

电源分析软件用户手册

示波器

类别	内容
关键词	电源测试、软件分析
摘要	本文主要介绍ZDS示波器上电源分析软件使用，及各项参数的测试原理

修订历史

版本	日期	原因
V1.00	2017/03/06	完成初稿
V1.10	2017/12/14	增加 SOA 分析功能说明
V1.20	2023/12/7	更新页眉页脚

目 录

电源测试分析	1
1. 概述	2
2. 测前准备	3
2.1 采集模式	3
2.2 偏移校正	3
2.3 消磁调零	3
3. 电源测试分析界面	4
4. 功能	5
5. 时滞校准	6
5.1 校准步骤	6
6. 报表导出	9
7. 功能详解	10
7.1 谐波分析	10
7.1.1 功率测试	10
7.1.2 谐波测试	11
7.1.3 测量步骤	12
7.2 冲击电流	16
7.2.1 测量步骤	16
7.3 输出纹波	18
7.3.1 测量步骤	18
7.4 瞬态分析	20
7.4.1 测量步骤	20
7.5 启动/关闭时间	23
7.5.1 测量步骤	23
7.6 效率分析	25
7.6.1 测量步骤	25
7.7 开关元件分析	26
7.7.1 开关损耗	27
7.7.2 SOA（安全工作区）	27
7.7.3 动态开点电阻	30
7.7.4 dv/dt 、 di/dt	31
7.7.5 【开关损耗】 / 【动态开点电阻】 / 【 dv/dt 】 / 【 di/dt 】 具体的测量步骤	31
7.8 磁性分析	34
7.8.1 电感	35
7.8.2 磁损耗	35
7.8.3 测量步骤	35
7.9 调制模块分析	37
7.9.1 脉冲分析	37
7.9.2 占空比	37
7.9.3 周期	37
7.9.4 频率	37

7.9.5 上升时间和下降时间.....	37
7.9.6 测量步骤.....	37
8. 免责声明.....	39

电源测试分析

电源分析测试仅在 ZDS3024、ZDS3024C、ZDS3000/4000Plus、ZDS5000、ZUS6000 中有所支持，若发现在这些系列中的示波器未支持，请到官网下载最新固件并升级即可使用。电源分析测试分为两种形式，一种是直接在示波器中进行测量分析，另一种是通过示波器与 PC 机连接进行的电源测试分析。有关示波器与 PC 机连接进行的电源测试分析的软件使用将有相应的 PDF 文档进行具体的介绍，本次介绍内容为示波器上进行的电源测试分析说明及操作方法。

1. 概述

示波器电源测试分析主要实现使用示波器来对电源(开关电源)进行相关测试,提高电源开发人员的工作效率,方便对电源模块进行测试。主要涉及开关电源(AC/DC)有关测试。

在大多数现代系统中,流行的 DC 电源结构是开关电源(SMPS),这种电源因能够高效处理负载变化而闻名。典型 SMPS 的电源信号路径包括无源元件、有源元件和磁性元件。SMPS 最大限度地减少了有损耗的元件的使用量,如电阻器和线性模式晶体管,重点采用(在理想条件下)没有损耗的元件,如开关式晶体管、电容器和磁性元件。其主要构成如图 1.1 所示。

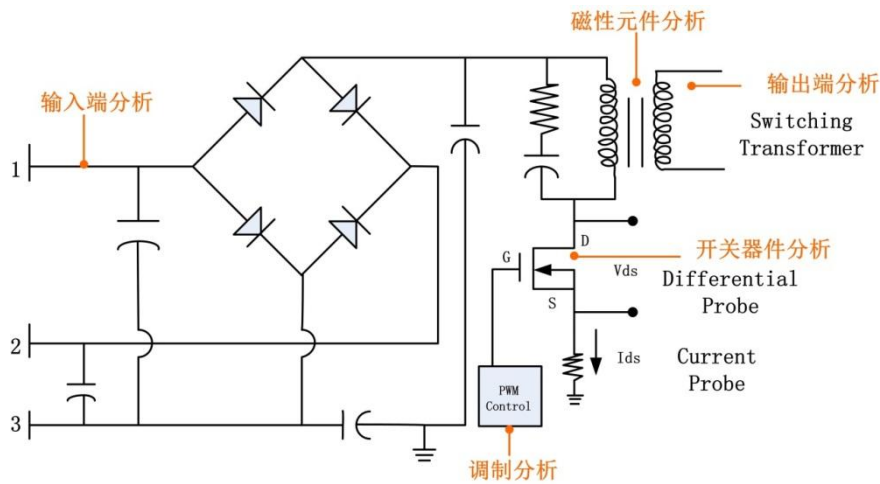


图 1.1 SMPS 主要结构

故为了对 SMPS 进行测试主要涉及如下几个部分：**输入分析、输出分析、开关元件分析、效率分析、磁性元件分析、调制分析。**

2. 测前准备

为了保证测试的准确性，我们必须保证使用正确的测试系统，才能准确的捕获波形进行分析和调试，所以测试前需进行如下准备：

- 示波器的采集模式
- 电压探头和电流探头的偏移校正
- 电流探头进行消磁

2.1 采集模式

示波器的采集模式就是信号的采集、处理和显示过程。不同的采集模式会产生不同的效果，选择的采集模式可能会影响电源测量的精度。示波器提供了四种采集模式：标准模式、峰值模式、平均模式、高分辨率模式。

在测量不重复信号上进行多次采集测量，如纹波和噪声分析可用标准的采集模式；平均模式降低噪声又不会损害带宽，对于重复信号很适用，所以平均模式适合于执行谐波分析或电源质量分析测量，如视在功率、无功功率和有功功率等；而高分辨率会降低带宽，进而降低噪声，改善低速信号的垂直分辨率，所以高分辨率模式特别适合为电源供电及在一次采集集中采集数据时进行调制分析，其可以改变测量精度，又可以进行开关损耗，瞬时功率等的测量。

2.2 偏移校正

由于差分探头和电流探头都有自己的传输延迟，在这些波形中产生的边沿不可能自动对准，信号就不能保证在同一相位上，所以在使用前必须对两探头进行偏移校正。本次使用致远仪器 ZDF1000 偏移校正夹具如下图 5.1 所示，通过板上的振荡电路产生周期性的脉冲信号，该脉冲信号可同时作用在电压探头和电流钳上，用于驱动电压探头和电流钳。使用电压探头和电流钳分别测量电压和电流信号，可在示波器上观察到由于探头的延迟时间不同造成的电压和电流波形的超前或滞后，通过调整示波器的通道偏移时间参数，从而校正电压探头和电流钳的传输延迟时间差。

