

线性稳压器系列、开关稳压器系列

通过频率特性分析仪 (FRA) 测试相位余量的方法

线性稳压器 IC 以及开关稳压器 IC 在相位余量测试时，曾经使用示波器或网络分析仪来分析测试的方法，需要通过高频变压器，使信号发生器的信号浮地状态输入反馈回路。变压器的特性到低频为止并非线性，另外开关稳压器，输出波形中包含的开关频率，不滤除的话就得不到正确的结果。但在这个应用中，我们采用日本 NF 公司的频率特性分析仪 (Frequency Response Analyzer 以下简称 FRA)，介绍可以非常简单地测试相位余量。

曾经的测试方法

Figure 1 使用示波器和信号发生器测试相位余量的例子。为了向反馈回路内输入正弦信号，使用高频变压器使信号源浮地。

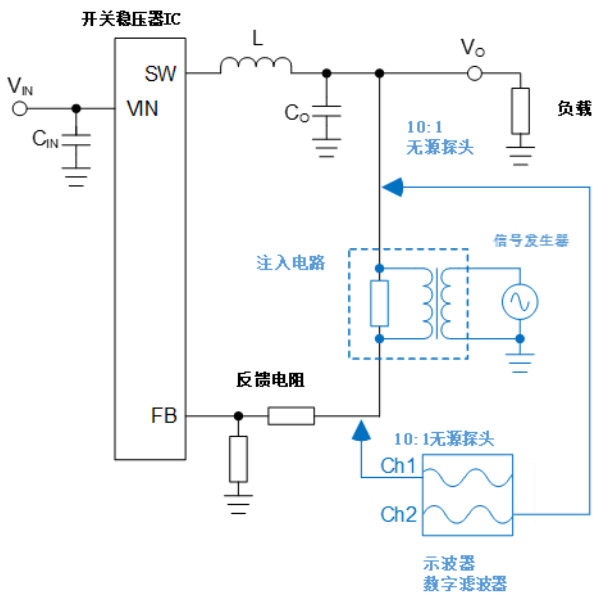


Figure 1 使用示波器进行测定的示例

使用示波器 CH1 监控反馈回路的输入端，CH2 监控反馈回路的输出端。为减少测试波形中开关稳压器 IC 产生的开关噪音影响，打开示波器的数字低通滤波器 LPF，尽力去除噪音。调节信号发生器的频率，使输入输出信号的振幅保持一致 (CH1 - CH2 = 0dB)。这时候，CH1 和 CH2 的正弦波幅值以及相位余量，可以通过示波器读出。

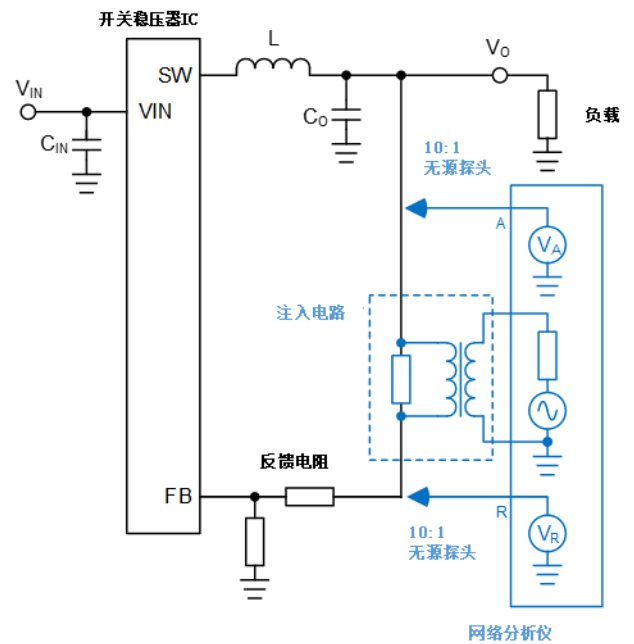


Figure 2 使用网络分析仪进行测定的示例

Figure 2 使用网络分析仪测定相位余量的例子。和前面用示波器的例子相同，用网络分析仪测定，也需要用到变压器隔离输入正弦信号。如图，网络分析仪的输入端 R 接到反馈回路输入端，网络分析仪的输入端 A 接到反馈回路输出端，通过 A/R 可以测得相应的相位余量。大范围的频带测试场合，要充分考虑到隔离变压器的影响。

