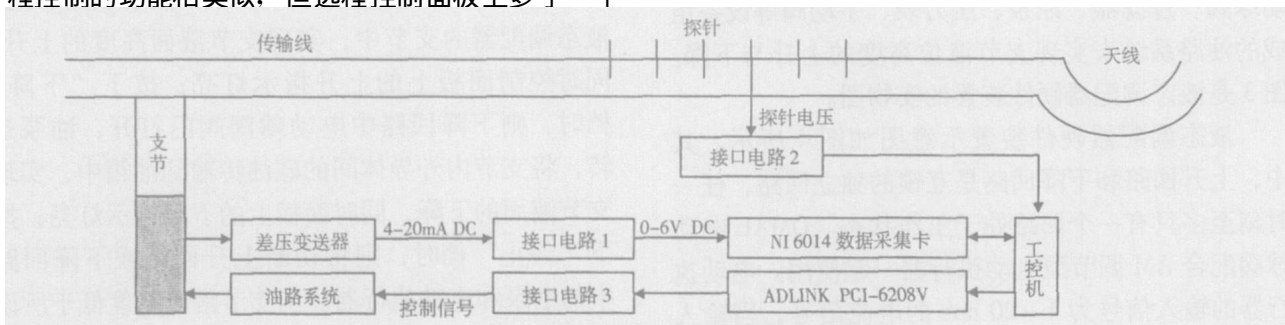


图 7 液态调配器计算机控制系统的原理图

Fig 7 Principle graph of computer control of liquid stub tuner

液态调配器计算机控制的功能与本地控制、远程控制的功能基本相同。在计算机控制中, 用户可实现手动与自动两种功能。自动指实验人员设定液态调配器各个支节的液面高度, 液态调配器各支节自动达到设定的高度。手动指实验人员进行上升与下降操作的选择, 使液面上升或下降至一定高度时

使液面停止动作。在计算机控制中实验人员可以灵活实时地控制电动球阀的阀门开度大小, 从而控制液面上升下降速度的快慢。

液态调配器计算机控制系统中还可实现等离子体放电时阻抗动态匹配的问题, 其实现的方法如下: 计算机对天线的探针电压进行采集, 根据采集

所得的探针电压得知天线的阻抗, 根据天线阻抗又可推导出当传输线与天线阻抗达到匹配时液态调配器 3 根支节应达到的液面高度。计算机对 3 根支节的当前液面高度进行采集, 将采集得到的液面高度与匹配时应达到的液面高度进行比较, 根据比较的结果由计算机发出控制信号来控制液面高度的上升与下降。

3 实验结果

液态调配器控制系统的使用使调配工作更加简单方便、快捷、精确, 且很安全。当我们用液态调配器来进行调配工作时, 是先在空载状态下即无等离子体的状态下, 对两柄天线 IBW 和 ICRH 进行空载调配, 利用网络分析仪找到常用频率如 24 MHz、27 MHz、30 MHz 下的匹配点, 即确定液态调配器 3 根支节的液面高度, 之后, 当等离子体放电时, 通过示波器观察入射波与反射波来得知实际的匹配状态, 如果需要可进行微调, 使整个系统更好地匹配。典型的实验结果如下所示: 27 MHz 频率下, 对 ICRH 天线终端短路, 液态调配器 3 根支节的液面高度分别为 $h_1=1.0\text{ m}$, $h_2=2.15\text{ m}$, $h_3=1.7\text{ m}$; 对 IBW 天线终端短路, 液态调配器 3 根支节的液面高度分别为 $h_1=2.83\text{ m}$, $h_2=1.42\text{ m}$, $h_3=1.11\text{ m}$ 。经过 HT-7 实验发现在 27 MHz 频率下的反射情况很小, 整个系统得到较好的匹配。

4 结束语

目前, 液态调配器控制系统的硬件和软件设计已全部完成。在液态调配器控制系统的使用中, 当用户按下停止按钮后, 发现存在液体的回流现象, 液体上升或下降的速度越快, 回流现象越严重。其

主要原因如下: 当按下停止按钮后, 阀门和油泵同时关闭, 但因为采用的是调节型的电动球阀, 阀门的完全关闭需要一定的时间。而支节与油箱是一套连通装置, 在阀门关闭的这段时间内造成了支节内的硅油向油箱的回流或油箱内的硅油向支节的回流。当电动球阀的阀门完全关闭后, 回流现象也就消失。

解决回流现象的有效方法是当用户按下停止按钮后, 并不立即关闭油泵, 而使油泵继续运转若干秒后再关闭, 这样就不会形成回流的现象。但同时会产生响应延时现象, 即用户按下停止按钮后, 液面会在当前位置继续上升或下降一定高度。选择合适的油泵延时时间可以较好地解决回流现象和响应延时现象, 而油泵延时时间的长短取决于电动执行器的响应时间。

参考文献:

- [1] 廖承恩. 微波技术基础 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994.
- [2] Kumazawa R, Yanping Zhao, Seki T, et al. Liquid Stub Tuner for Ion Cyclotron Heating [J]. Review of Scientific Instruments, 1999, 70 (6): 2 665—2 673.
- [3] Qin Chengming, Zhao Yanping, Mao Yuzhou, et al. Design of a New Type of Stub Tuner in ICRF Experiment [J]. Plasma Science & Technology, 2003, 5 (3): 1 779—1 784.
- [4] 李仁. 电器控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [5] 康华光. 电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1979.
- [6] 杨乐平, 李海涛, 肖相生. LabVIEW 程序设计与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [7] 谭浩强. C 程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
- [8] 刘君华. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.