2.3 消磁调零

消磁功能可去掉变压器核心中残余的任何 DC 通量，这可能是由输入电流量过大而引起的。这种残余通量会导致输出偏置误差，所以必须进行消磁，以提高测量精度。消磁后若出现电流探头输入的波形不在 0 点，要进行调零，以防测试数据产生偏差，保证数据准确性。

3. 电源测试分析界面

点击【Analyze】进入电源测试分析界面，如图 3.1 所示，各个功能区的介绍如表 3.1 。

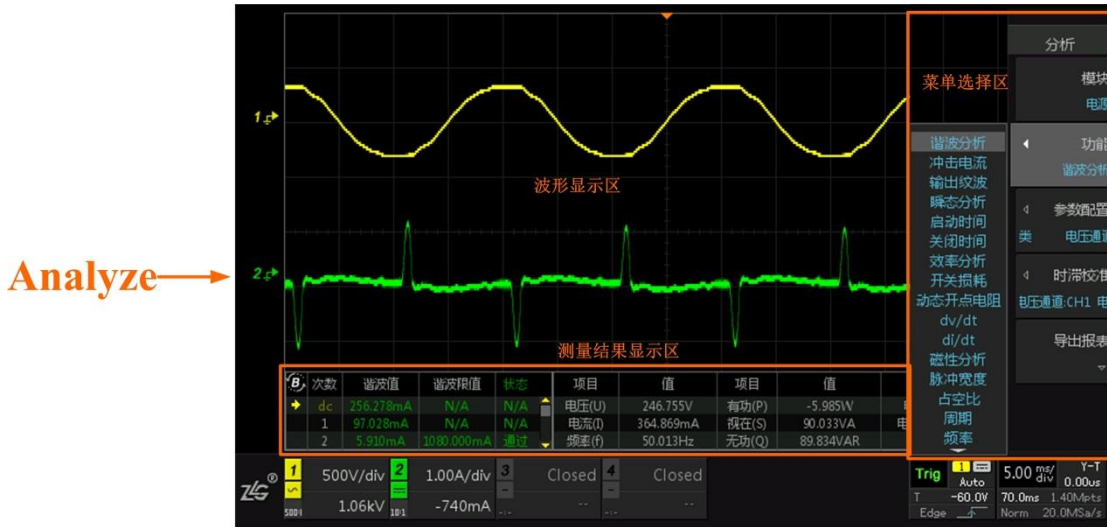


图 3.1 电源分析测试界面（换图）

表 3.1 各功能介绍表

名称	功能
波形显示区	显示示波器上输入的电源分析信号波形、测试项目的计算波形或计算得出的图表情况
测量结果显示区	主要显示所测试的项目的数据测试结果。不同的测试项目所显示的结果有所不同。
菜单选择区	主要是进行电源测试分析的菜单选择，旋转旋钮 A 可进行选择，短按旋钮 A 可进入选择界面或者选择完成。

4. 功能

进入电源分析测试界面后，旋转旋钮 A，选择【功能】，短按旋钮 A 进入功能选择界面，如图 4.1 所示，旋转旋钮 A 选择其中所要测试的项目，短按旋钮 A 即可选择完成。对于功能可选的项目如图 4.1 所示。



图 4.1 电源分析项目

5. 时滞校准

时滞校准功能能够校正不同探头之间的固有延时，提高结果的精度。在测量过程中，需要使用**电压探头**（若为高压要用高压差分探头）和**电流探头**，由于两种传输特性的不同，会导致两者传输时间上存在误差，故需要校准，使电压电流在同一相位上，保证测量的准确性，特别是计算功率相关分析。

时滞校准需要用到我司的 ZDF1000 偏移校正夹具，具体如图 5.1 介绍，图中的一根红色折线把板子分成左右两个部分，左边的槽比较大，适用于钳口比较大的电流钳的连接，称为“LARGE LOOP”，右边的钳口比较小，适用于钳口比较小的电流钳的连接，称为“SMALL LOOP”。这两部分电路的使能工作是通过拨动开关 S1 的切换实现的，当 S1 拨到“LARGE LOOP”一侧时，“LARGE LOOP”部分的电路正常工作，相应的电压测试点为 TP1、J2、J3、J4；当 S1 拨到“SMALL LOOP”一侧时，“SMALL LOOP”部分的电路正常工作，相应的电压测试点为 TP2、J5、J6、J7。