FRA 的测定方法

Figure 3 是 FRA5087 的外观。Figure 4 是 FRA 测定相位余量的示例。FRA 自带的信号发生器输出端与设备本身是隔离的 (Figure 5)，正弦信号可以直接输入反馈回路。所以可以不用考虑变压器的特性影响。

1. 在信号注入位置，采用在反馈回路内的信号传输方向的输入阻抗 Z_{IN} 高，反方向的输出阻抗 Z_0 低的点。当测试线性稳压器和 DC/DC 开关稳定压器的相位余量时，可以在反馈电阻和输出 V_0 之间注入信号。

注入信号时使用电阻，将信号源输出连接到注入电阻 R_i 的两端。 R_i 的阻抗需要满足 $Z_{IN} \gg R_i \gg Z_0$ 的条件，可以在不破坏原环路特性的情况下进行测量。NF 公司推荐的电阻值是 $50 \Omega \sim 100 \Omega$ 。

2. 从注入电阻 R_i 的两端用屏蔽线取出信号，连接 FRA 的 CH1、CH2。FRA5087 的 CH1、CH2 输入阻抗为 $1M \Omega$ ($C=25pF \pm 5pF$)，容许最大输入为 AC+DC 为 $\pm 350V$ ，绝缘耐压为 $250V_{rms}$ ，所以大部分情况下可以直接连接。FRA5087 可以测量 $10MHz$ 以内的电压和相位，但在高频条件下精确测量相位时，请将连接到各信道输入的信号电缆设为同一种类，相同长度。用高电压测量时，请注意连接电缆的绝缘耐压。

另外，通过使用可选的环路增益测量适配器 (Figure 6)，连接会更加简单 (Figure 7)。

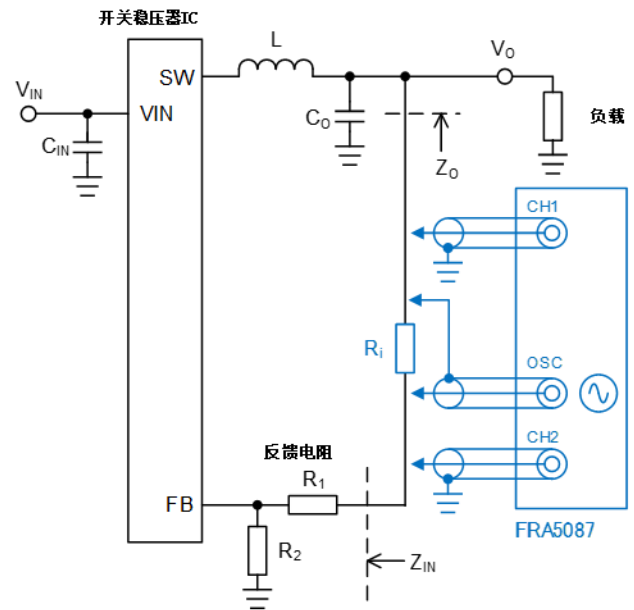


Figure 4 使用 FRA 进行测定的示例



Figure 5 各端子与壳体之间的电气绝缘耐压

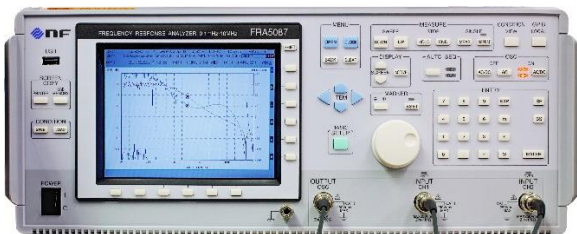


Figure 3 FRA5087 外观



(照片: NF 电路设计接头)

