

是德科技感恩月 第三届

梦幻实验台



梦幻试验台直播安排

- 10:00-10:05 Roc 是德科技感恩月介绍
- 10:05-11:25 黄敏超博士
开关电源环路稳定性设计理论基础及整改案例
- 11:25-11:50 在线解答
- 11:50-12:00 直播抽奖

被黄敏超老师选中语音
解答问题的网友，将获
赠“神秘礼品”一份

一等奖：梦幻试验台
示波器+电源+台式万用表
+手持万用表+LCR表

填写问卷调查，
00+份礼品等着您



微信扫描二维码
注册感恩月活动
参与梦幻试验台抽奖

2018 是德科技感恩月

仪器行业最大型的线上活动!!



1. 首日直播秀，一起嗨翻天
2. 每日抽大奖，天天有期待
3. 梦想试验台，就是这么壕
4. 看每日分享，做技术达人
5. 测试有积分，凭实力拿奖
6. 武能上焊台，文能写文章

针对感恩月注册用户抽奖：
连续22个工作日

奇数日奖品
偶数日奖品



一等奖 一名
100MHz DSOX1102G示波器



二等奖 两名
手持LCR表 U1733C



三等奖 七名
小米智能体温计



一等奖 一名
80W 三路输出电源E36311A



二等奖 两名
手持万用表 U1281A



三等奖 七名
小米智能体温计

2018 是德科技感恩月

仪器行业最大型的线上活动!!

示波器每日技术分享

1. 首日直播秀，一起嗨翻天
2. 每日抽大奖，天天有期待
3. 梦想试验台，就是这么壕
4. **看每日分享，做技术达人**
5. 测试有积分，凭实力拿奖
6. 武能上焊台，文能写文章

有线远程控制和波形存取
无线远程控制和波形存取
示波器快速自动化测试搭建
基于SCPI指令编程基础
10分钟学会VB读取示波器图片

远程控制周

如何捕获所有未知异常?
PWM波最后一个下降沿为什么
不能用normal触发到?
示波器静电防护
示波器清洁

常见问题周

示波器探头及其附件
探头的基本参数和指标
电压探头的分类和选取
探头偏置能力和动态范围
电流探头的分类和选取

示波器探头周

抖动和眼图
时钟恢复的意义
一致性测试的基本概念
影响一致性测试的因素
采样示波器基础知识

高速数字基础周

2018 是德科技感恩月

仪器行业最大型的线上活动!!

电源及通用测量技术分享

1. 首日直播秀，一起嗨翻天
2. 每日抽大奖，天天有期待
3. 梦想试验台，就是这么壕
4. 看每日分享，做技术达人
5. 测试有积分，凭实力拿奖
6. 武能上焊台，文能写文章

评估和加速电池寿命验证
IoT 功耗精确测量和分析
精密DC-DC一体化测试
IoT芯片模块传感器功耗特征自动提取
IoT电池自放电精确快速测量
IoT 高精度测试周

无线连接的数据采集仪
Trueform 逐点与数字合成DDS
万用表电流档位对测试的影响
快速实现高精度并行数据采集
二极管、三极管的I-V快速扫描
自动化测试周

直流电源的CV和CC
电源内阻
“新”交流电源分析仪
AC电源的启动浪涌电流测量
超低纹波噪声测量
供电电源周

小电阻精密测量
pA电流和高阻测量
锂电池交流内阻
SMU源表的脉冲扫描和触发
电源源表带功率任意波形输出
电阻测量和源表周

2018 是德科技感恩月

仪器行业最大型的线上活动!!

1. 首日直播秀，一起嗨翻天
2. 每日抽大奖，天天有期待
3. 梦想试验台，就是这么壕
4. **看每日分享，做技术达人**
5. 测试有积分，凭实力拿奖
6. 武能上焊台，文能写文章

射频仪表每日技术分享

RBW是什么?
输入衰减器有什么作用?
你所不知道的Marker功能
谐波测量原来So Easy!
测量调制信号如何选择RBW?
信号源频谱仪基础周

怎么用频谱仪测量微弱信号?
FSK调制的测试雷区该怎么避?
物联网射频测试该怎么做?
十张图搞懂NB-IoT射频测试
十张图搞懂EMI预兼容测试
信号源频谱仪应用周

如何测量无线充电的效率
使用ENA测量滤波器
测量液体材料的介电常数
如何使用LCR表测量元器件
如何使用LCR表测量平板材料
网分和LCR应用周

FieldFox操作系列视频之1
FieldFox操作系列视频之2
FieldFox操作系列视频之3
FieldFox操作系列视频之4
FieldFox操作系列视频之5
手持射频表操作周

2018 是德科技感恩月

仪器行业最大型的线上活动!!

微信扫描二维码
注册感恩月活动
参与梦幻试验台抽奖



1. 首日直播秀，一起嗨翻天
2. 每日抽大奖，天天有期待
3. **梦想试验台，就是这么壕**
4. 看每日分享，做技术达人
5. 测试有积分，凭实力拿奖
6. 武能上焊台，文能写文章

直播当天一等奖升级为：
示波器+电源+万用表+手持万用表+LCR表



陈为老师

3月7号

高频功率磁元件电磁参数与测

试技术

黄敏超博士

3月20号

开关电源环路稳定性设计与判断



2018 是德科技感恩月

仪器行业最大型的线上活动!!

1. 首日直播秀，一起嗨翻天
2. 每日抽大奖，天天有期待
3. 梦想试验台，就是这么壕
4. 看每日分享，做技术达人
5. 测试有积分，凭实力拿奖
6. 武能上焊台，文能写文章

是德科技

当日问题 答题榜 我的答题

我的成绩 截止到3月31日

考试总分: 39分

当前排名: TOP 25

答题总时长: 21分12秒

已回答天数: 7天

未回答天数: 3天

每日答题记录

日期	积分	状态
2018年3月9日	+4	已完成
2018年3月8日	+6	已完成
2018年3月6日	+0	未完成
2018年3月2日	+3	已补答
2018年3月1日	+6	已完成

周排行

前十名奖品 Kindle

前三名奖品分别:

- 1. 独占鳌头
- 2. 技术之星
- 3. 技术之星
- 4. 技术之星
- 5. 技术之星

示

1、如果被派平接近的到这个信

不能

能

2、利用US下哪种排

A型L

B型L

Mini

Mini

大家在用示形转存到电脑波形远程保存的效率。那波形远程保存

总考分0分 平均时间: 0秒

总考分0分 平均时间: 0秒

确认提交

以USB线缆为例, 要使用USB标准B型(方口)连



开关电源环路稳定性设计 理论基础及整改案例



黄敏超^{博士}

中国电源学会理事
电磁兼容专委会委员
上海电源学会副秘书长

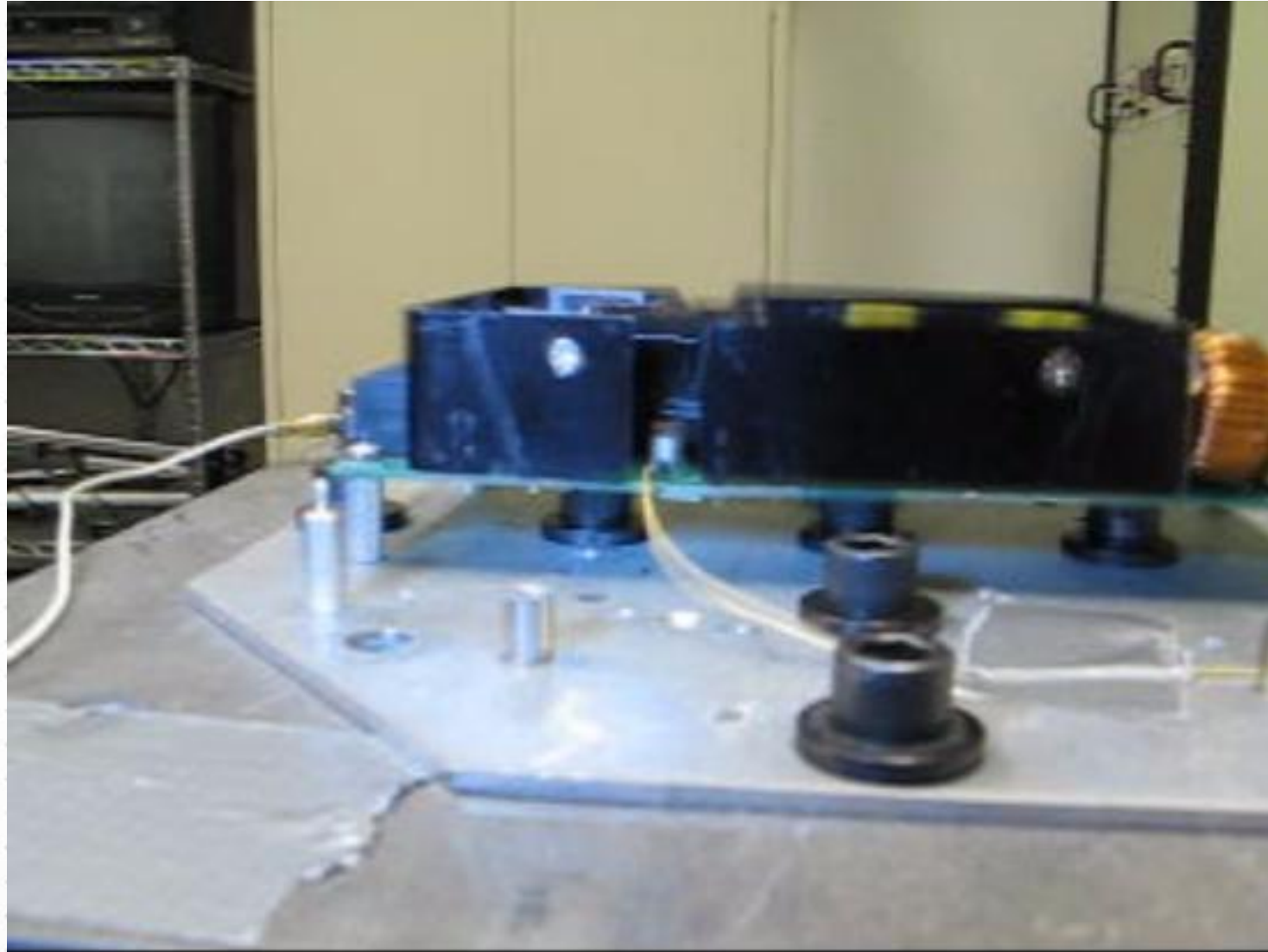


1934年大桥的垮塌





开关电源的机械谐振





充电器的震荡现象



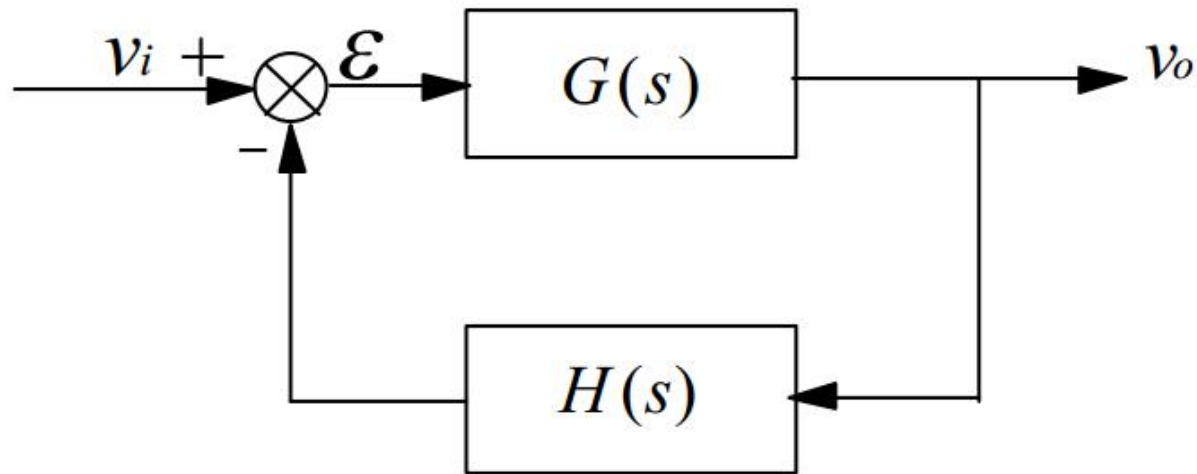


1. 如何判断控制环路的稳定性?
2. 动态测试需要注意什么?
3. 零极点如何对应相位和增益?
4. 如何分析PID补偿环节的零极点配置?
5. 震荡现象如何判断相位和增益余量?
6. 如何配置PID环节来增加稳定性?
7. 如何验证控制环整改后的效果?



如何判断控制环路的稳定性?

- 典型的闭环反馈架构



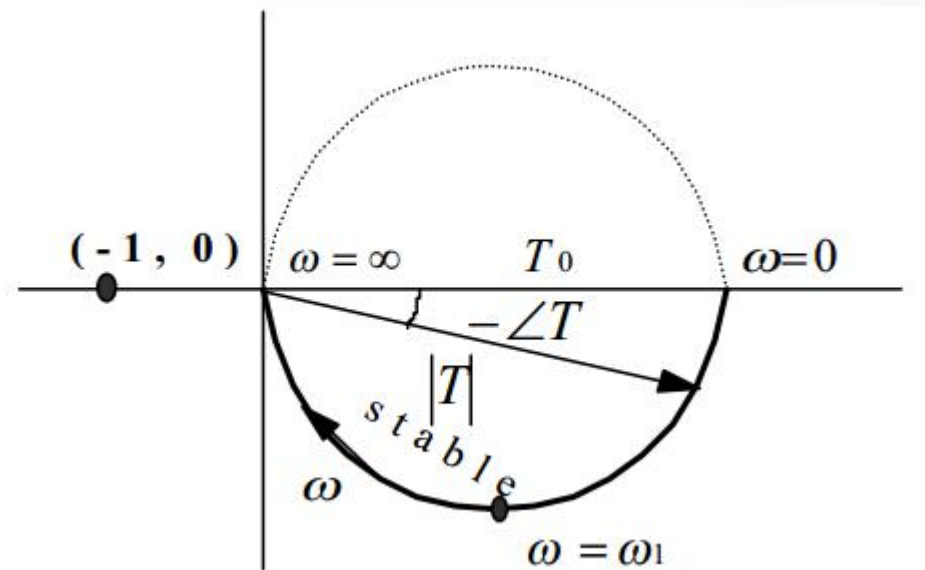
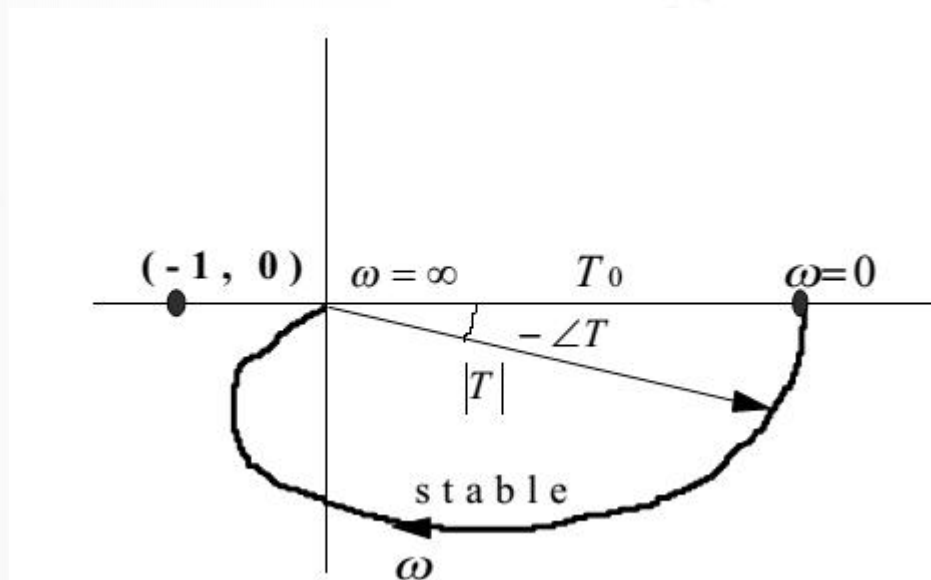
$$\frac{v_o}{v_i} = G_{CL}(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$



如何判断控制环路的稳定性?

➤ 内奎斯特判据

- a) 单极点系统（一阶）
- b) 双极点系统（二阶）



$$T = T_0 \frac{1}{1 + s/\omega_1}$$

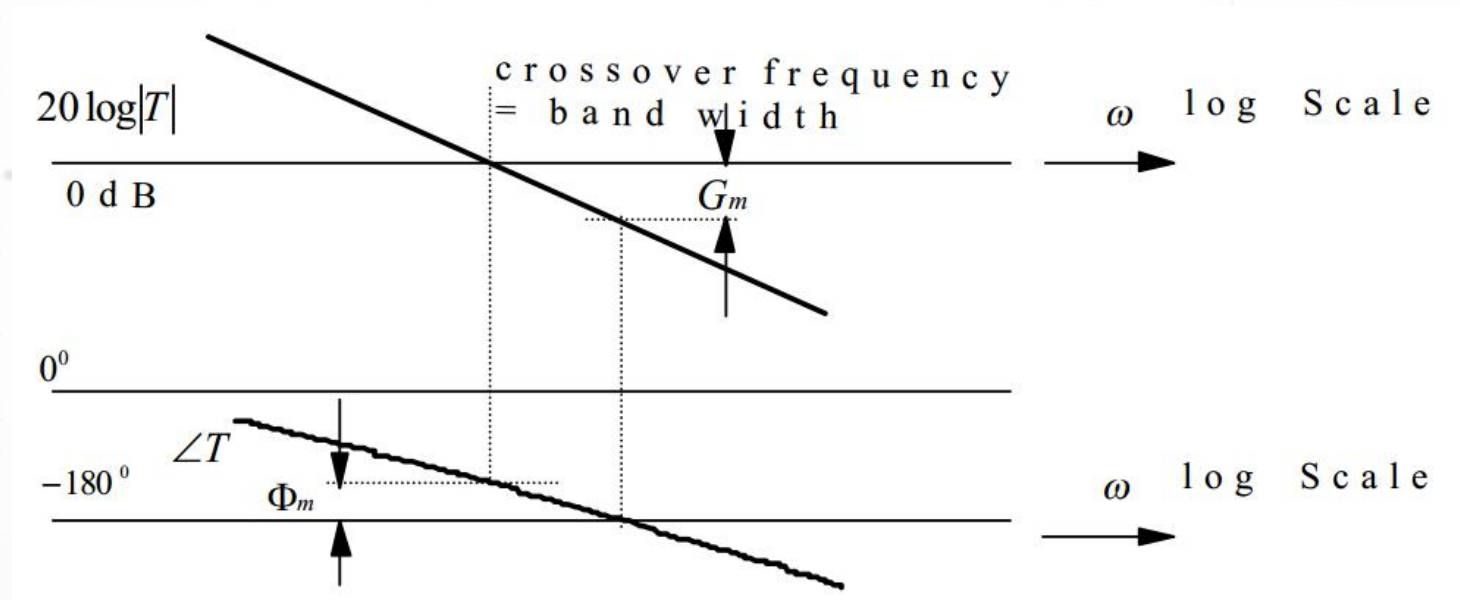
$$T = T_0 \frac{1}{(1 + s/\omega_1)(1 + s/\omega_2)}$$



如何判断控制环路的稳定性?

➤ 波特图

- a) 增益余量: 相位过零时的增益
- b) 相位余量: 增益过零时的相位





1. 如何判断控制环路的稳定性?
2. 动态测试需要注意什么?
3. 零极点如何对应相位和增益?
4. 如何分析PID补偿环节的零极点配置?
5. 震荡现象如何判断相位和增益余量?
6. 如何配置PID环节来增加稳定性?
7. 如何验证控制环整改后的效果?