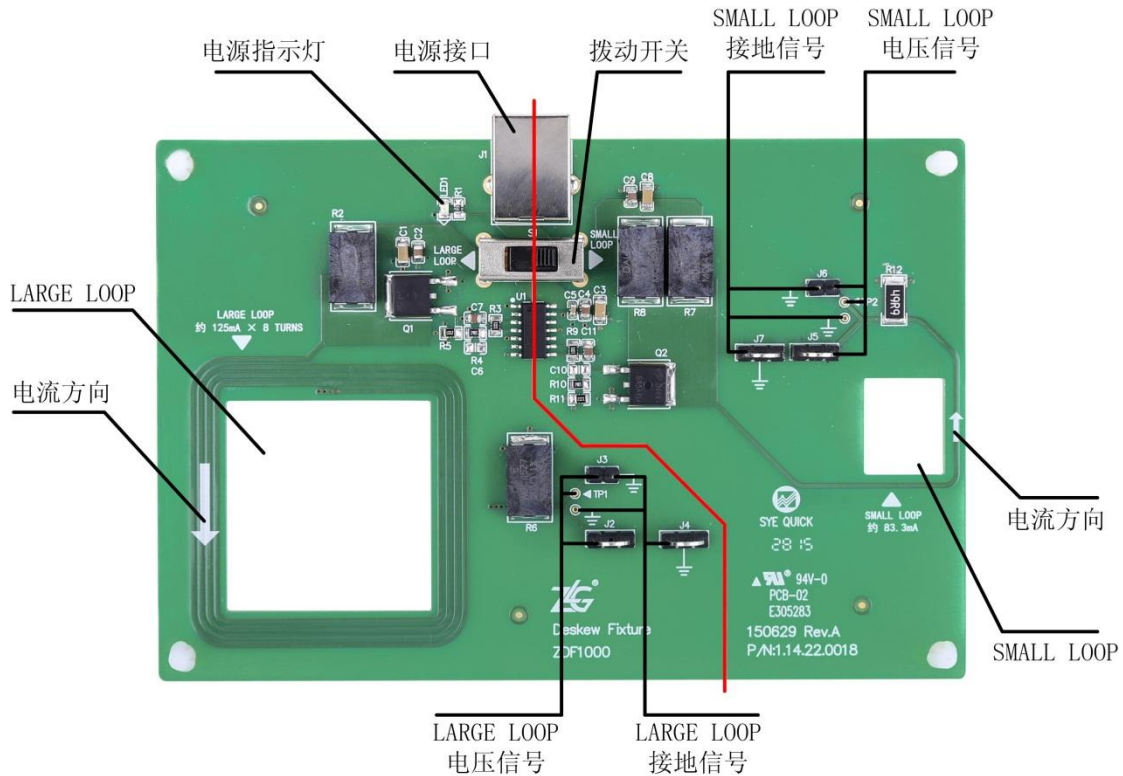


图 5.1 ZDF1000 偏移校正夹具介绍

5.1 校准步骤

1、在夹具的 SMALL LOOP/ LARGE LOOP 区域分别接上差分电压探头和电流探头，其中探头母头 BNC 端与示波器相连，具体如图 5.2 所示。

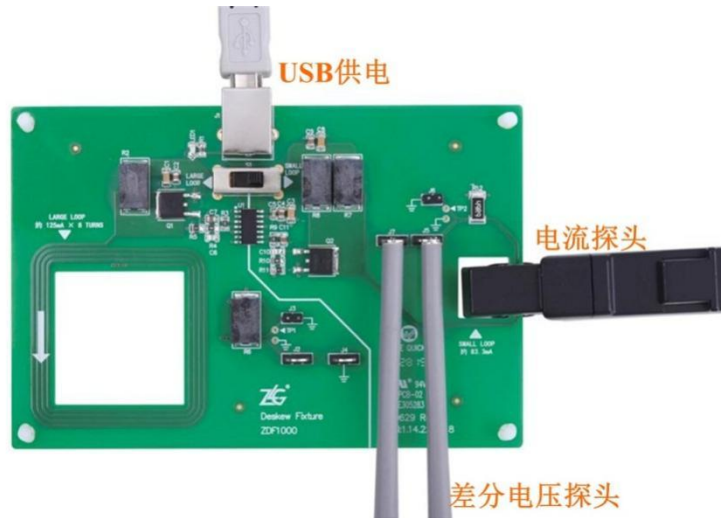


图 5.2 校正夹具实物连接图

- 2、连接好探头后，点击按下【Auto Setup】按钮。
- 3、根据实际的电压探头和电流探头的连接情况，打开相应通道并设置探头类型和探头比率。操作顺序为：按下通道按钮（1 或 2），通过探头类型和探头比率菜单进行设置。
- 4、再按下“Horiz”按钮，通过捕获模式菜单把捕获模式设置为平均，平均次数设置为 16，信号波形如图 5.3 所示。



图 5.3 校准波形

- 5、此时点击【Analyze】进入电源分析测试界面，选择【时滞校准】，配置好电压通道和电流通道的，旋转旋钮 A 至“校准”选项，短按旋钮 A，校准即可启动。校准情况如图 5.4 所示。



图 5.4 校准后的图形

6. 报表导出

考虑到测试分析完成之后，需要保存相关测试数据，形成测试报告，最后还需要**报表功能**。对于报表功能可以考虑采用 CSV 格式，根据被测试项，生成相应的报告文件。

示波器端能够支持报表导出功能，导出的格式是 csv 格式。如图 6.1 所示，点击【导出报表】功能，进入导出报表界面，选择【文件类型】“csv 文件”，之后选择【新建文件夹】进入如图 6.1 所示界面，输入新建文件名后，点击确认输入，最后点击【保存文件】能够将当前测量的数据保存。



图 6.1 导出报表

7. 功能详解

7.1 谐波分析

功率测试：通过对电源输入端功率的计算可以了解到电源输入端电压与电流的情况，反映输入端的电源能量的消耗的状况。

谐波测试：由于电源谐波的产生会增大电源系统的谐波损耗，降低电源利用率，使电源端负载等设备过载运行，缩短使用寿命，也有可能发生谐振现象，导致各个器件因电流过大或电压过大而损坏等，所以对谐波的参数测试和分析就至关重要了。

7.1.1 功率测试

◇ **电压/电流有效值：**有效值主要是根据热效应原理进行计算，热效应原理如图 7.1 所示。

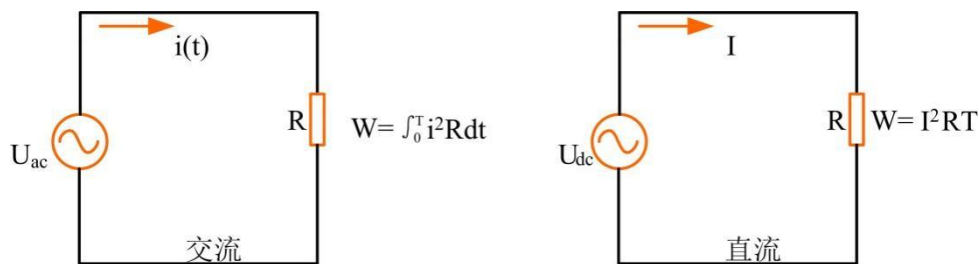


图 7.1 热效应原理

交流电流 $i(t)$ 通过电阻时，在 R 上一个周期时间 T 内产生的热量，与直流电流 I 通过电阻在同一时间 T 内产生的热量相等，则直流电流 I 的数值，即为交流电流 $i(t)$ 的有效值。

$$\int_0^T i^2 R dt = I^2 R T, \text{ 推算出电流有效值 } I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}, \text{ 电压有效值 } U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}.$$

◇ **有功功率 P：**表示负载电路中电阻/设备所消耗的功率。有功功率的计算基础为瞬时功率。

瞬时功率： $P(t)=u(t)i(t)$;

一周期内传输至负载的能量为： $W_{\text{cycle}} = \int_0^T u(t)i(t)dt$;

瞬时功率的一周期平均值，即有功功率（IVE-131-03-18）： $P = \frac{W_{\text{cycle}}}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt$;