Figure 6 环路增益测定探头

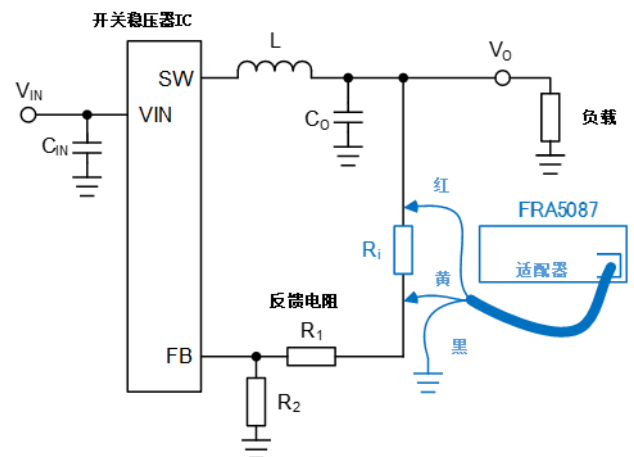


Figure 7 使用环路增益测量适配器安装示例

3. 基本设定使用 BASIC SETUP 按钮就可以。



Figure 8 BASIC SETUP 按钮

4. 设置扫动频率范围的上限和下限。

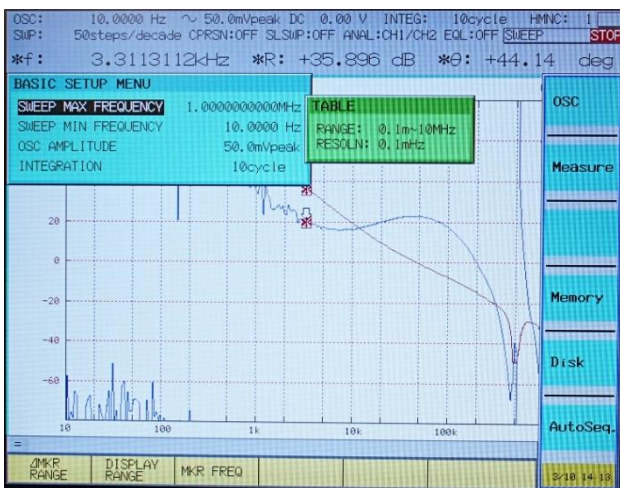


Figure 9 频率上限设定画面

5. 在环路的线性工作范围内确定振荡信号的输出电平。设定振荡信号输出电平 (Figure 11), 开启输出 (Figure 12)。变更信号发生器菜单值时, 请注意在再次按下 AC/DC ON 键之前实际的输出值不会变更。振荡器输出等级的决定方法将在后面叙述。

