

3PEAK 电源频率响应系列文章一：您的电源频率响应测试方法正确吗？

3PEAK 电源频率响应系列文章一：您的电源频率响应测试方法正确吗？

张精宇 (AE) 2024.07.10

电源频率响应测试一般使用网络分析仪或者频响仪进行，其测试结果通常以对数频率特性曲线的形式呈现，测得的曲线被称为波特图，如下 Figure 1-1 所示。

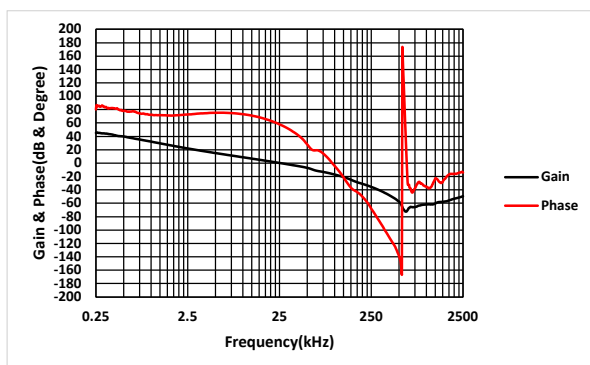


Figure 1-1

如 Figure 1-1 所示，波特图中包含两条曲线，分别称为增益曲线和相位曲线，（或者称为幅频特性曲线和相频特性曲线），它们反映了电源对不同频率正弦波扰动的响应情况，因而也称为频率响应。电源工程师可能常有疑问，为什么我的电源波特图测试结果不符合预期，但通过示波器测试电源的负载阶跃响应却又是符合预期的呢？要回答这个问题，我们需要理解清楚电源频率响应测试的基本原理。Figure 1-2 展示了 3PEAK 公司在实验室测试开关电源产品 TPP60508 波特图的场景。TPP60508 是 3PEAK 正在量产的一款异步降压转换器产品，

峰值电流控制模式，支持 4.5V 至 60V 宽输入电压范围，电流规格为 5A。

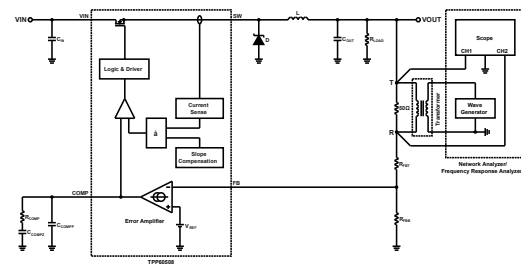


Figure 1-2

如 Figure 1-2 所示，电源波特图测试的基本原理是，将环路从输出端断开，接入 50Ω 电阻，利用网络分析仪或频响仪内置的函数发生器产生不同频率的正弦波扰动经变压器电气隔离之后注入到 50Ω 电阻两端，然后再将 50Ω 两端的响应信号送回到网络分析或频响仪内置的示波器中进行幅度和相位的解析，最终将测试结果（即波特图）呈现给用户。我们知道，系统的稳定性分析是基于某一稳态工作点进行的，因此在进行波特图测试时，从 50Ω 电阻两端注入到电源系统的正弦波扰动不能破坏其线性响应工作状态，即，需要保证 Figure 1-2 中的误差放大器和脉宽调制器均工作于线性区。那么

3PEAK 电源频率响应系列文章一：您的电源频率响应测试方法正确吗？

在实际测试中如何判断从 50Ω 两端注入到环路的扰动是否正确呢？一个简单的办法是通过示波器观察测试波特图全过程中流过电感的电流波形，其电感电流峰值的包络波形状和频率应当与注入到 50Ω 两端的正弦波扰动相一致，只有幅度和相位存在差异，而幅度和相位的差异正是电源工程师所关心的频率响应的内容。如果观察到电感电流峰值的包络信号不符合上述特征，而是发生了失真，那么可以判定注入到 50Ω 两端的扰动是不恰当的，对应得到的波特图也就是不正确的。从 Figure 1-1 所示的波特图上看，在低频下，电源系统的增益很高，因此注入到 50Ω 两端的正弦波扰动的幅度可以适当放大一些以提升测试的准确性，而随着频率增高，电源系统的增益逐渐降低，因此注入到 50Ω 两端正弦波扰动的幅度需要适当降低，以确保电源系统工作在线性状态，这就是在电源波特图测试中经常被提及的“分段注入法”。通过以上分析，相信大家很快能对 Figure 1-3 和 Figure 1-4 对应的波特图测试过程做出判断。

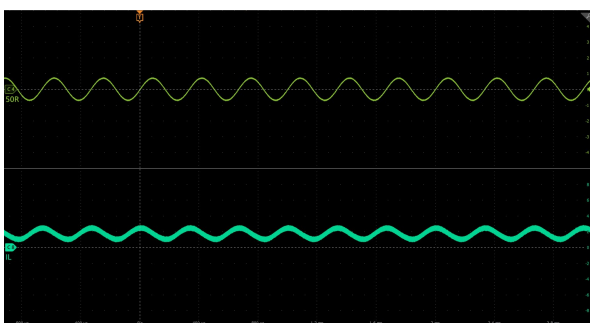


Figure 1-3



Figure 1-4

Figure 1-3 信号注入合适，Figure 1-4 信号注入过大导致系统不稳定。

进一步地，用公式简明扼要地说明 Figure 1-2 所示电源波特图测试的基本原理，即，

$$G = \frac{V_T}{V_R}, \text{ 其中}$$

$$V_{50\Omega} = V_T - V_R$$

最后需要指出的是：

1. Figure 1-2 中函数发生器输出的正弦波扰动为何需要经过变压器电气隔离之后注入再到 50Ω 两端，而不是直接注入到 50Ω 两端。其原因是，一般情况下，函数发生器的输出和示波器的输入是共地的，他们都通过机箱接到大地，如果不使用变压器进行电气隔离将引起短路问题，不仅不能得到正确的波特图测试结果，而且可能会损坏待测电源系统，甚至可能损坏测试设备。
2. Figure 1-2 中的 50Ω 电阻可以是其他值么？答案是肯定的，只要该电阻的引入不会影响到待测电源系统的静态工作点并能够满足注入到该电阻两端的正弦波扰动带来的功耗即可，一般情况下，选取 10~50Ω 中的标称值，以 50Ω 最为常见。
3. Figure 1-2 中在 50Ω 两端注入的正弦波扰动的幅度在实际操作中到底如何选取呢？3PEAK 推荐在保证测试精度的情况下尽可能降低其幅度以提升电源系统静态工作点的稳定度，即，测试电源波特图时应尽可能保证输出电压的纹波远远小于稳态时的输出电压值。

3PEAK 电源频率响应系列文章一：您的电源频率响应测试方法正确吗？

4. Figure 1-2 中电源输出端以电阻作为负载进行示意。在电源工程师实际操作中往往使用电子负载，此时需注意将电子负载设置为恒流模式，请勿使用动态负载模式，否则将无法获得正确的测试结果。特别地，如果在整机板上测试电源系统的波特图，需保证该电源后级负载为稳恒静态负载。

Figure 1-2 中展示的波特图测试原理提示了电源工程师在没有网络分析仪或频响仪的条件下，如何仅依靠示波器，函数发生器和变压器来实现电源波特图的测试评估。