有功功率的方向：能量沿着流动的正方向传输 $P>0$ ，即电网侧发出电能，负载吸收电能。

◇ **视在功率 S：**电流有效值与电压有效值的乘积， $S=U*I$ ，反映了最大可利用容量；

◇ **无功功率 Q：**表示单位时间内电路中能量振荡或往返的规模， $Q=\sqrt{S^2 - P^2}$ ，无功功率没有方向，符号由负载决定。负载为感性时 $Q>0$ ，负载为容性是 $Q<0$ 。

◇ **功率因数 PF (λ):**描述电路中某点的实际传递或消耗的平均功率与视在功率之间的关系，功率因素数越高，电路的利用率就越高。 $PF=P/S$ ，正负符号由有功功率的方向决定。

◇ **频率 (Freq):**即电源信号的频率，一般中国是 50Hz，日本是 60Hz。

◇ **波峰因数(CF):**指在交流电路中，电流/电压波形的峰值与其有效值之比，在有功功率一定的条件下，随着峰值增大，有效值增大，功耗也会增大，所以其可以反映电源线中

电流/电压的应力，其中电流波峰因数为 CFI，电压波峰因数为 CFU。

7.1.2 谐波测试

谐波：指的是信号频率为基波频率的整数倍的波形，根据 IEC 通常做法，THD 的谐波求和可延伸到 40 次（包括 40 次），所以谐波阶次数可计算至 40 次，谐波幅值以方均根值表示。

间谐波：其频率为基波频率的非整数倍，中国国家标准（GB/T 17626.7 等），译为“谐间波”。

次谐波：低于基波频率（50Hz）的频谱分量。

各次谐波分量具体的直观表现如图 7.2 和图 7.3 所示。

f1 为基波频率，h 为谐波阶次

谐波 (高次谐波)	$f = hf_1 (0 < h \leq 50, h \text{ 为整数})$ $f = hf_1 (25 < h \leq 50, h \text{ 为整数})$
间谐波	$f \neq hf_1 (0 \leq h \leq 50, h \text{ 为整数})$
次谐波	$f > 0, f < f_1$
直流	$f = 0\text{Hz} (f = hf_1, h = 0)$

图 7.2 各次谐波频率范围

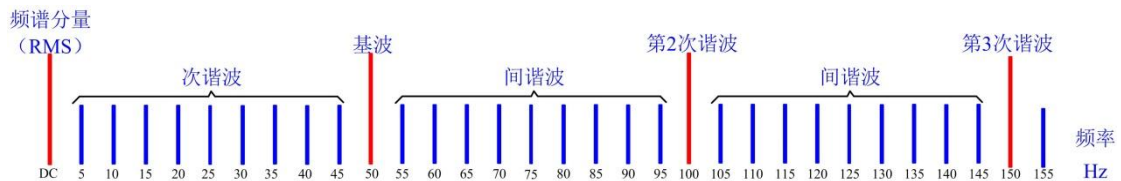


图 7.3 谐波直观图

有关谐波的测试项目如下所述：

- ◇ **0~40 次电流谐波有效值：**根据 IEC61000-3-2，计算 40 次的电流谐波有效值，此有效值使用谐波子组的方法计算，子组算法是使用谐波测量时对 DFT 频谱分析结果的计算方法，其主要目的是提高谐波的测量与评估准确度。

根据 IEC61000-3-2 定义的谐波子组： $Y_{sg,h}^2 = \sum_{k=-1}^1 Y_{C,(Nh)+k}^2$ ，式中 $Y_{C,K}$ 为 DFT 频谱输出分量，5Hz 间隔，h 为计算次数。具体的电流谐波有效值测量如下图 7.4 所示。

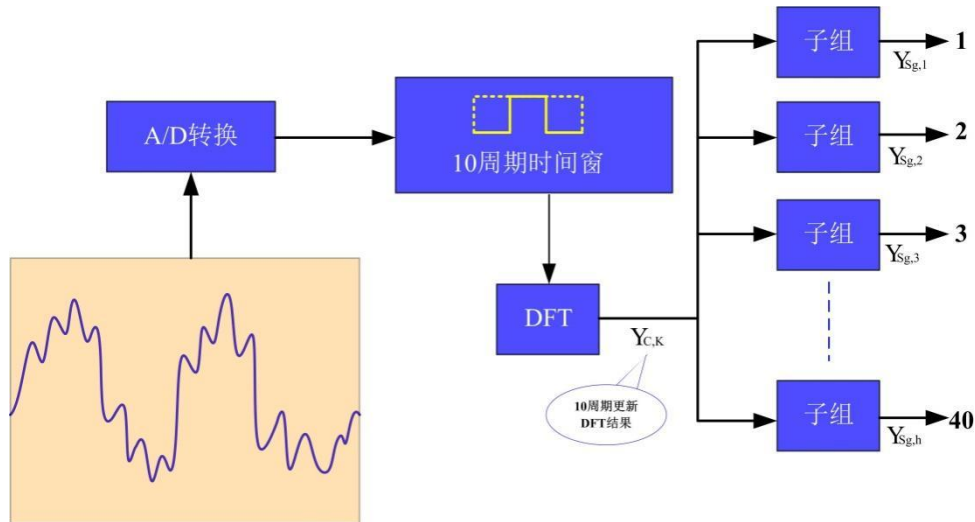


图 7.4 电流谐波测量方法

- ◇ **总谐波失真(THD):** 表示全部谐波含量均方根值和基波均方根值之比, 用来表征波形相对正弦波畸变程度的一个性能参数, 用百分数表示, 电流谐波畸变率 THD 计算公式为

$$THD = \sqrt{\sum_{2}^{40} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2}$$

- ◇ **谐波限值:** 根据国家电力系统的谐波限值标准, 使谐波的电流保持在允许值以下, 也就是一个谐波输入的电流量的标准。

7.1.3 测量步骤

测量的项目输入电源若属于高压电源范围, 要使用隔离变压器对示波器进行隔离, 或者使用高压差分探头进行安全测量。

功率测试/谐波测试主要是测量电源输入端的电流/电压的功率/谐波情况, 通过测出输入电源线上的电压与电流得出其功率和谐波值来分析电源在输入过程所受的影响。

(1)、首先需要测量出输入端的电压和电流, 将高压差分探头的 BNC 母头接入示波器的通道 1, 其探针接入电源输入端的 L 线 (探头红色端) 和 N 线端 (探头黑色端), 电流探头的 BNC 母头接入示波器通道 2, 电流钳接入电源输入端的 L 线端进行测量, 具体接入线路如图 7.5 所示。