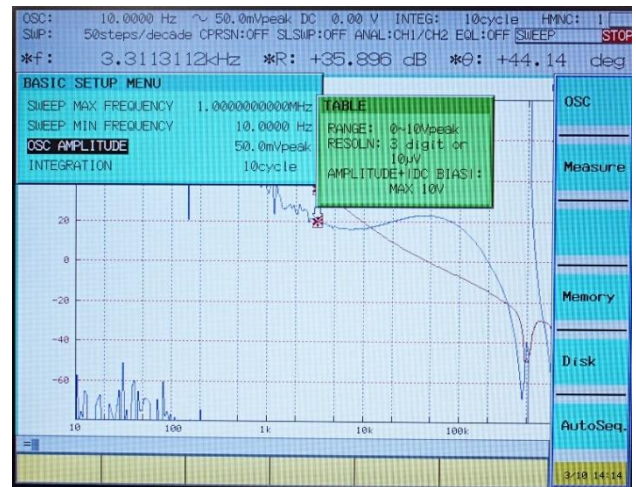


Figure 11 信号发生器设定画面

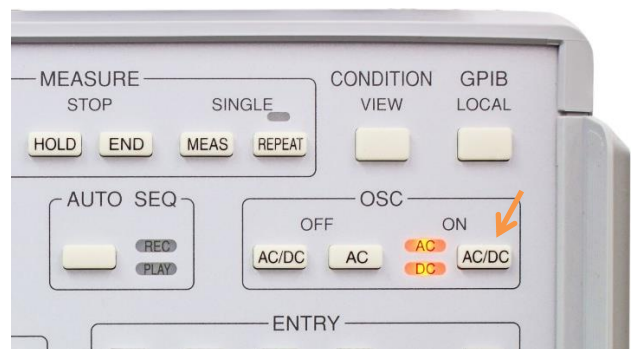


Figure 12 振荡信号输出 ON 按钮

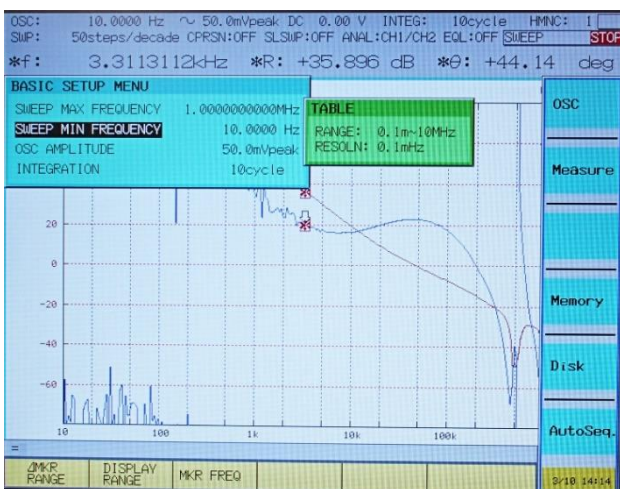


Figure 10 频率下限设定画面

6. 按下 SWEEP DOWN 按钮开始测试。



Figure 13 SWEEP DOWN 按钮

7. 用标记钮移动标记以读取相位余量。将标记移动到 GAIN (红色线条) 为 0dB 的位置。标记显示的 *θ 部分为相位余量值。

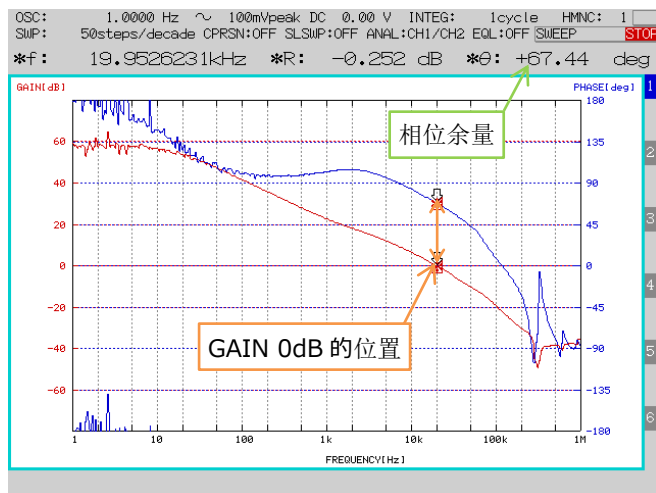


Figure 14 移动标记钮读取相位余量

8. 使用标记钮移动标记以读取增益余量。将标记移动到 PHASE (蓝色线) 为 0deg 的位置。标记显示的 *R 部分为增益余量值。

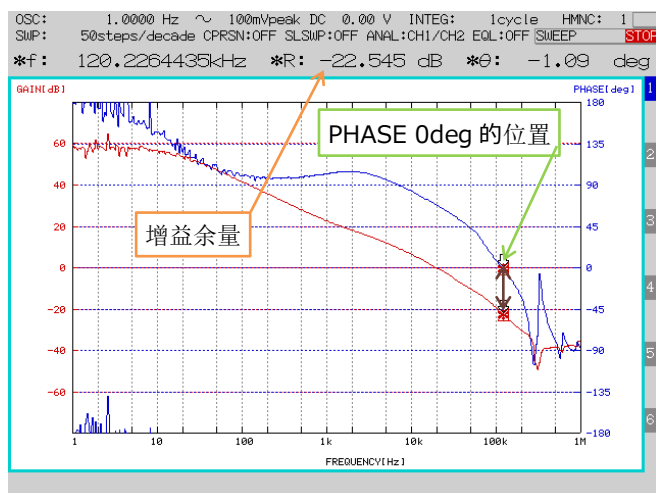


Figure 15 移动标记钮读取增益余量

9. 振荡信号输出幅度的设定方法

需要在环路线性工作的范围内确定振荡输出电平。如 Figure 16 那样，用示波器监视输出 V_o 。向反馈回路注入适当信号时，会观测到如 Figure 17 所示正弦波。当注入信号幅值过大时，如 Figure 18 所示，会观察到失真的波形。这样无法测量正确的相位特性。

