

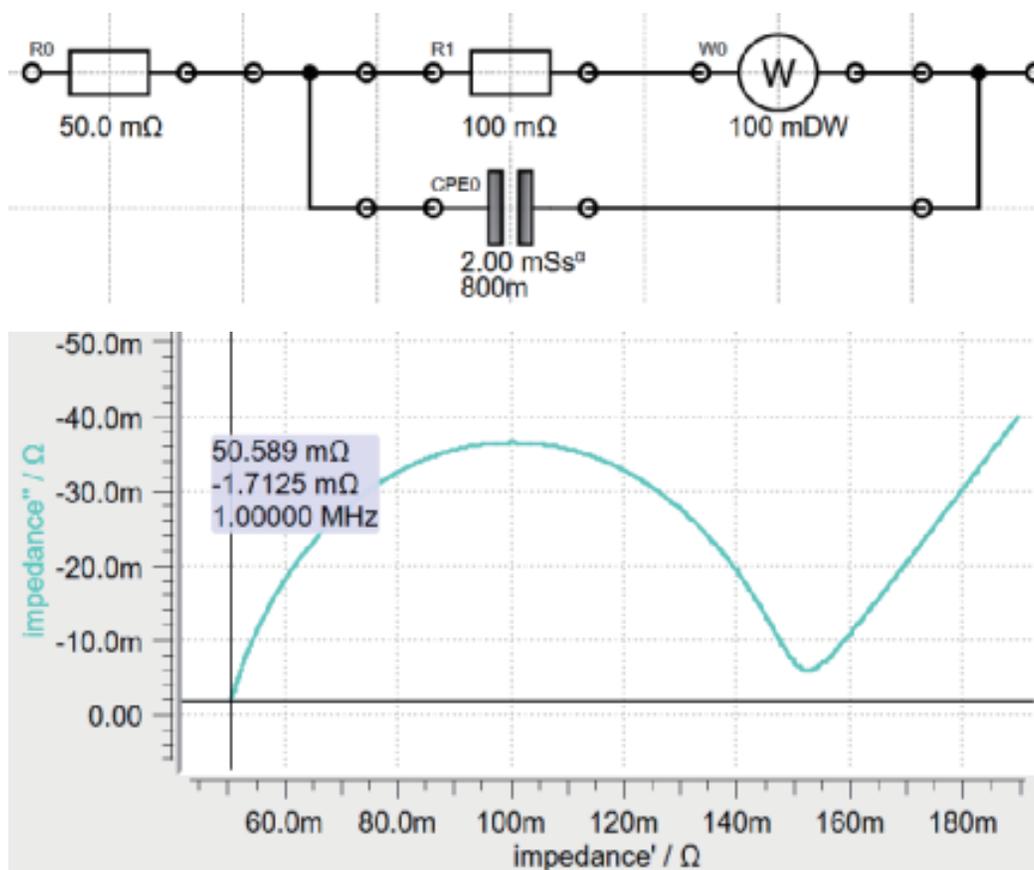
从Nyquist图中准确地识别欧姆电阻

电池的内阻包括欧姆电阻和极化电阻。在温度恒定的条件下, 欧姆电阻基本稳定不变, 而极化电阻会随着影响极化水平的因素变动。

欧姆电阻主要由电极材料、电解液、隔膜电阻及集流体、极耳的连接等各部分零件的接触电阻组成, 与电池的尺寸、结构、连接方式等有关。

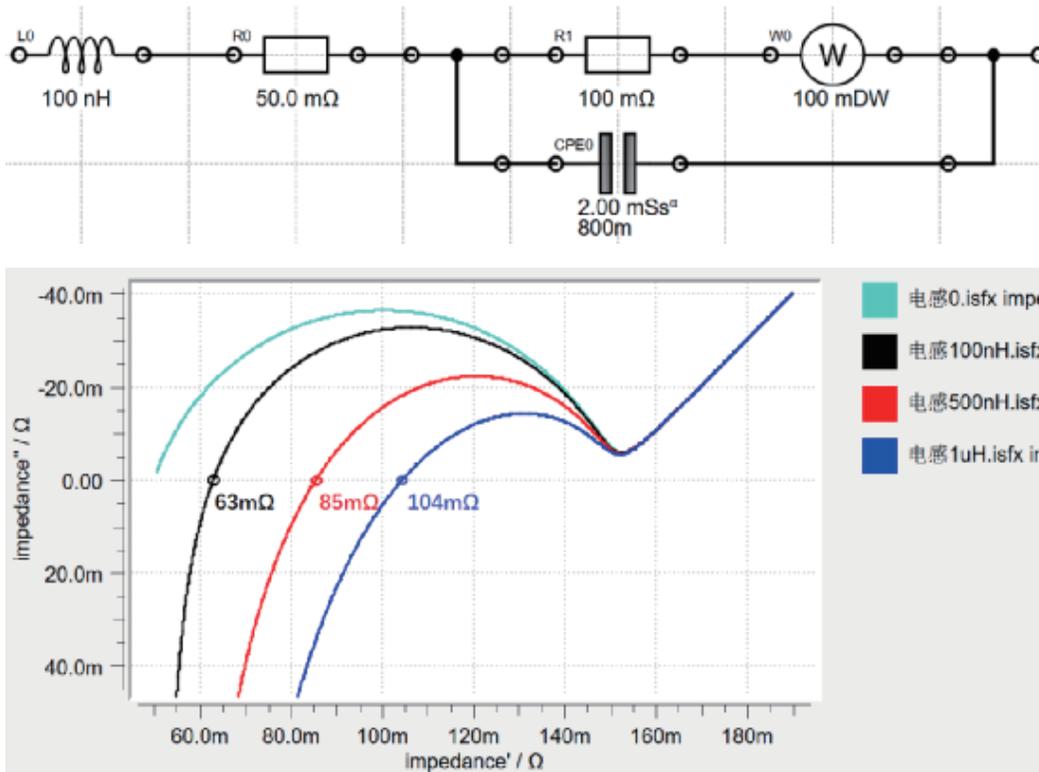
我们都知道欧姆电阻可以通过交流阻抗EIS方法测得, 但怎样才能从EIS数据中得到准确的欧姆电阻呢? 很多人认为是Nyquist图跟横轴的交点, 但其实这样读到的欧姆电阻并不准确。

我们可以用分析软件做个模拟电路或者用电子元件搭建一个简单的电路进行分析。



以上的Nyquist图可以从跟横轴的交点(只是接近)读到欧姆电阻大概是50.589 Ω , 跟等效电路的 R_0 相差不大。这是由于电路中不存在电感, 高频区没有受到电感的影响。但实际上电池的多层结构和卷绕结构使电池不可避免地存在电感, 电感的存在使Nyquist图高频区形状发生变化。