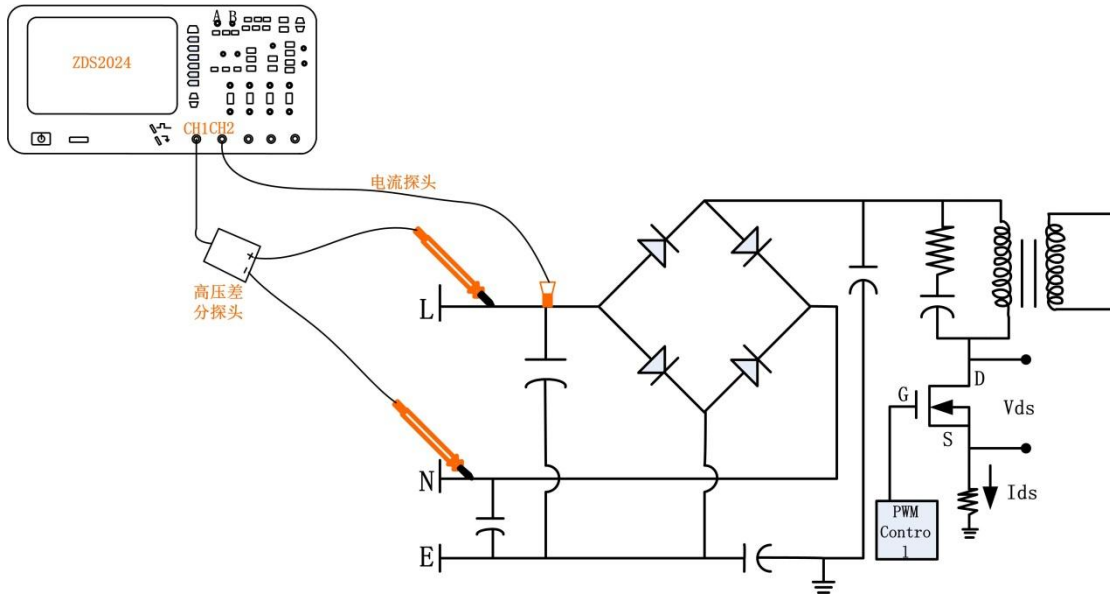


图 7.5 探头接入线路

电源模块外接 220V 的市电，本次主要是对电源输入端信号进行分析，高压差分探头测量的是输入端的两端电压，电流探头测量的是输入端的电流，从而计算出相应的功率值和谐波值。

(2)、将信号接入示波器后，点击通道【1】按钮进入通道 1 界面，将【探头类型】改为“电压探头”，【探头比率】改为“500X”（此档位与高压差分探头上的档位一致），再点击通道【2】按钮进入通道 2 界面，将【探头类型】改为“电流探头”，【探头比率】改为“1V/A”（此档位与电流探头上的档位一致）。设置好探头参数后点击【Auto Setup】，波形将以较好的效果显示在屏幕上，点击【Analyze】进入电源分析测试界面，点击【功能】选择“谐波分析”，点击【参数配置】进入参数配置界面，如下图 7.6 所示。



图 7.6 参数配置

电压通道：为高压差分探头输入的通道；

电流通道：为电流探头输入的通道；

IEC61000-3-2：表示谐波电流发射限值，设备输入每相低于或等于 16A，按对谐波电流的限制，设备可被分为以下 4 类：

A 类——电机驱动设备，三相平衡负载设备，

B 类——便携式电动工具，电弧焊接设备，

C 类——照明设备，包括调光设备。

D 类——其输入电流具有下图 7.7 所定义之“特殊波形”且功率 $P \leq 600W$ 的设备，中心线 M 和输入电流的峰值重合。如个人电脑，电视接收机等。

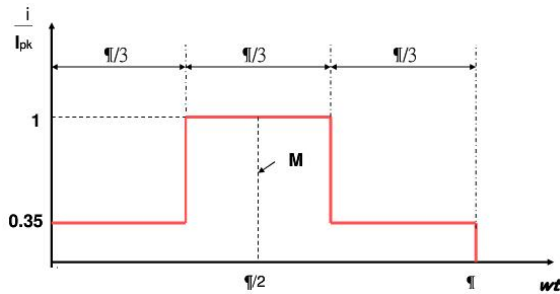


图 7.7 D 类设备的输入电流包络线

(2)、配置好参数后测量结果如下图 7.8 所示。



图 7.8 谐波分析测量结果

在波形界面之上显示了两个表格。左边表格用于显示 0~40 次谐波有效值，此有效值使用谐波子组的方法计算。谐波限值与参数设置的标准限制相关，状态指示了当前测量值是否符合相关标准。右边表格用于显示电压电流有效值和功率等相关测量项。

具体的谐波有效值导出报表如图 7.9 所示：

次数	谐波值	谐波限值	状态
1	9.634mA	N/A	N/A
2	1.172mA	1080.000mA	通过
3	10.704mA	2300.000mA	通过
4	0.441mA	430.000mA	通过
5	8.876mA	1140.000mA	通过
6	0.438mA	300.000mA	通过
7	8.313mA	770.000mA	通过
8	0.412mA	230.000mA	通过
9	8.347mA	400.000mA	通过
10	0.375mA	184.000mA	通过
11	7.783mA	330.000mA	通过
12	0.323mA	153.333mA	通过
13	6.726mA	210.000mA	通过
14	0.293mA	131.429mA	通过
15	5.993mA	150.000mA	通过
16	0.246mA	115.000mA	通过
17	5.283mA	132.353mA	通过
18	0.191mA	102.222mA	通过
19	4.537mA	118.421mA	通过
20	0.151mA	92.000mA	通过
21	3.237mA	107.143mA	通过
22	0.119mA	83.636mA	通过
23	2.773mA	97.826mA	通过
24	0.087mA	76.667mA	通过
25	2.261mA	90.000mA	通过
26	0.078mA	70.769mA	通过
27	1.530mA	83.333mA	通过
28	0.065mA	65.714mA	通过
29	1.116mA	77.586mA	通过
30	0.057mA	61.333mA	通过
31	0.653mA	72.581mA	通过
32	0.061mA	57.500mA	通过
33	0.395mA	68.182mA	通过
34	0.061mA	54.118mA	通过
35	0.312mA	64.286mA	通过
36	0.045mA	51.111mA	通过
37	0.329mA	60.811mA	通过
38	0.047mA	48.421mA	通过
39	0.383mA	57.692mA	通过
40	0.039mA	46.000mA	通过