接着将振荡输出幅值在 10mVpeak~500mVpeak 范围变化时，相应的相位特性如 Figure 19~Figure 28 所示。如果注入幅值小，则会被噪声掩埋，无法进行测量。注入幅值过大的话，反馈回路就会饱和，所以特性会发生变化。从这个例子来看，如

果是只看相位余量的话，能够读取到数十 kHz 的数据就可以了，所以适当的振荡输出幅值是 10mVpeak~100mVpeak。在 200mVpeak 中，高频特性出现了变化，因此可以判断环路开始饱和。另外，想要评价低频时环路特性，合适的振荡输出幅值为 60mVpeak~100mVpeak。

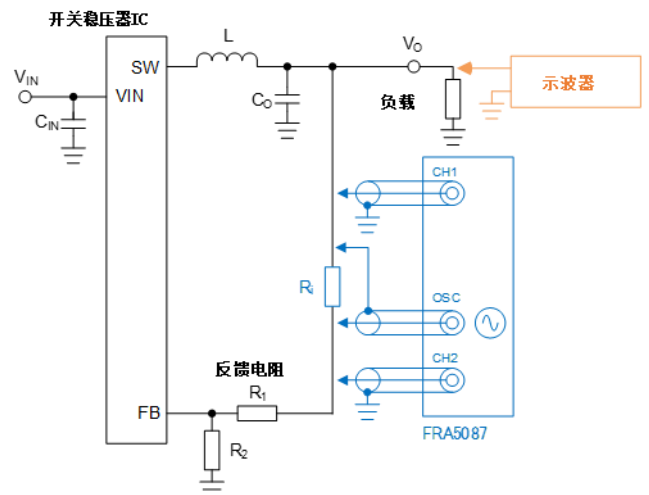


Figure 16 用示波器检测输出波形

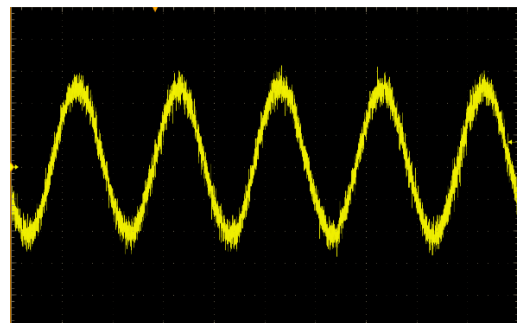


Figure 17 注入幅值合适时，线性动作波形

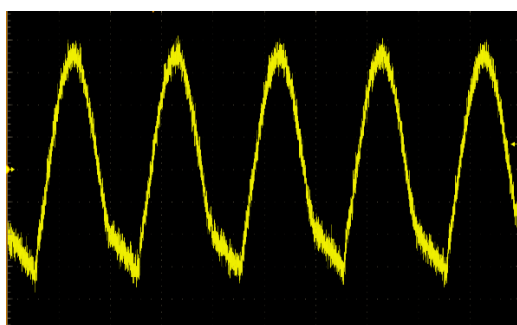


Figure 18. 注入幅值过大时，输出波形变化

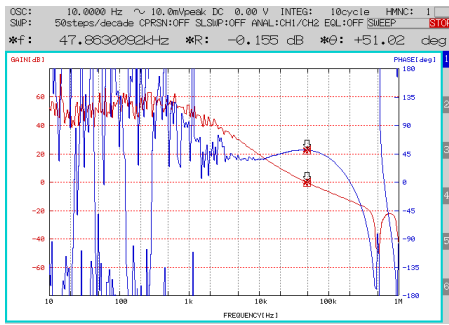


Figure 19 振荡输出幅值 10mVpeak

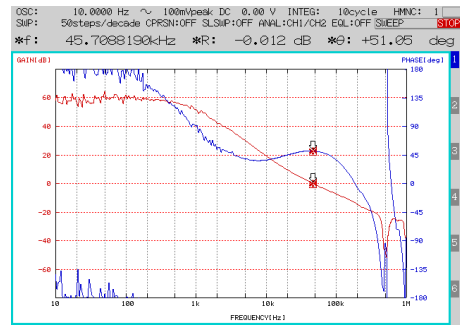


Figure 24 振荡输出幅值 100mVpeak

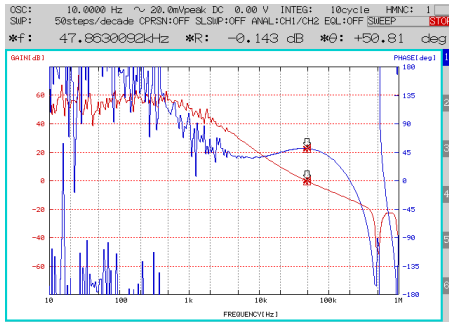


Figure 20 振荡输出幅值 20mVpeak

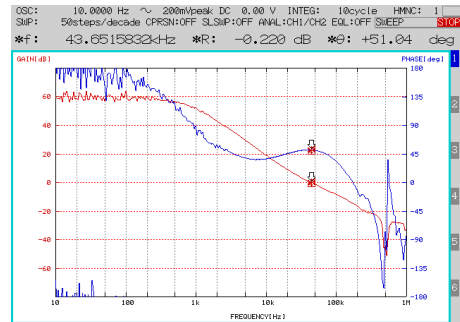