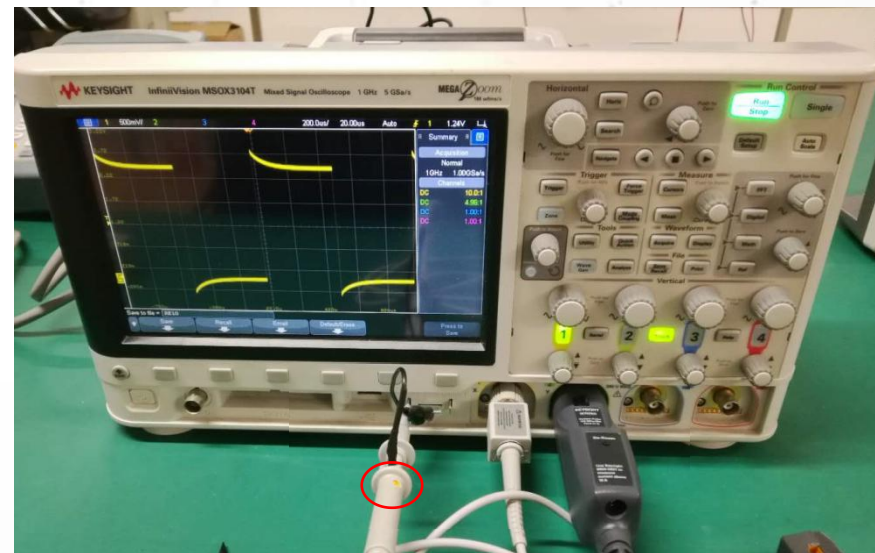
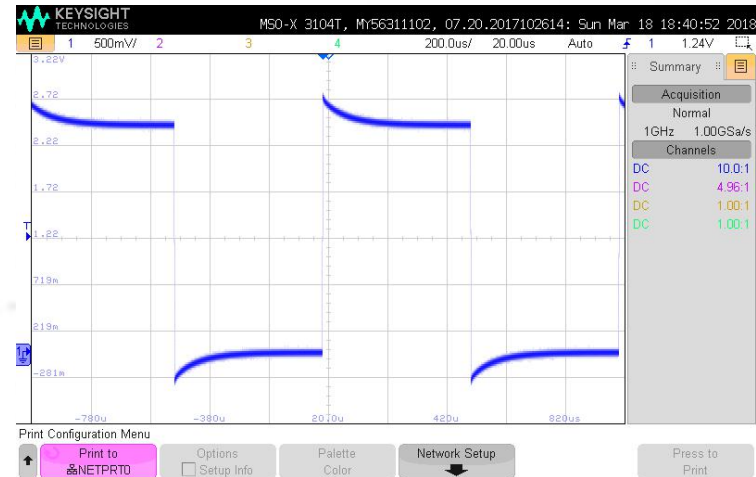
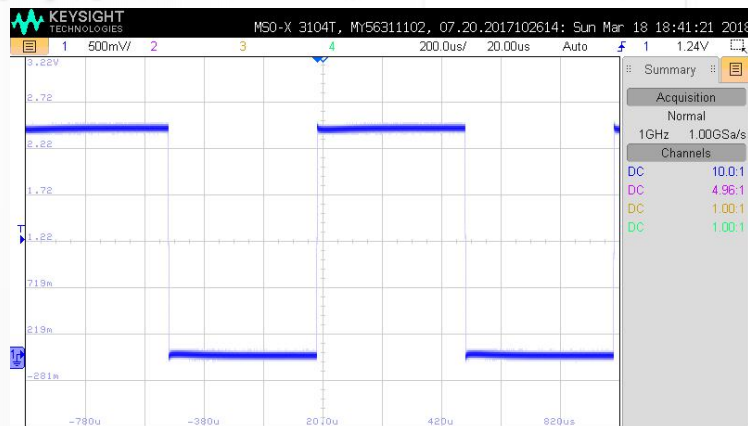
动态测试需要注意什么？

1. 示波器探头校准
2. 注入信号幅值选择



动态响应测试注意事项?

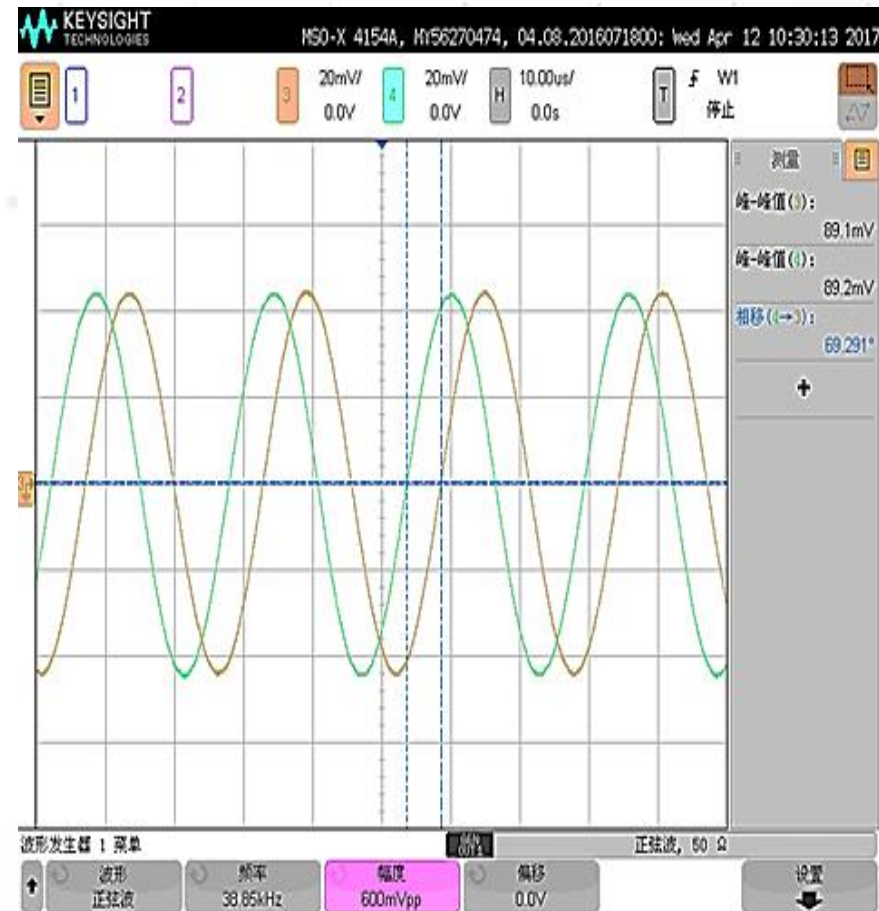
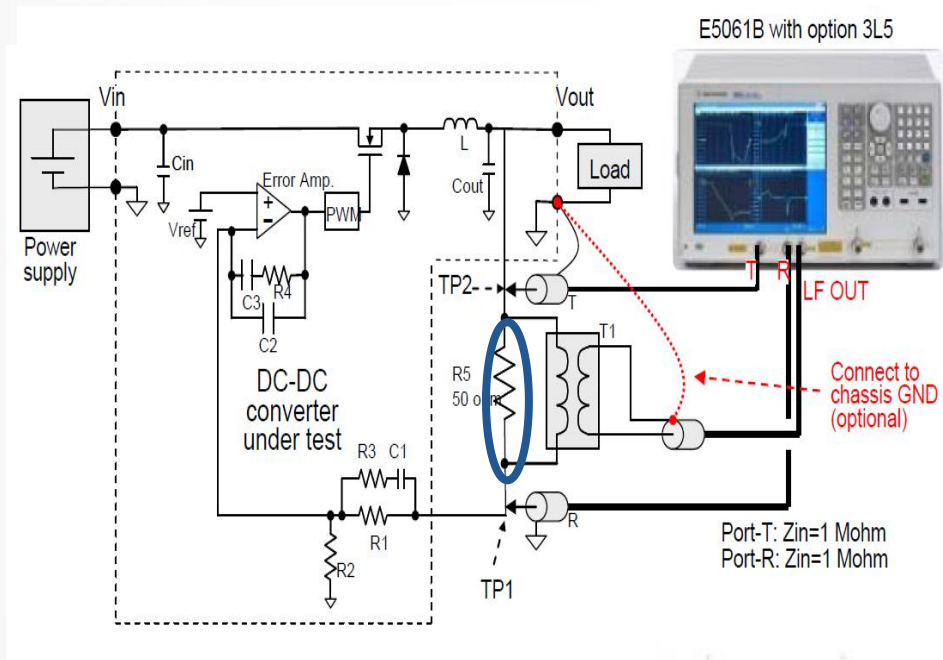
1. 示波器探头校准





动态响应测试注意事项?

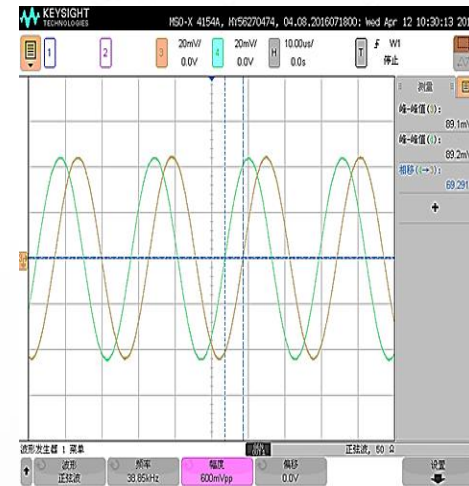
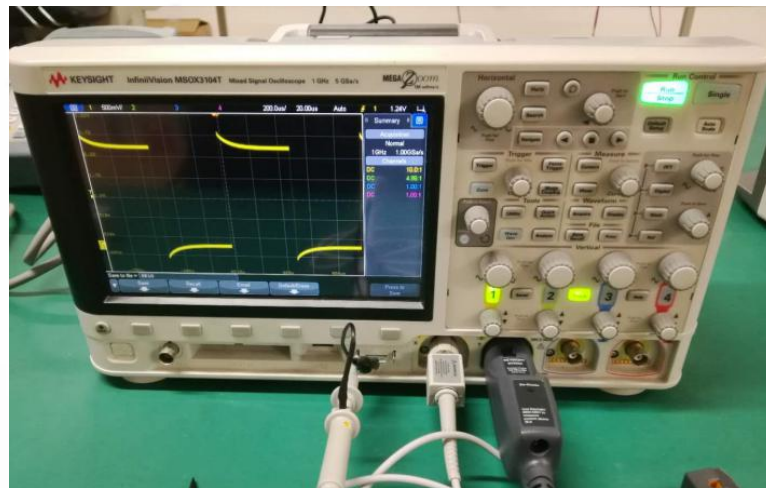
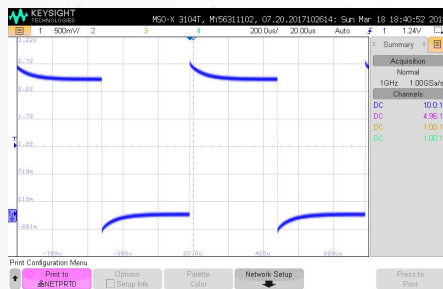
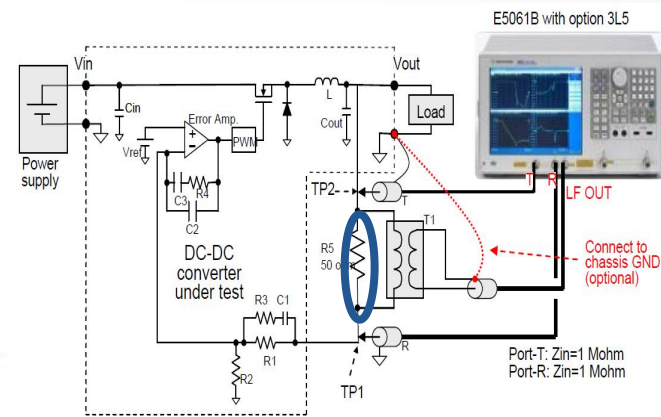
2. 注入信号幅值选择是否合理?





