



## 利用电子负载如何测试燃料电池的交流阻抗？

**摘要：**燃料电池交流阻抗是燃料电池发电性能的关键数据，进行燃料电池的交流阻抗测试可以识别有问题的燃料电池单体及其在组装过程中产生的偏差。完成不同频率下的交流阻抗测试后，即可得到燃料电池的电化学阻抗谱。ITECH IT8900A 电子负载可以简化测量过程，本文将介绍如何使用 ITECH 电子负载实现交流阻抗测试的方法。

### 一、为什么需要测量交流阻抗

由于燃料电池具有非线性阻抗，薄膜阻抗的电学特性可以表征其内部元素的损失，因此燃料电池交流阻抗的测试至关重要。

此外，直流测试法由于无法区分薄膜阻抗和极化阻抗，因此，只能采用交流测试法（四线制测试）。该测量有助于确定燃料电池系统中的运动阻力，如欧姆电阻（例如，电解液，接触、渗透层电阻），以及反应物的运输限制。影响阻值的燃料电池组件包括电流集电极、渗透层电极、催化层、接触膜等等。

### 二、怎样测量燃料电池的交流阻抗

测量交流阻抗的方法有很多种：

电流中断法（电流跌落法），即电流快速中断，测试升高的电压和电流的比值，此方法历史悠久，优点在于测试方法简单，然而测试出的单值信息量较少，容易引入导线阻抗。而且，这种方法需要格外小心，因为负载导线阻抗会产生瞬态反向电动势。

EIS 电化学阻抗谱可测定的频率范围很宽，因此可以测试出最为全面的数据，包括动力学信息和电极界面结构信息。需要使用到电子负载和频响分析仪。

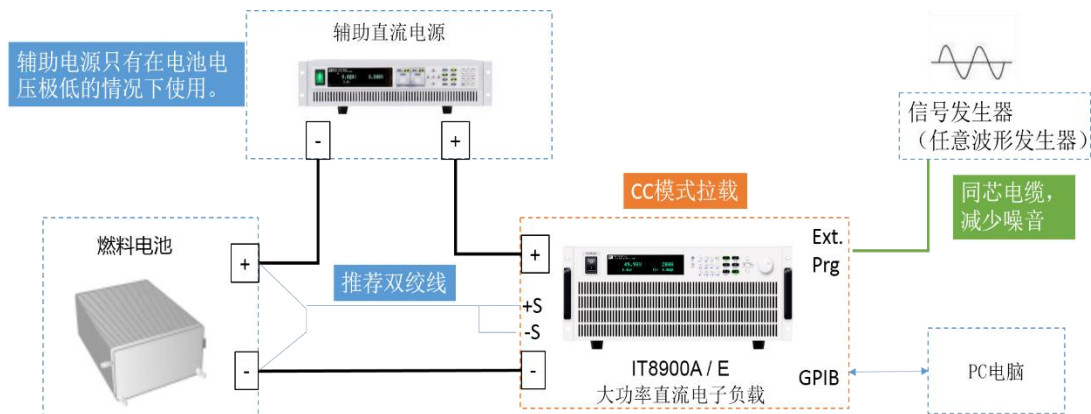
下面我们给大家介绍一种交流阻抗测试法，可以看成是 EIS 测试法的简化版。此法相较于电流跌落法也更安全。采用信号发生器发生交流正弦波，配合 IT8900A 外部模拟量接口动态加载，可以方便测试电压和电流波形的相位差。这种测试方法比电流瞬跌法简单易操作，两种方法测试结果一致。

### 三、测量燃料电池交流阻抗的设备

测量交流阻抗可以用一台直流电子负载 IT8900A、一台信号发生器和一个装有相应软件的电脑。其他可选仪器包括一台辅助电源。测试方法如图一所示，当燃料电池输出电压过低时，为保证电子负载能正常带载，往往需要一台辅助电源。通过信号发生器输出测试频率的正弦波信号，控制电子负载 CC 加载正弦波形，读取电子负载内部缓存区的电压、电流数



据，进行 FFT 快速傅里叶变换分析。最后，用数学函数将转换后的电压除以转换电流以获得复阻抗（包含幅值和相位信息）。这个方法适用于燃料电池全频带内任何一个频率点的测试，进而可以得出电化学阻抗谱。



图一、燃料电池测试连接框图

信号发生器必须具有产生精确可控频率正弦波的能力，以便确保 FFT 结果的准确性。而 IT8900A 电子负载是上述测量方法的核心硬件，因其具有以下多个特性，特别适用于燃料电池 AC 阻抗的测试。

### 1、CC 模式（CV 模式和 CR 模式）

将负载处于定电流模式下，设置定电流值为燃料电池的直流电流测试点。

### 2、外部模拟量输入

负载后面板的 EXT PRG（正负）模拟量端口可以控制负载的带载电压或电流。在 EXT PRG 端子处接入 0-10V 可调电压来模拟 0-满量程的输入，从而调节负载的输入电压和电流的值（10V 对应负载满量程的电压或电流值）。在电子负载的外部模拟端子输入正弦信号，可在电子负载已有直流片之下，叠加出需要的正弦激励信号。当负载的输入电压大于或者等于 3V 时，信号的带宽可以达到 10KHz，当电压低于 3V 时，带宽减小为 1KHz。另外，尽管模拟量输入电压可以为负值，但负载激励电流不能为负值，因为这些负载单极性的。