Figure 25 振荡输出幅值 200mVpeak

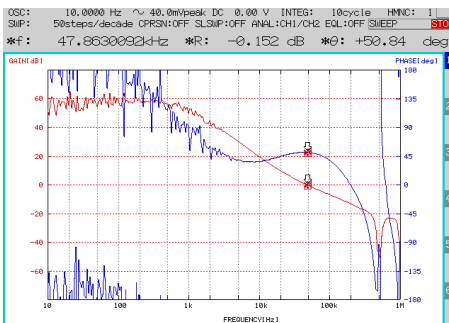


Figure 21 振荡输出幅值 40mVpeak

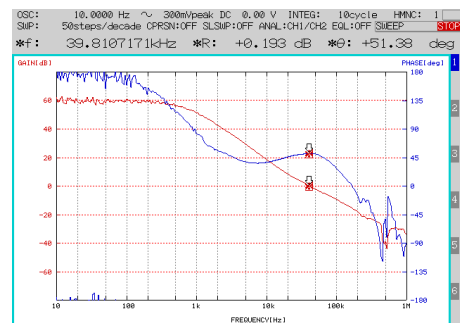


Figure 26 振荡输出幅值 300mVpeak

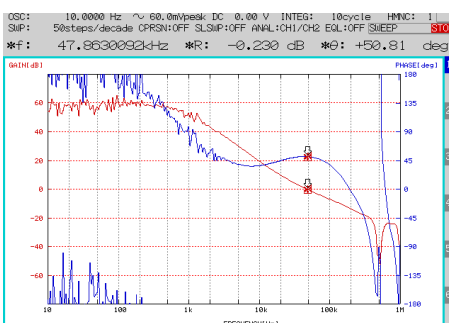


Figure 22 振荡输出幅值 60mVpeak

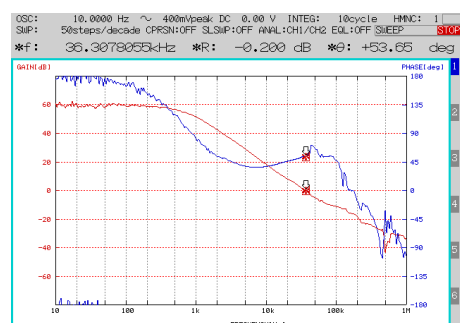


Figure 27 振荡输出幅值 400mVpeak

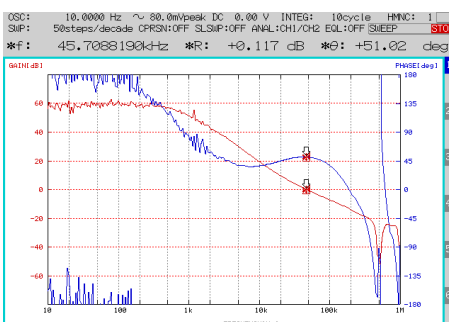


Figure 23 振荡输出幅值 80mVpeak

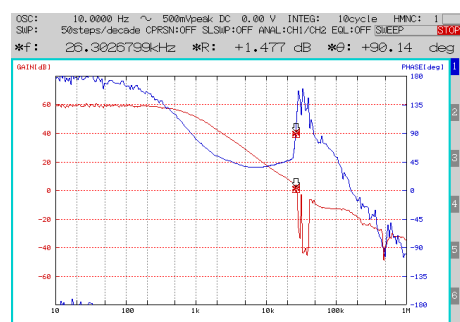


Figure 28 振荡输出幅值 500mVpeak

● 稳定性的判断

在 Table 1 中显示相位余量、增益余量和响应速度的关系。相位余量、增益余量和步进响应处于相互权衡关系，因此要根据电源特性需求来改变判断基准。

在响应速度中如果要避免出现振铃的电源情况下，需要调整 IC 的相位以获得相位余量 60deg 以上、增益余量 10dB 以上的特性。但是，此时负荷响应特性变慢。

相位余量	增益余量	状态	
		响应速度	振铃
20 deg	3 dB	快	大
30 deg	5 dB	快	稍大
45 deg	7 dB	快	有一点
60 deg	10 dB	稍慢	没有
72 deg	12 dB	慢	没有