图 7.9 电流谐波测量值导出报表

查看各次谐波


在谐波分析功能下，需要查看各次谐波值及其相关状态时，使用旋钮“B”实现滚动。其它参数可以直接从右边表格查看到，如菜单挡住部分参数，可以使用“”隐藏菜单。谐波表格中各列含义为：

表 7.1 谐波各项含义列表

名称	含义
次数	谐波次数是范围是 0~40。0 次即直流分量，使用“dc”表示。1~40 次谐波分别代表了频率为： $F_h = F_1 * h$ ，其中， F_1 为基波频率， $h = 1, 2, 3, \dots, 40$ 。
谐波值	用于显示某次电流谐波分量的有效值，使用统一的单位，单位由最大值动态决定。
谐波限值	谐波限值根据 IEC 61000-3-2 的 A、B、C、D 类标准动态计算得到的限值，选择的类别不一样将得到不一样的电流限值。其中，“N/A”表示当前选择标准对此项谐波值大小并不关心，可以为任意电流值。
状态	该状态用于显示与标准比较后的结果，有“通过”、“越限”和“N/A”三种状态，状态“越限”使用红色指示，其它两种状态使用绿色。1~40 次谐波的状态都没有“越限”时，标题“状态”这两字使用绿色显示，否则使用红色显示。

7.2 冲击电流

当给负载通电的一瞬间，通常会产生大电流，这就是冲击电流，这种现象体现在容性负载中，在给电容上电瞬间相当于短路，瞬间电流理论上无限大的。冲击电流用来测量开关电源打开瞬间对输入端产生的冲击电流，为电流样本数据中的极大值。

7.2.1 测量步骤

(1)、测量冲击电流与上述的谐波分析类似，电路如图 7.5 所示。电源处于不上电状态，通道 1 接入高压差分探头，通道 2 接入电流探头。

(2)、将信号接入示波器后，点击通道【1】按钮进入通道 1 界面，将【探头类型】改为“电压探头”，【探头比率】改为“500X”（此档位与高压差分探头上的档位一致），再点击通道【2】按钮进入通道 2 界面，将【探头类型】改为“电流探头”，【探头比率】改为“1V/A”（此档位与电流探头上的档位一致）。设置好探头参数后点击【Auto Setup】，波形将以较好的效果显示在屏幕上，点击【Analyze】进入电源分析界面，功能选择【冲击电流】，点击【参数配置】进入参数配置界面，如图 7.10 所示。

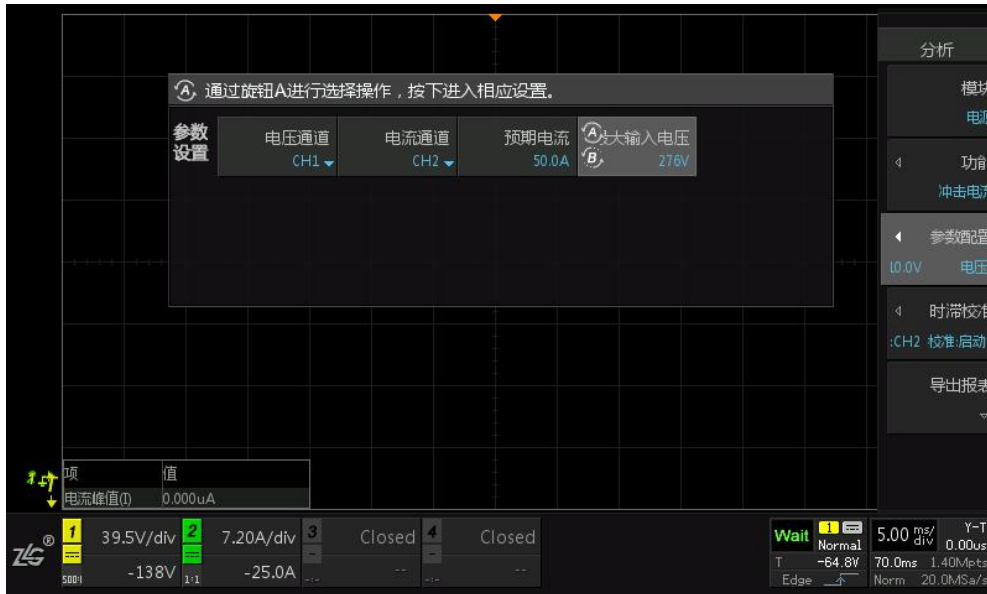


图 7.10 冲击电流参数配置

电压通道：为高压差分探头接入的通道；

电流通道：为电流探头接入的通道；

预期电流：预计开关电压打开时，可能产生的最大的冲击电流值；

最大输入电压：输入端最大的电压峰峰值。

(3)、本次测量需要采用示波器的单次捕获功能，来捕获电源打开瞬间的冲击电流，点击【Single】即可，设置好所有参数后给电源上电，上电瞬间即可测出冲击电流，测量结果如图 7.11 左下角所示。



图 7.11 冲击电流

7.3 输出纹波

输出纹波主要指输出的直流中的交流成分，在电路的频率和开关的频率都有可能产生纹波。在一些设备中对这些纹波非常敏感，所以必须对电源输出的纹波进行测量，一般纹波大小为 mV，采用峰峰值表示。

7.3.1 测量步骤

(1)、示波器与探头连接示意图如图 7.12 所示。输出端信号接入到示波器中，其中通道 1 接高压差分探头，通道 2 接电流探头。（注意：若输出电压较大可选用高压差分探头，若输出电压较小使用普通探头即可）