### 3、同步输入 V-I 曲线

精确同步获取 V-I 曲线是做 FFT 分析的必要条件，以保证正常工作，在内部高精度晶振的控制下，IT8900A 系列电子负载具有内部缓存区，可获取输入电压、电流数据，AD 采样率可任意设定，最高可达 50kHz。



#### 4、远端补偿电压

IT8900A 具有远端补偿功能，当负载消耗较大电流的时候，就会在被测仪器到负载端子的连接线产生较大压降。为了保证测量精度，负载在后面端子提供一个远端量测端子，用户可以用该端子量测导线上损失的压降。在使用远端量测功能前，要先设定负载为远端量测模式。

#### 5、低电压操作

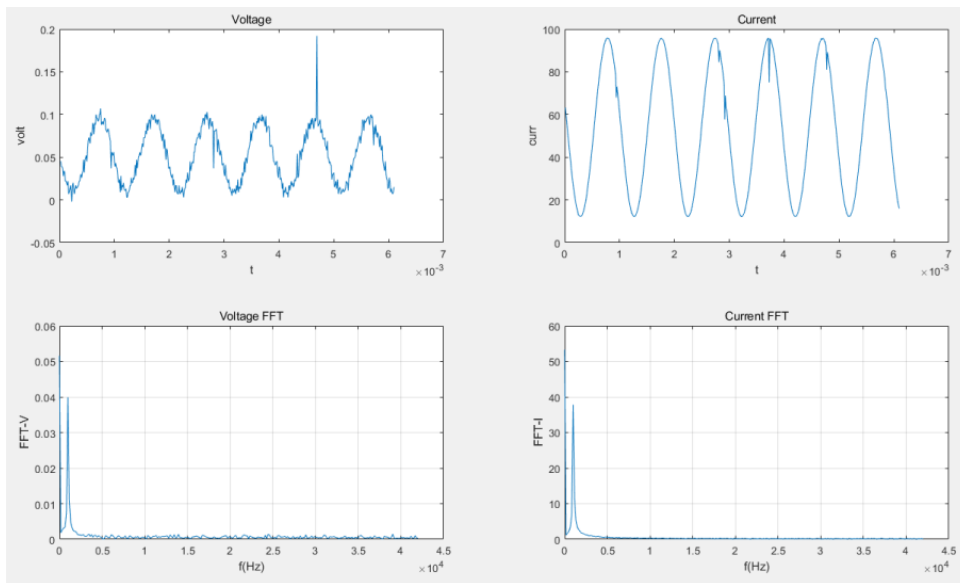
艾德克斯电子负载在低电压输入下，服从 0V 对应 0A，2V 对应满量程电流的线性对应关系。典型的组合型燃料电池蓄电电压一般大于 2V，然而，担心燃料电池的电压会低于 1V。因此，如果在低电压下产生符合要求的大电流，可以给被测的燃料电池串联一个直流电源来实现（例如 IT6500C）。此时，远端电压测量功能依然可以对燃料电池端进行准确的测量。

#### 6、并联操作

若燃料电池需要获的电流，一个负载模块无法实现，可以将多台 IT8900A 的电子负载进行并机以增加总电流的容量。该操作并不复杂，只需要其中一台负载测量交流阻抗，其他负载工作在直流电流工作模式下。

### 四、实际测试

利用此方法测试 1mR 的分流器，电源、IT8906A 之间串接 1mR 分流器，负载开启 sense 功能，使用 trace 功能，捕捉电压电流信号，测试结果如下图所示：



图二、1kHz 电流拉载的电压、电流曲线及其 FFT

记录电压、电流 FFT 频谱上 1kHz 点的幅值：

$$V(1\text{kHz})=0.03991$$

$$I(1\text{kHz})=37.82$$

$$\text{此时内阻为 } R_s = \frac{V(1\text{kHz})}{I(1\text{kHz})} = 1.0552\text{m}\Omega$$

可见，测试结果精度较高，此法同样可类推到其他频率的 AC 阻抗的测试。

利用 IT8900A 电子负载可以大大减少对燃料电池交流内阻的测试的成本，其中，IT8900A 电子负载四线接线法、500kHz 的电压、电流采样率、低电压大电流工作特性、从直流到 10kHz 的正弦信号拉载带宽都是的测试精准的重要保证。

艾德克斯是专业生产测试测量仪器的厂家，始终关注客户最新的测试需求，在新能源汽车、动力电池、光伏发电、传统工业等各领域都有长期合作的客户。详情请关注艾德克斯官网：[www.itechate.com](http://www.itechate.com)，或拨打热线电话 4006-025-000