Table 1 相位余量、增益余量与响应速度的关系

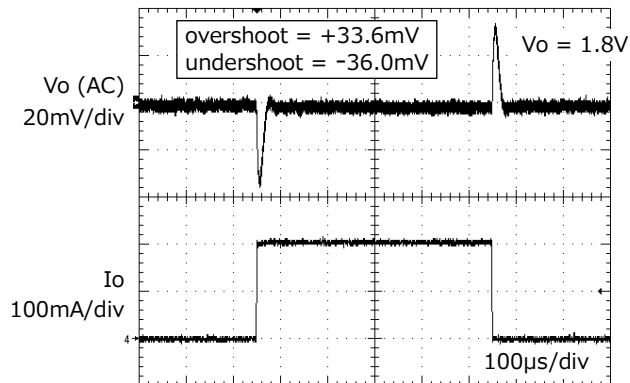
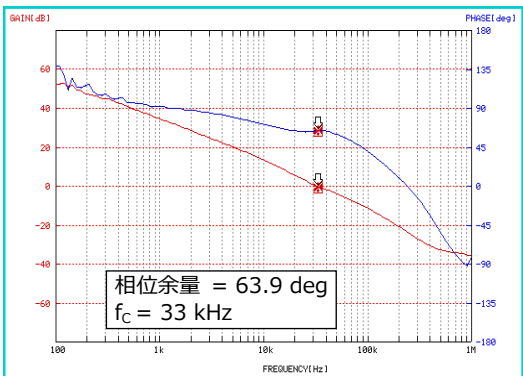
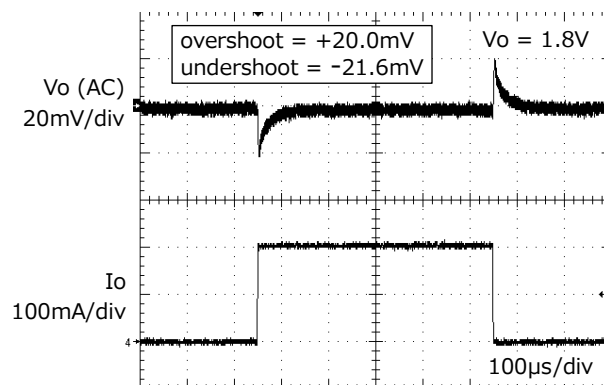
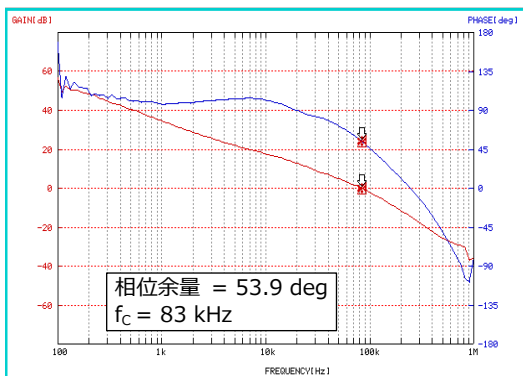
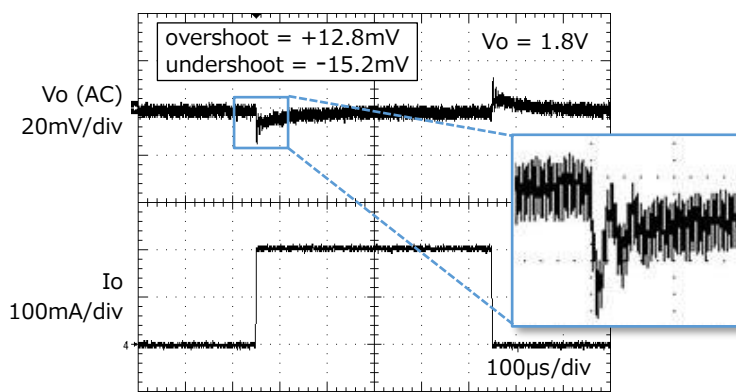
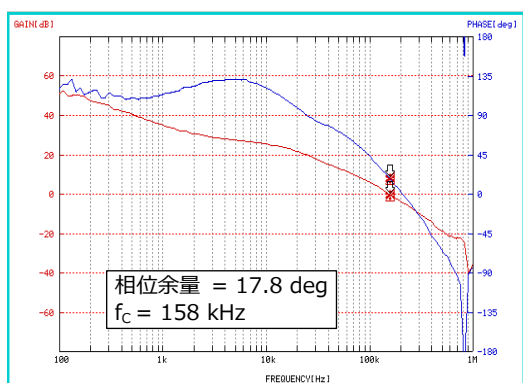


Figure 29 相位余量与响应速度特性实例

负荷响应特性需要高速的话，以相位余量 45deg 左右为目标进行 IC 的相位调整。但是这个时候，需要考虑温度特性等偏差，在最坏情况下相位余量最好在 30deg 以上，增益余量 5dB 以上。如果设定余量小于该余量，有可能发生异常振荡。

Figure 29 表示相位余量和响应速度特性的实测示例。相位余量 17.8deg 时的波形，负荷响应性好（输出电压的过冲、下冲都较小），但可以观测到振铃。由于各种偏差，可能会发生异常振荡。中段为相位余量 53.9deg 时的波形，输出波形无振铃，负载响应特性相对输出电压而言在+1.1%、-1.2%，效果良好。下段是相位余量 63.9deg 时的波形，输出波形无振铃稳定，但负荷响应特性相对于输出电压恶化到+1.87%，-2.0%。如果是对负荷响应特性没有要求的电源，因为从中段开始相位特性稳定，所以采用中段和下段的特性也没有问题。

FRA 的详细使用方法，请参考 NF 公司的产品说明书。

参考资料：

- (1) 频率特性分析仪 FRA5097 使用说明书 2010（NF 电路设计 Blog）
- (2) 频率特性分析仪 技术解说集 2010（NF 电路设计 Blog）
- (3) 通过频率特性测定进行开关电源的稳定性评价 2011（NF 电路设计 Blog）
- (4) 通过 LF 网络分析仪进行 DCDC 转换器的特性评价 2008（Agilent Technologies、现：Keysight Technologies）

Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.com/contact/>