小结—动态响应测试注意事项

1. 探头校准
2. 注入信号幅值选择
3. 交流耦合与负载跳变频率



环路稳定性的理论与整改



1. 如何判断控制环路的稳定性?
2. 动态测试需要注意什么?
3. 零极点如何对应相位和增益?
4. 如何分析PID补偿环节的零极点配置?
5. 震荡现象如何判断相位和增益余量?
6. 如何配置PID环节来增加稳定性?
7. 如何验证控制环整改后的效果?

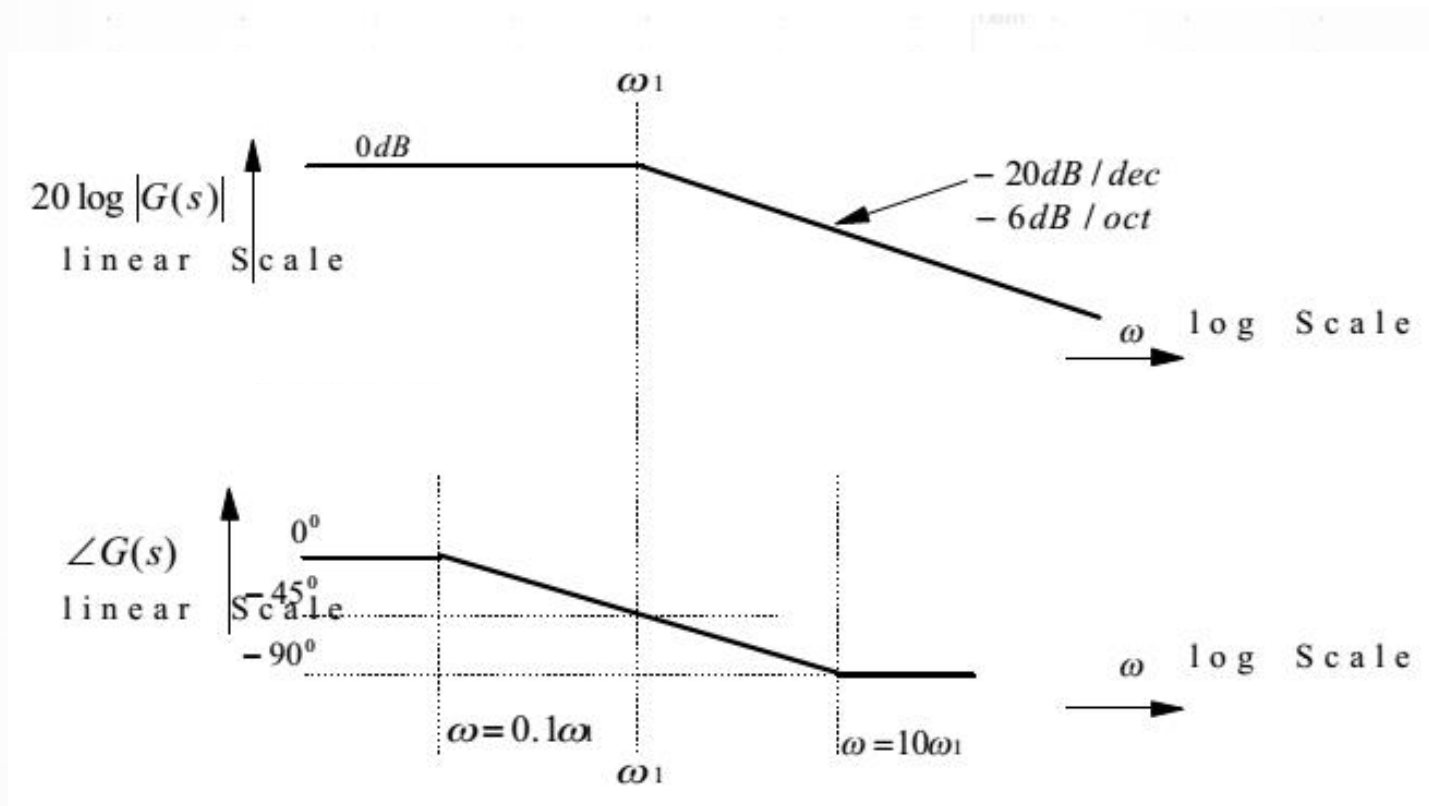


零极点如何对应相位和增益？

➤ 波特图

a) 单极点

$$20 \log |G(s)| = -20 \log \sqrt{1 + (\omega/\omega_1)^2} \text{ dB}$$



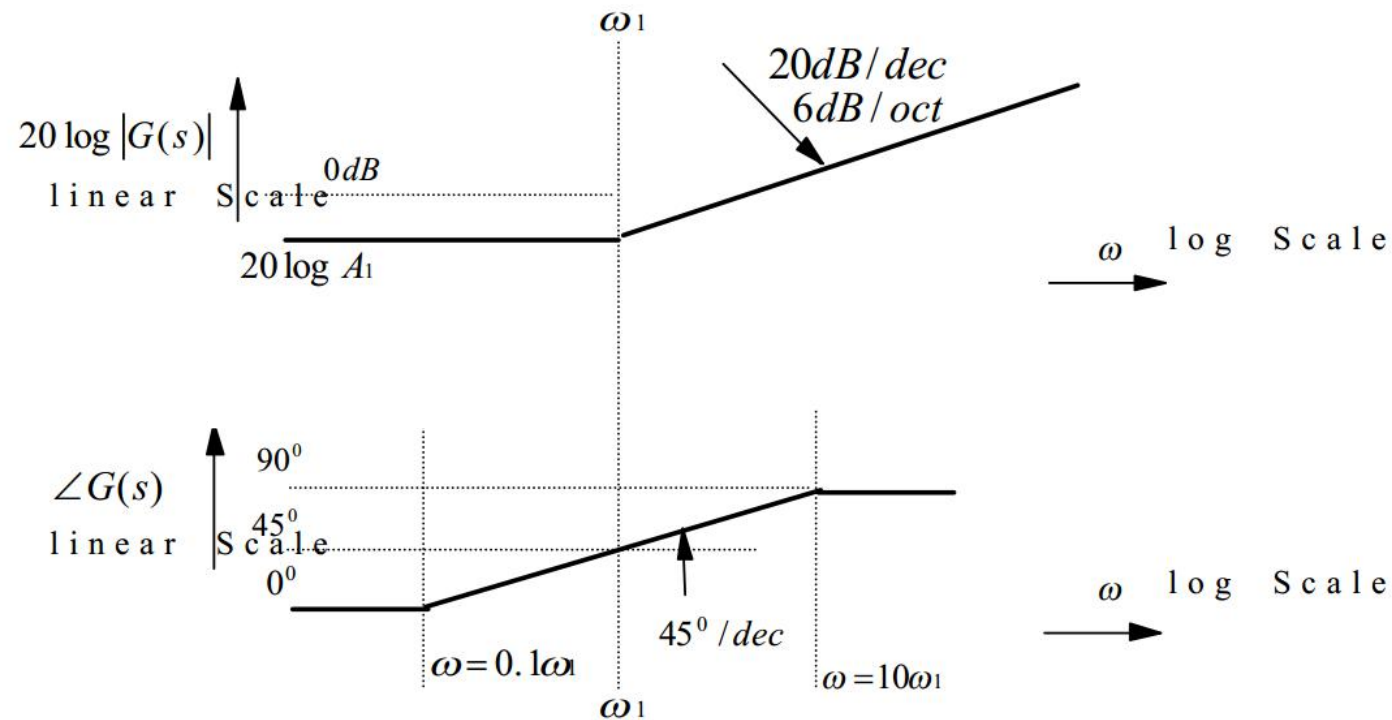


零极点如何对应相位和增益？

➤ 波特图

b) 单零点

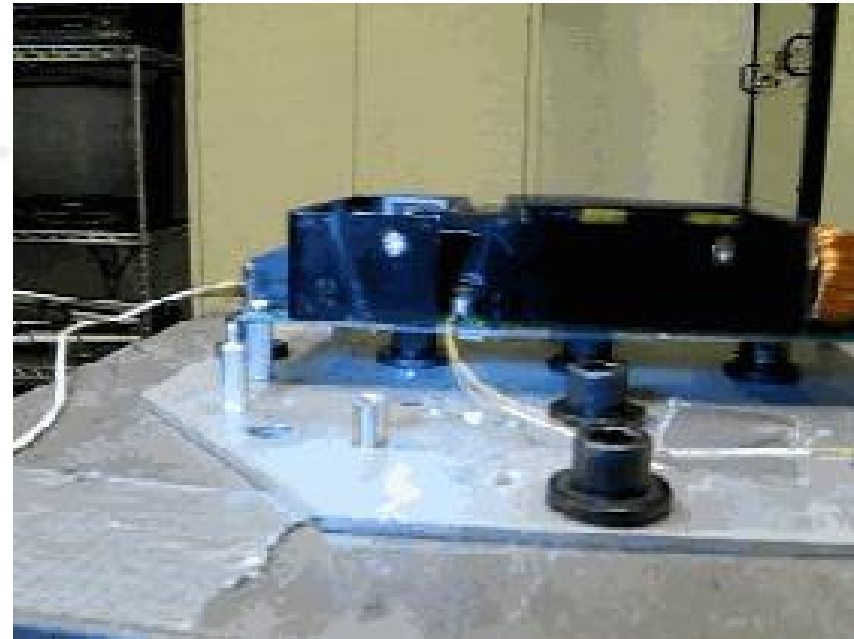
$$20\log|G(s)| = 20\log A_1 + 20\log\sqrt{1 + (\omega/\omega_1)^2} \quad \text{dB}$$





零极点如何对应相位和增益？

➤ 相位余量=0时，会有什么现象？



➤ 相位余量<0时，会有什么现象？

环路稳定性的理论与整改

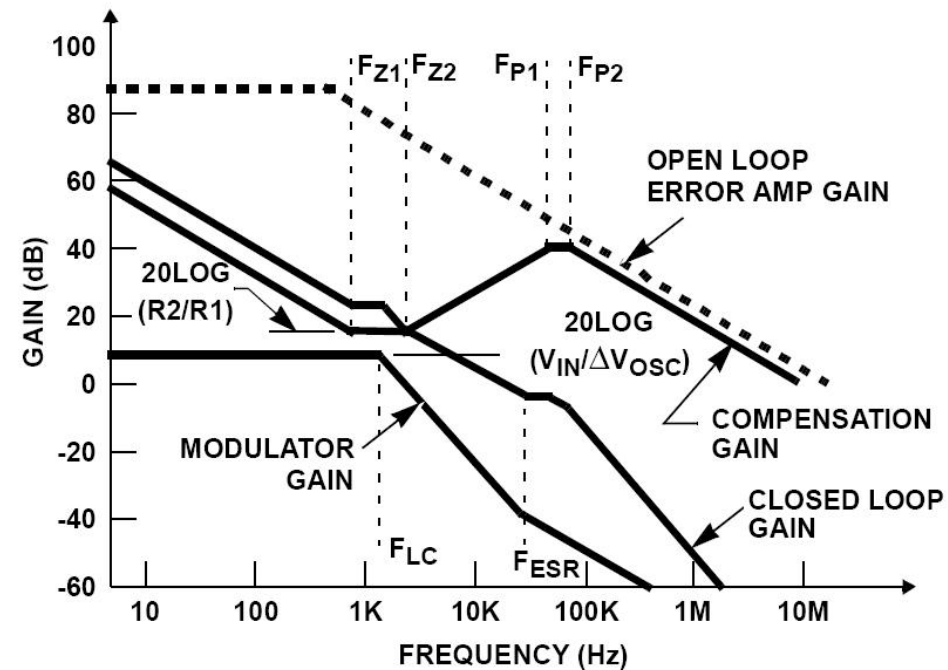


1. 如何判断控制环路的稳定性?
2. 动态测试需要注意什么?
3. 零极点如何对应相位和增益?
4. 如何分析PID补偿环节的零极点配置?
5. 震荡现象如何判断相位和增益余量?
6. 如何配置PID环节来增加稳定性?
7. 如何验证控制环整改后的效果?