我们在模拟电路中增加一个电感L0, L0的值分别是100nH、500nH、1uH。

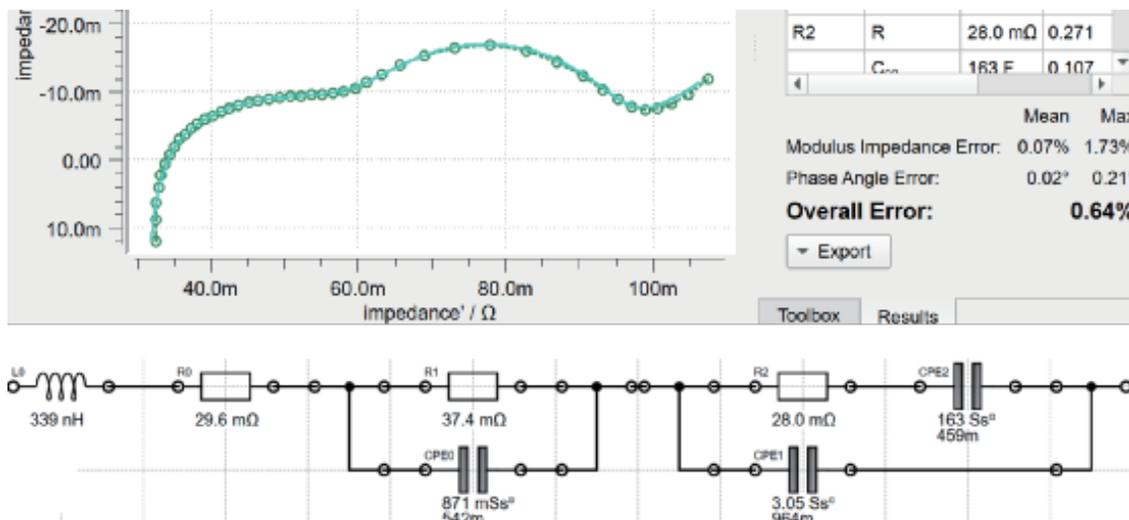


Nyquist图跟横轴的交点变成了63mΩ、85mΩ、104mΩ, 跟实际的50mΩ相差很远。

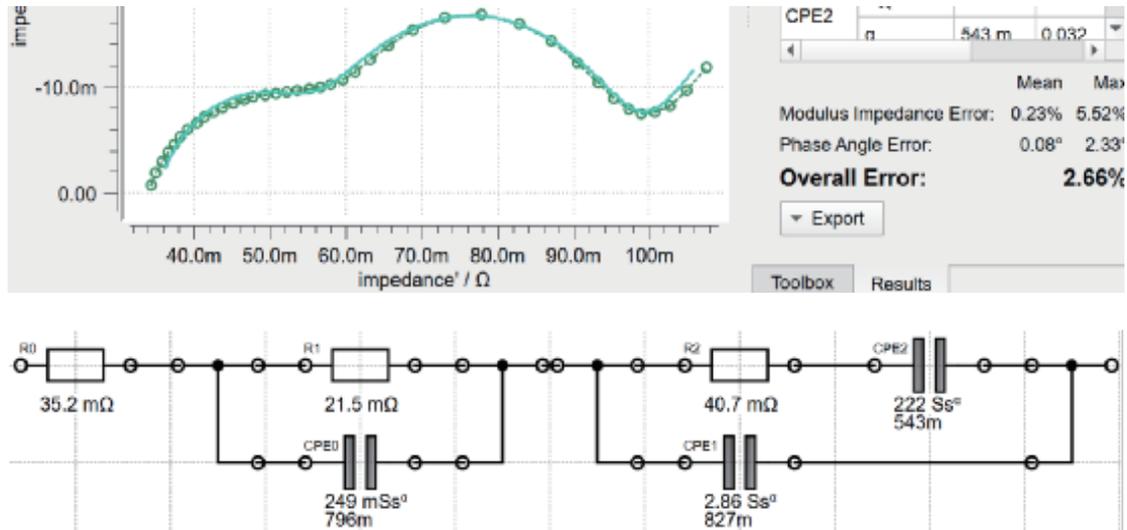
此外, 有的人会问, 是不是把第四象限的感抗线删除就可以不用拟合电感了? 答案是不能, 其实从上图就可以看出, 电感的影响效果不只是在第四象限多了跟长线, 它会影响到第一象限的很大一部分区域。

举个例子, 下图是一个18650电池的eis图。

如果用以下这个电路图拟合, 错误率是0.64%。



如果把第四象限的点切除掉, 电路图也去掉电感元件, 错误率增大到2.66%。也就是这样拟合不准确。



结论:

对于有电感存在的样品(绝大部分电池都有电感)要得到准确的欧姆电阻就需要用等效电路拟合的方法算出来, 直接读Nyquist图跟横轴的交点是不准确的。拟合时删除第四象限的点不用电感元件拟合也是不准确的, 因为电感的影响效果会延续到第一象限, 如果第四象限的线太长, 删除掉一部分是可以的, 保留3个点以上可以使拟合更准确。