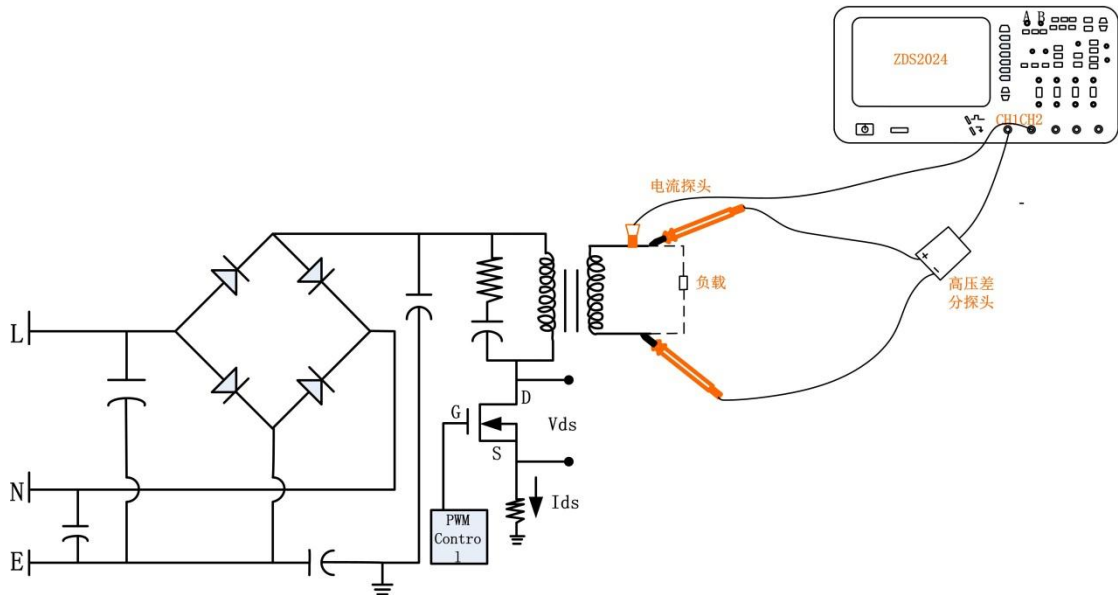


图 7.12 探头与电路连接示意图

(2)、调节好电流探头和电压探头的探头比率后，点击【Auto Setup】一键捕获波形信号，波形信号以较好的效果显示在屏幕上，若看到的信号为一条直线，可将信号的垂直档位放大后看波形，因为输出纹波信号幅度比较小。点击【通道 1】进入通道界面，将通道耦合方式改为【交流】。

(3)、点击【Analyze】进入电源分析界面，功能选择【输出纹波】，点击【参数配置】进入参数配置界面，如下图 7.13 所示。

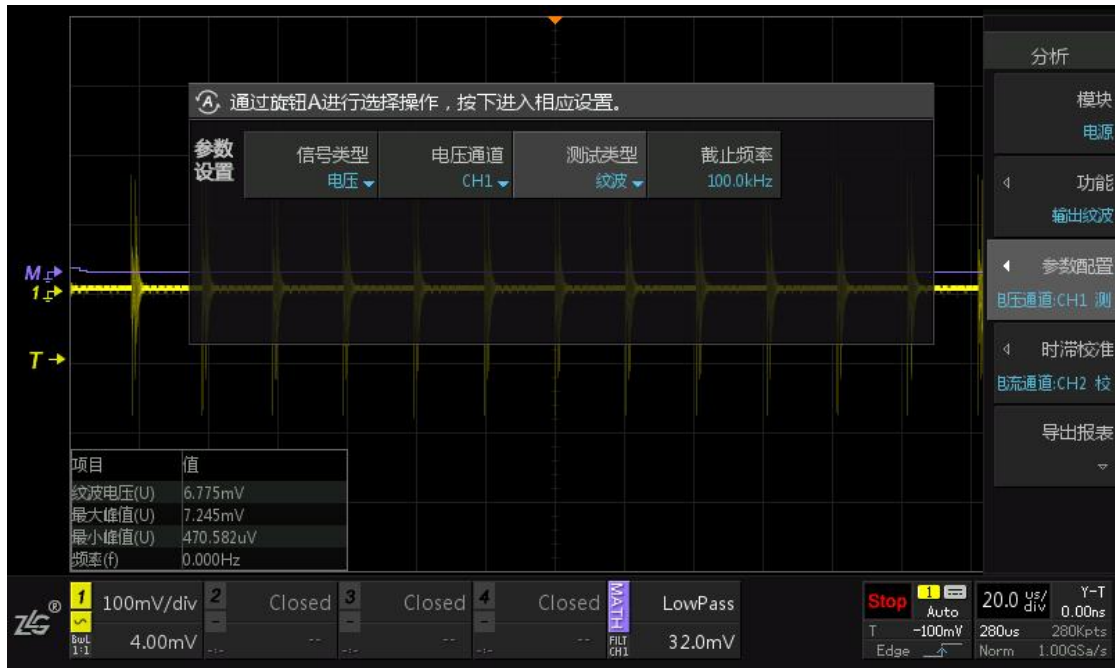


图 7.13 输出纹波参数配置

信号类型：有“电流”和“电压”两个选项，若接入电流探头则测量电流信号的纹波，若接入电压探头则测量电压信号的纹波。

电流/电压通道：探头接入示波器的通道号。

测试类型：测试类型有“纹波”和“噪声”两种，可测量纹波和噪声的电流电压情况。

截止频率：用来设置进行低通滤波的截止频率，滤除高频成分得到纹波的主要成分，包括频率和幅值。该设置用于滤波计算中，选择不同的截止频率时，得到的结果也是不一样的。故需要根据具体的使用环境，来调整该频率，以获得理想的纹波。