如何分析PID补偿环节的零极点配置？

1. 主回路的零极点
2. 输出电容的零极点
3. 补偿网络的零极点

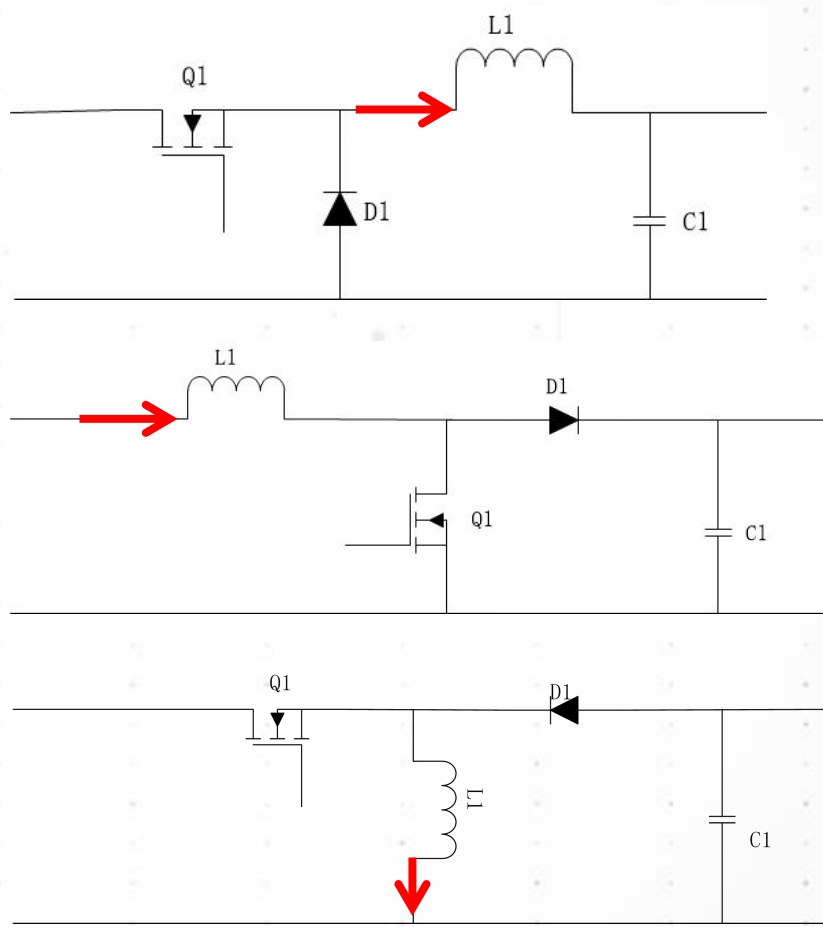




如何分析PID补偿环节的零极点配置？

➤ 零极点与开关电源的工作模式

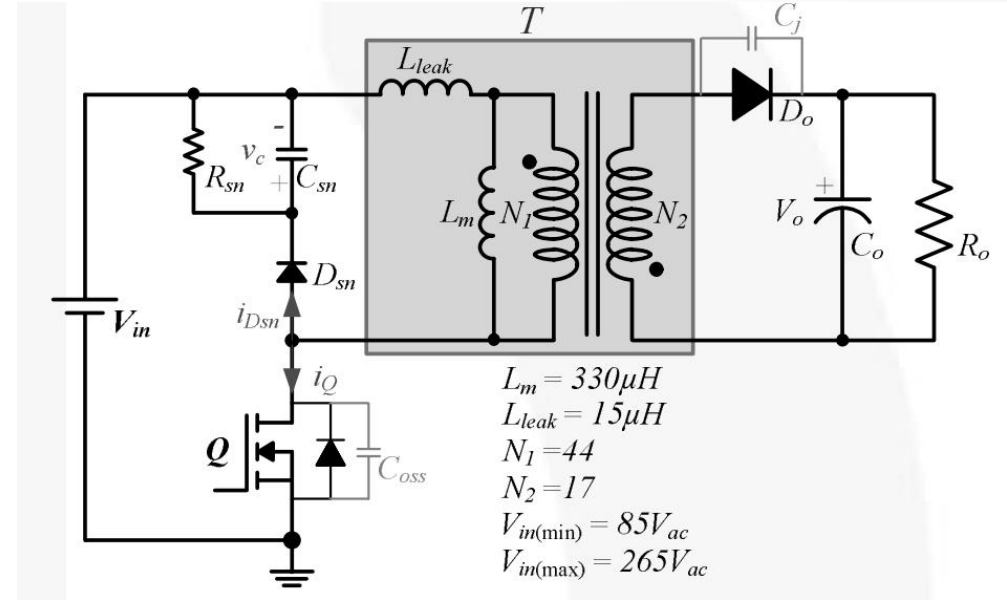
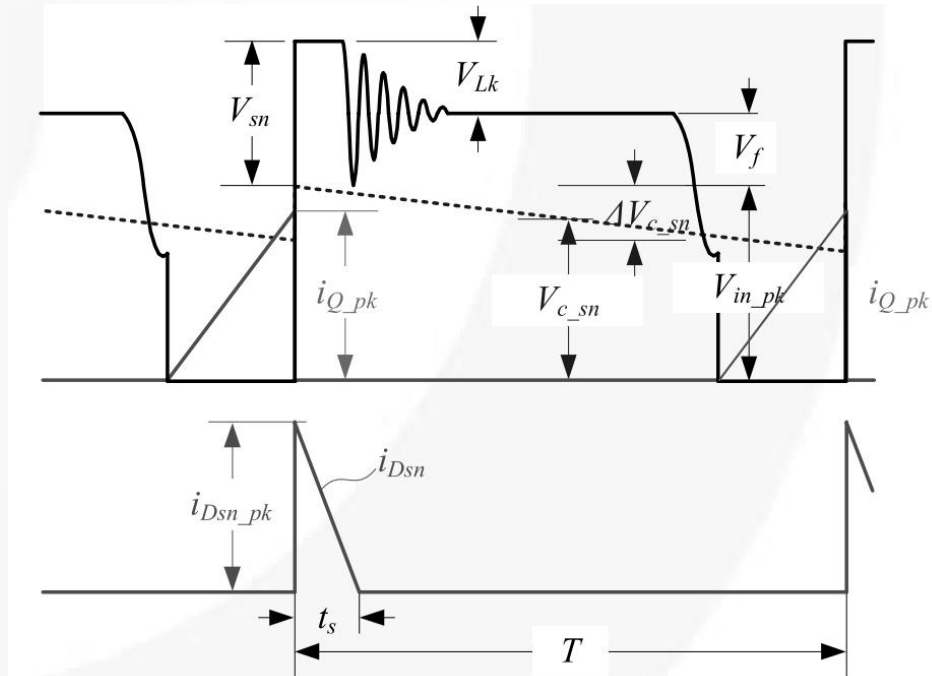
- 断续模式
- 连续模式
- 临界连续模式





如何分析PID补偿环节的零极点配置？

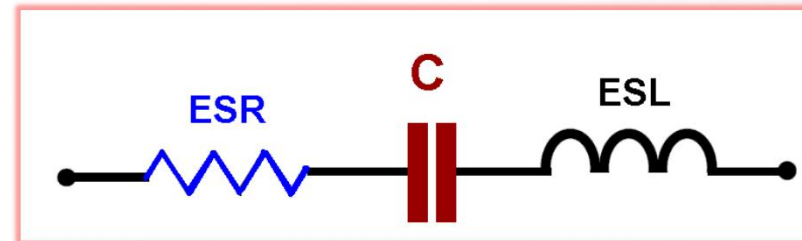
➤ 反激式变换器





如何分析PID补偿环节的零极点配置？

➤ 输出电容与零极点



谐振频率:
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L_{ESL}}}$$

当电容器工作频率在 f_0 以下时:

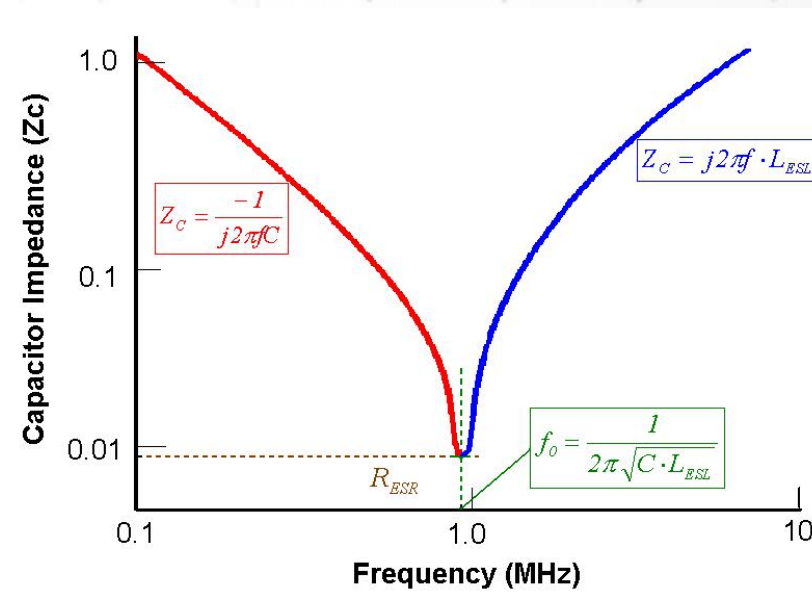
$$Z_C = \frac{-1}{j2\pi f C}$$

当电容器工作频率在 f_0 以上时:

$$Z_C = j2\pi f \cdot L_{ESL}$$

当电容器工作频率接近 f_0 时:

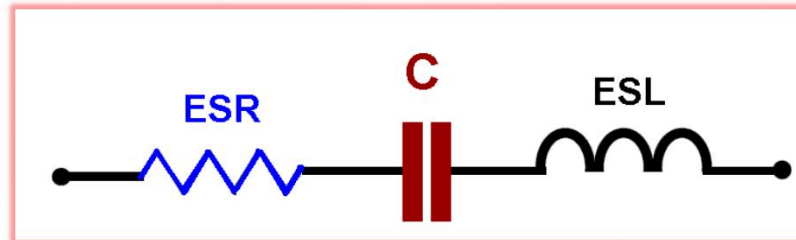
$$Z_C = R_{ESR}$$



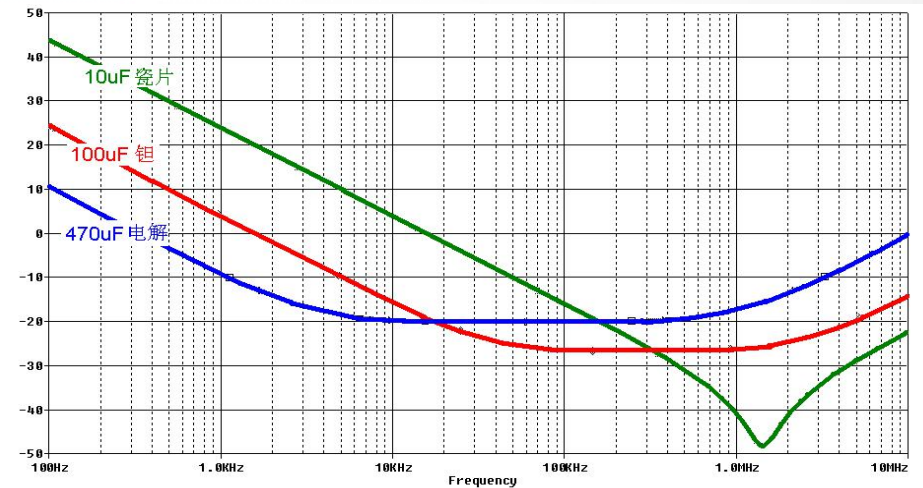


如何分析PID补偿环节的零极点配置？

➤ 输出电容与零极点



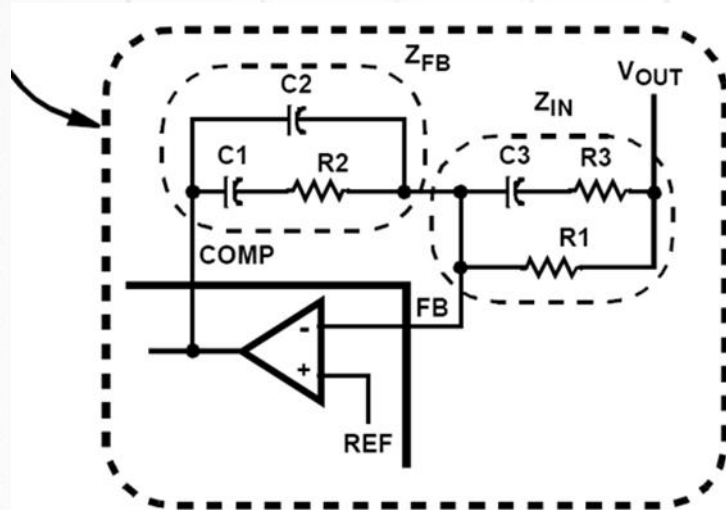
封装	典型电感值 (nH)
瓷片电容	
0603	0.8
0805	1.0
1206	1.2
1210	1.0
钽电容	
0805	1.6
1206	2.2
1411	2.3
2412	2.8
电解电容	
表面贴	6.8
引脚	>10



电容	ESR	ESL
10uF/10V 瓷片	4 mΩ	1.25nH
100uF/10V 钽	46 mΩ	3nH
470uF/10V 电解	100 mΩ	15nH



如何分析PID补偿环节的零极点配置？

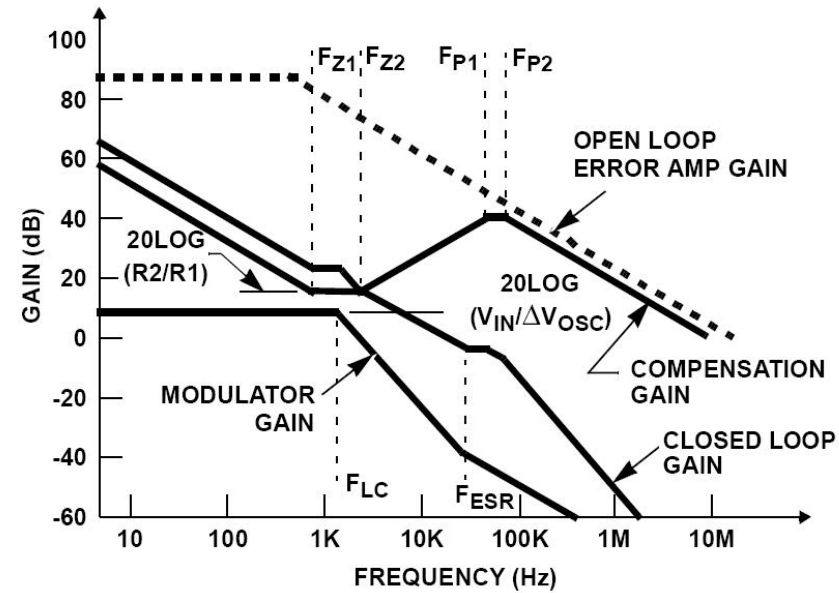


$$F_{Z1} = \frac{1}{2\pi \cdot R2 \cdot C1}$$

$$F_{Z2} = \frac{1}{2\pi \cdot (R1 + R3) \cdot C3}$$

$$F_{P1} = \frac{1}{2\pi \cdot R2 \cdot \left(\frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2}\right)}$$

$$F_{P2} = \frac{1}{2\pi \cdot R3 \cdot C3}$$





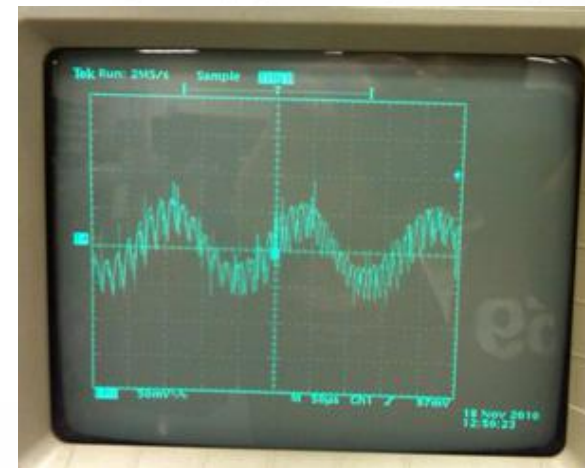
环路稳定性的理论与整改

1. 如何判断控制环路的稳定性?
2. 动态测试需要注意什么?
3. 零极点如何对应相位和增益?
4. 如何分析PID补偿环节的零极点配置?
5. 震荡现象如何判断相位和增益余量?
6. 如何配置PID环节来增加稳定性?
7. 如何验证控制环整改后的效果?



震荡现象如何判断相位和增益余量?

- 相位余量?
- 穿越频率?



~5kHz, ~120mV pk-pk



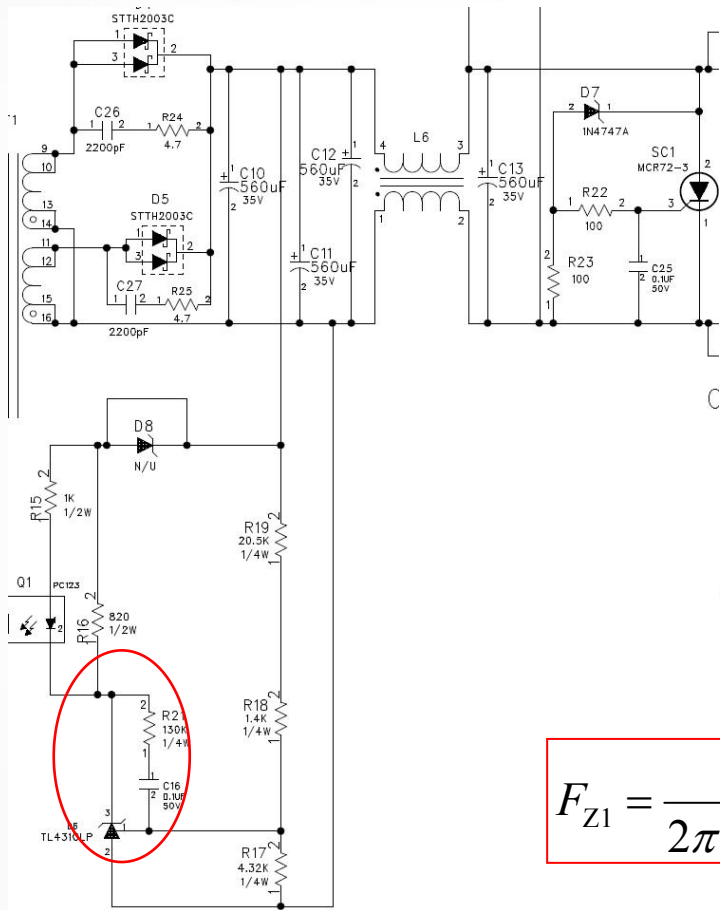
环路稳定性的理论与整改

1. 如何判断控制环路的稳定性?
2. 动态测试需要注意什么?
3. 零极点如何对应相位和增益?
4. 如何分析PID补偿环节的零极点配置?
5. 震荡现象如何判断相位和增益余量?
6. 如何配置PID环节来增加稳定性?
7. 如何验证控制环整改后的效果?

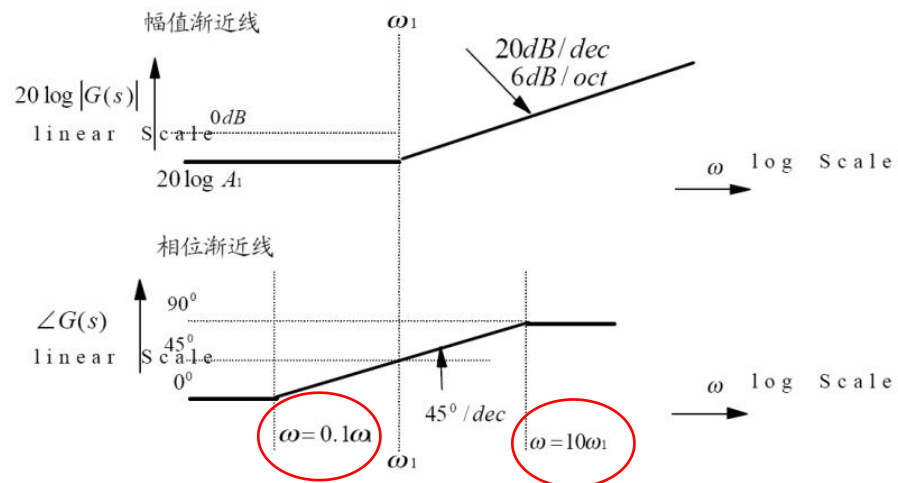


如何配置PID环节来增加稳定性？

➤ 分析反馈补偿网络的参数



4. (P x 单零点) 系统的幅值和相位渐近线 (PD)



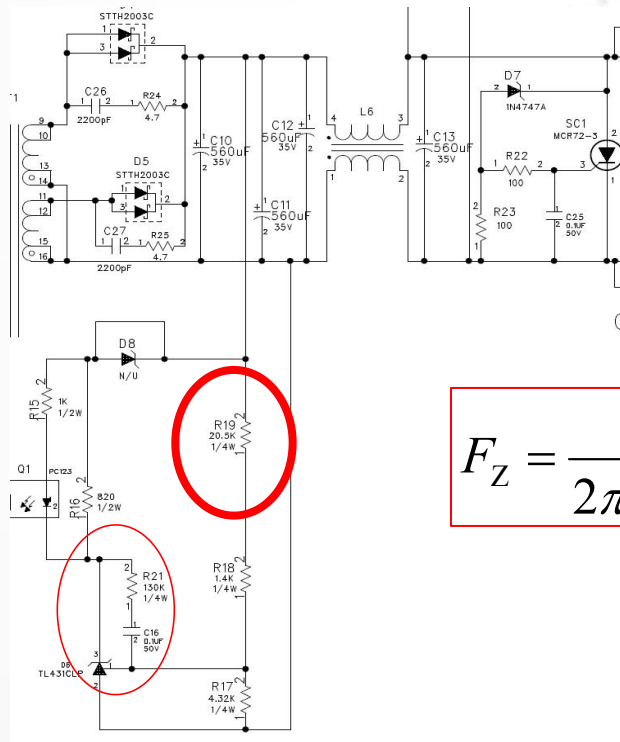
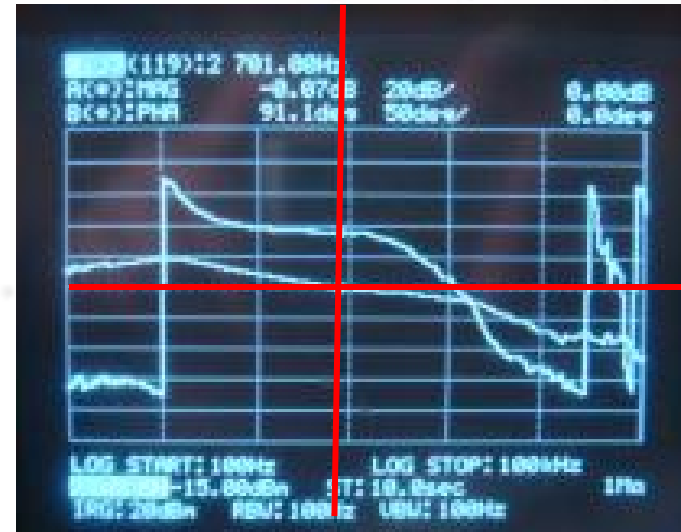
$$F_{Z1} = \frac{1}{2\pi \cdot R21 \cdot C16} = \frac{1}{2 * 3.14 * 130K * 0.1\mu F} = 12.2 Hz$$



如何配置PID环节来增加稳定性？

➤ 现场解决方案

- a) 在谐振频率点加一个零点
- b) 在R15上并联 1.5nF电容



$$F_z = \frac{1}{2\pi \cdot R19 \cdot C} = \frac{1}{2 * 3.14 * 20.5K * 1.5nF} = 5.2KHz$$

环路稳定性的理论与整改



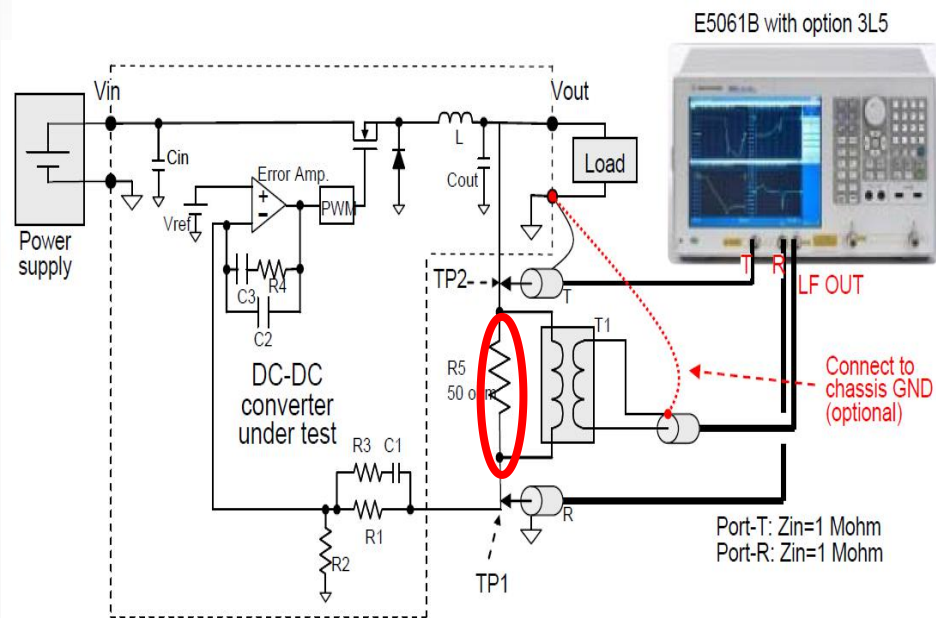
1. 如何判断控制环路的稳定性?
2. 动态测试需要注意什么?
3. 零极点如何对应相位和增益?
4. 如何分析PID补偿环节的零极点配置?
5. 震荡现象如何判断相位和增益余量?
6. 如何配置PID环节来增加稳定性?
7. 如何验证控制环整改后的效果?



如何验证控制环整改后的效果？

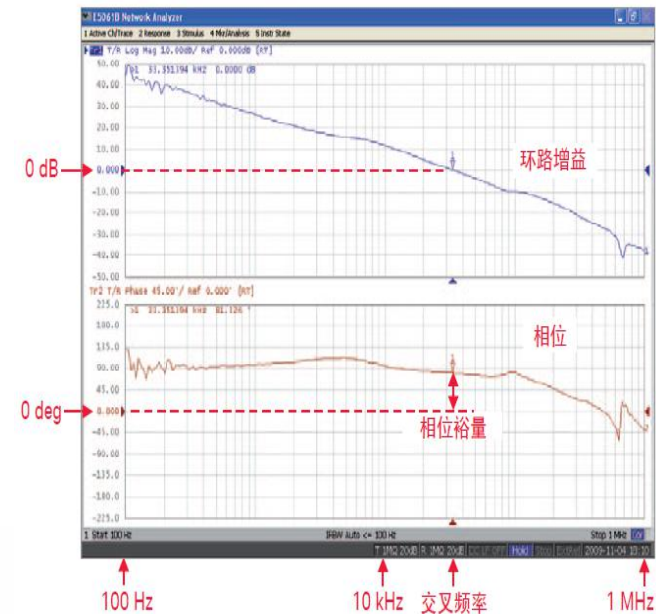
传统环路响应测试方案配置：

- 是德科技E5061B
- E5061B-3L5
- 隔离变压器
- 两根BNC线缆或1:1无源示波器探头



传统环路响应测试方案评估：

- 测试结果权威
- 价格贵
- 测试设置复杂
- 仪器利用率低





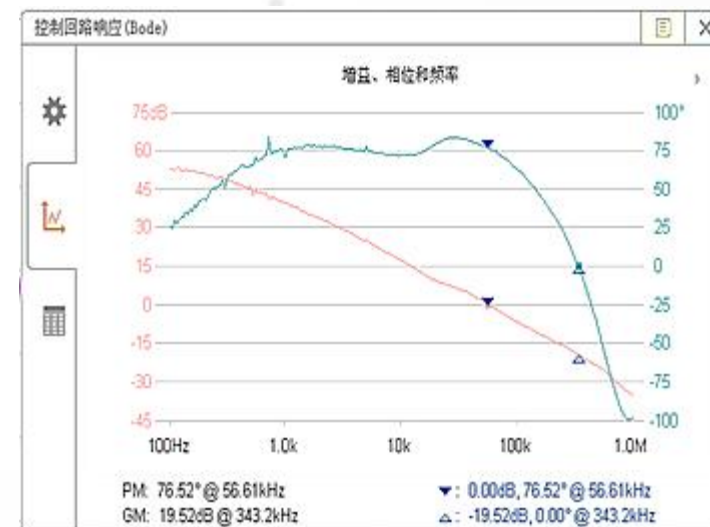
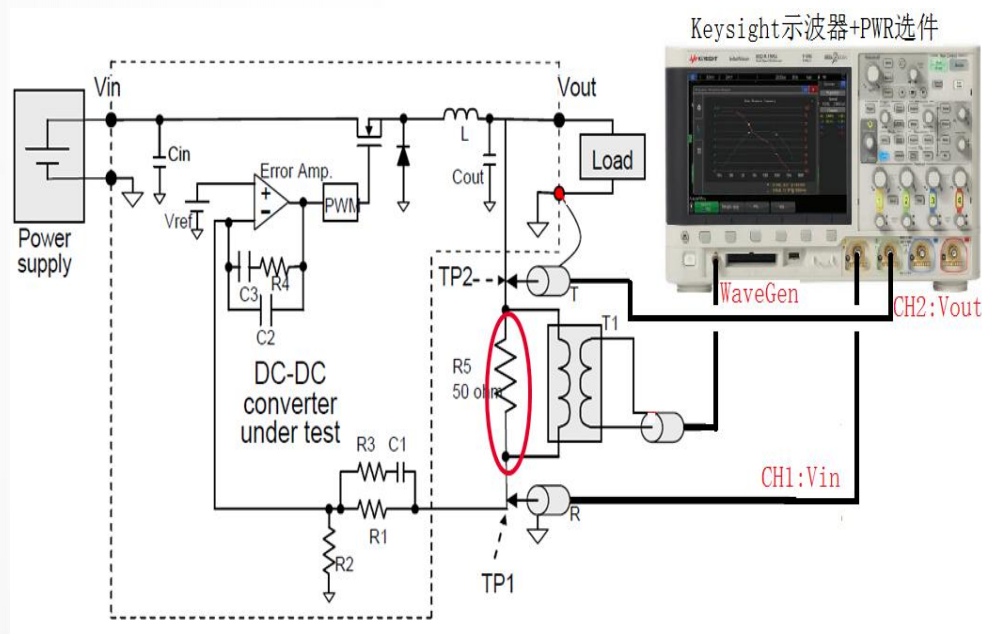
如何验证控制环整改后的效果？

新型示波器环路响应测试方案配置：

- 是德科技示波器（3000T/4000X/6000X）
- PWR选件
- 隔离变压器
- 1:1无源示波器探头

新型环路响应测试方案评估：

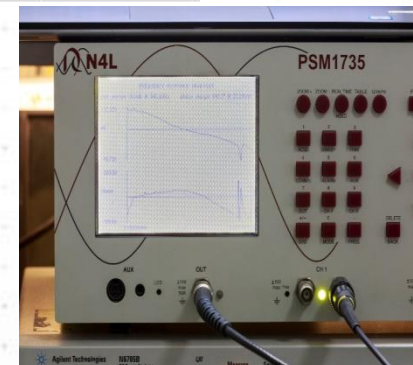
- 测试结果一样准确
- 价格便宜（10% of 传统方案）
- 测试设置简单
- 仪器利用率高
- 单点模式，设置注入电压更方便





如何验证控制环整改后的效果？

	Buck拓扑 正常负载	
测试方案	穿越频率	相位裕度
示波器	39.6KHz	65.5°
E5061B	39.5KHz	66.4°
其他仪器	39.4KHz	65°
测试图片		



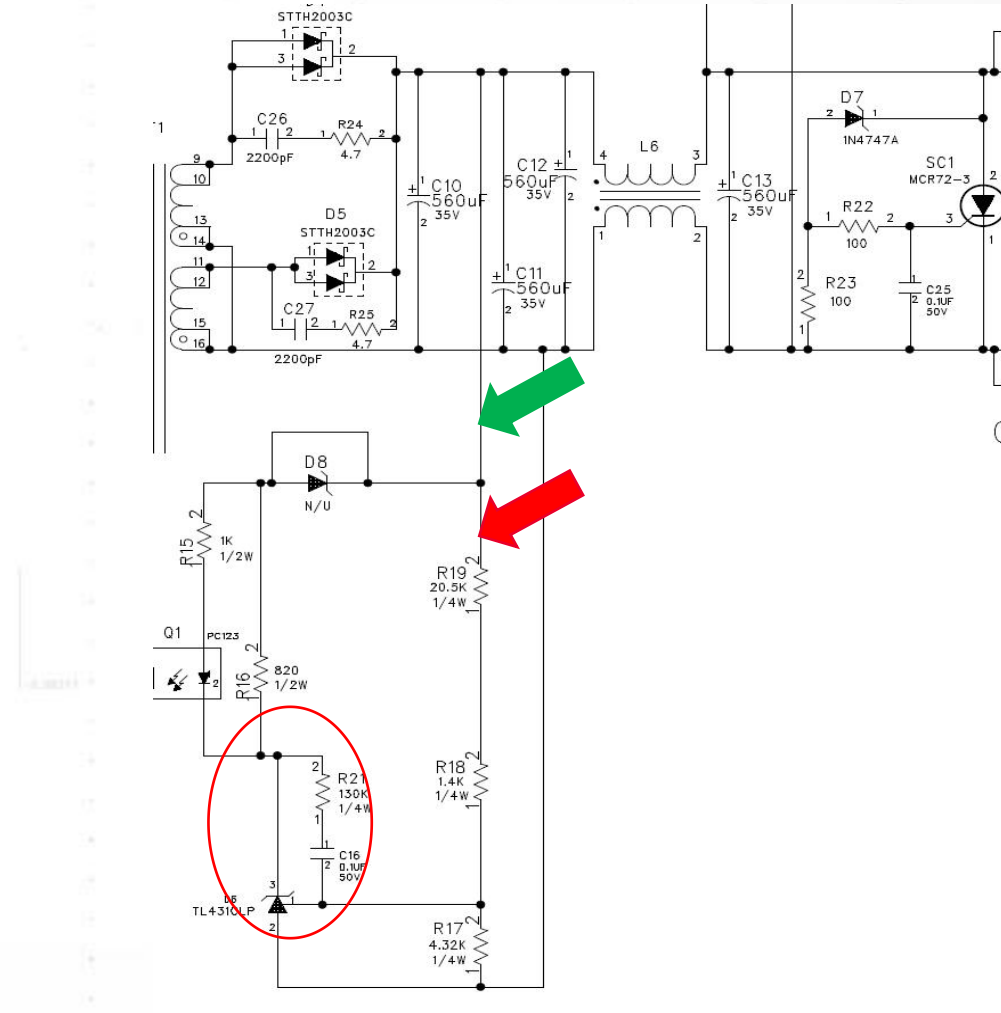


如何验证控制环整改后的效果？

➤ 相位余量测试注意点

Flyback 错误测试点		Flyback 正确测试点	
穿越频率	相位裕度	穿越频率	相位裕度
44.8Hz	102°	927Hz	38.7°
44.5Hz	101.3°	922Hz	39.1°
45.4Hz	101.6°	918Hz	39.9°

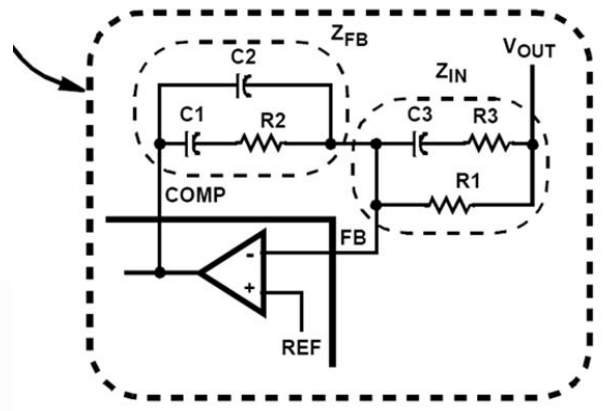
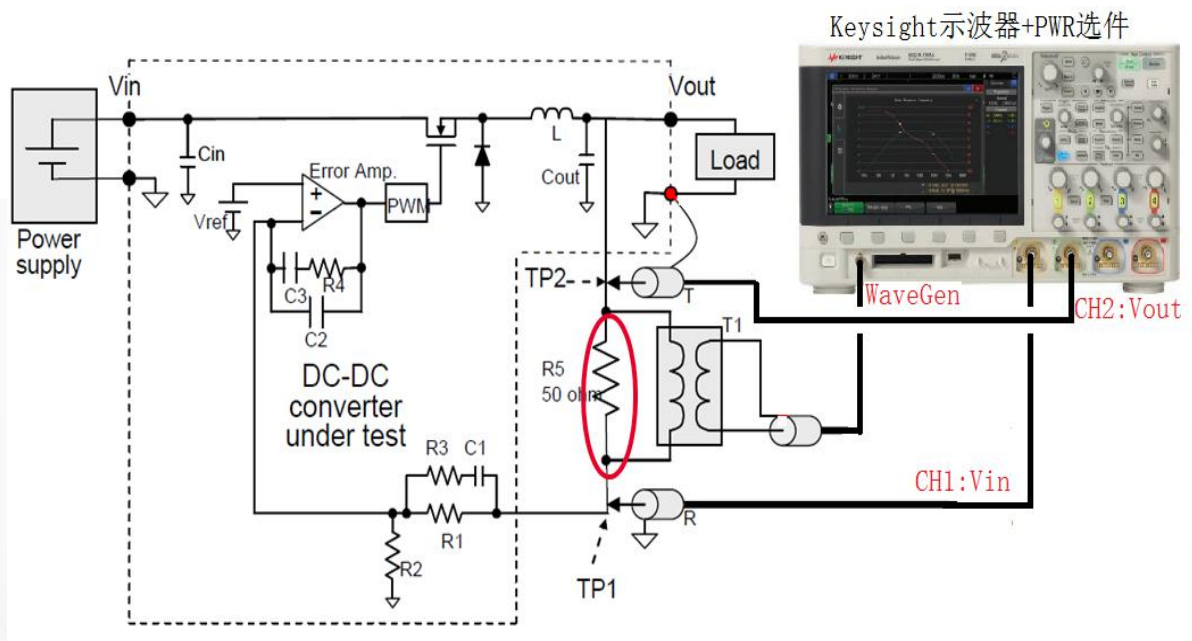
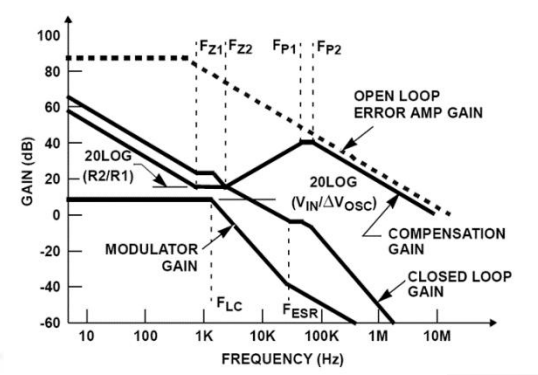
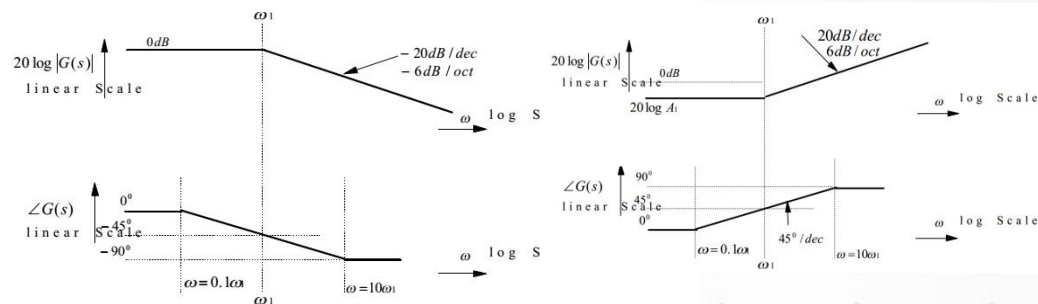




总结—控制环稳定性设计与整改

1. 零极点与相位增益
2. 动态测试的注意点
3. 震荡与相位余量
4. PID环节的零极点配置
5. 新颖的示波器环路响应测试方案



2018 是德科技感恩月 3月1号抽奖直播

仪器行业最大型的线上活动!!



Q&A

微信扫码扫描二维码
注册感恩月活动

抽奖地址

感恩月注册用户抽奖:

- 一等奖: 共1名 梦幻试验台
- 二等奖: 共2名 U1281A 万用表表
- 三等奖: 共7名 小米智能额温计