(4)、点击【返回】即可查看到测量结果，如下图所示。同时在屏幕上可以看到紫色的波形为滤除高频噪声后的纹波。滤除后的测量结果显示在示波器左下角的表格中。

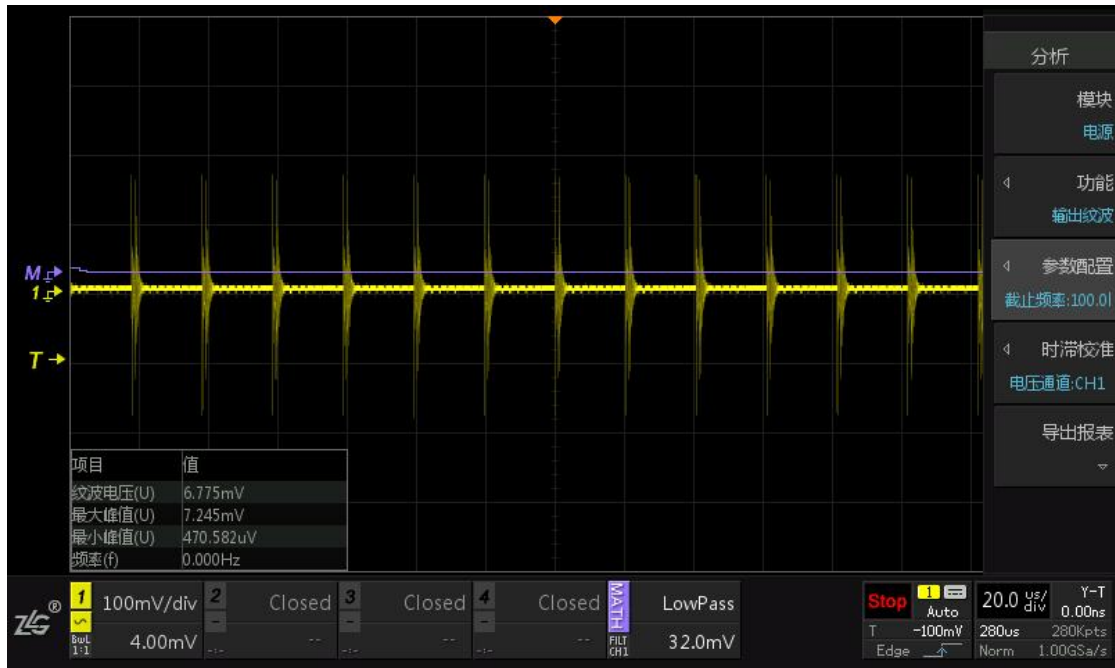


图 7.14 输出纹波测量结果

测量结果表格中有 4 个项目：

纹波/噪声电流：滤波后的电流有效值；

最大峰值：滤波后的电流最大峰值；

最小峰值：滤波后的电流最小峰值；

频率：滤波后信号的频率。

7.4 瞬态分析

瞬态响应分析将测量输出直流电压/电流至稳定的时间，即输出负载的电流/电压开始突然变化（输出电流增大或减小）之后，稳定至用户设置的预计输出电平百分比范围的时间。

7.4.1 测量步骤

(1)、示波器与探头连接示意图如图 7.15 所示。本次主要测输出负载在电源中的瞬态响应，其中通道 1 接电压探头探头，通道 2 接电流探头。（注意电源电路为断开状态）

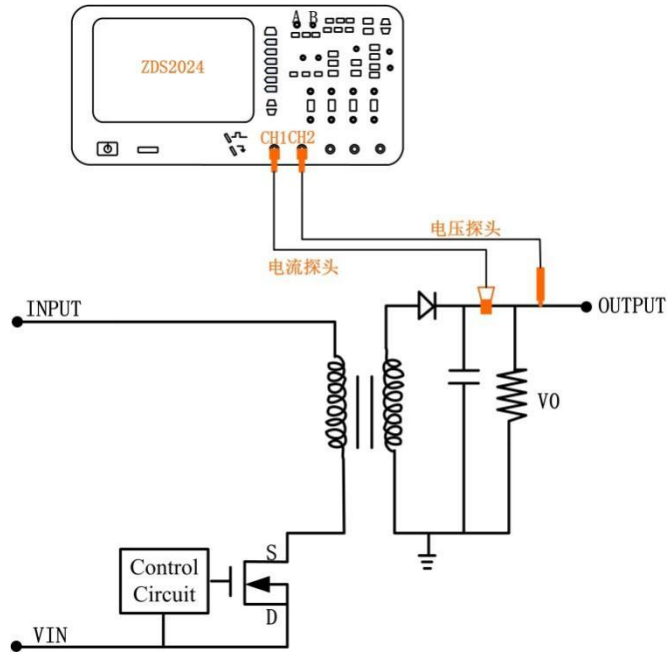


图 7.15 瞬态分析电路连接图

(2)、调节好电流探头和电压探头的探头比率后，点击【Trigger】进入触发界面，将触发方式设置为【边沿触发】，点击【Analyze】进入电源分析界面，【功能】选择【瞬态分析】，点击【参数配置】进入参数配置界面，如图 7.16 所示，之后点击设置单次捕获【Single】。

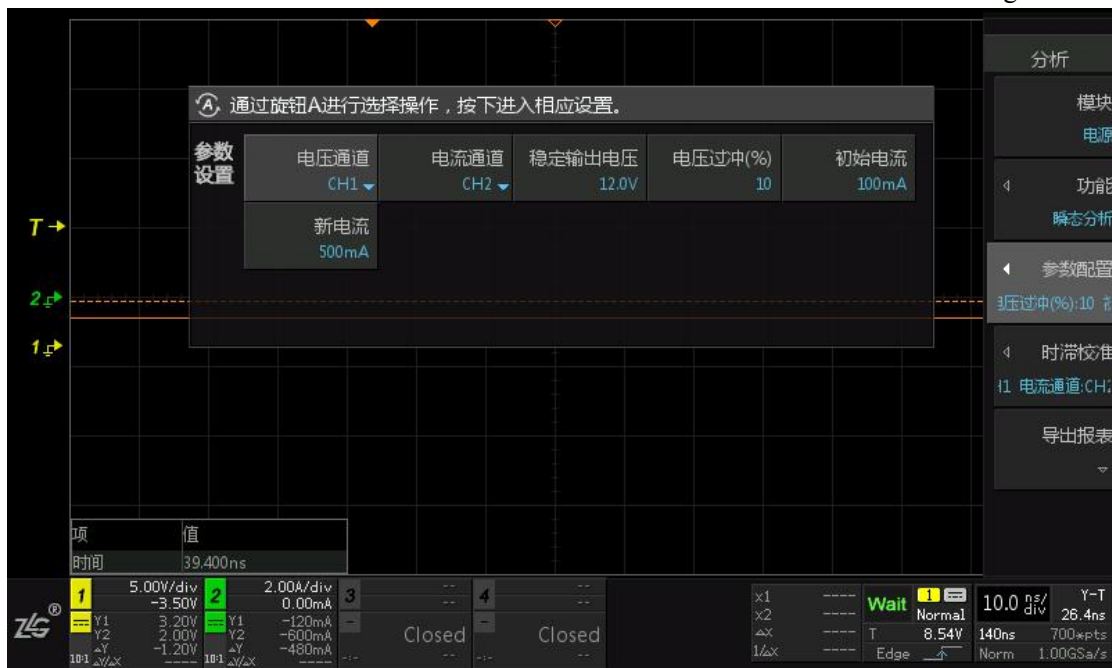


图 7.16 瞬态分析参数配置

电压通道：电压探头接入的通道；

电流通道：电流探头接入的通道；

稳定输出电压：稳定状态下输出端输出的电压值；

电压过冲 (%)：用来判断输出端电压是否已经处于稳定状态，即电压值波动在过冲百分比

之内就认为已经处于稳定输出状态；

初始电流： 负载开始时的电流值；

新电流： 负载变化后的电流值。

(3)、最后给电源上电，上电瞬间的负载电压/电流变化到稳定状态即可被抓出来，测量结果显示在左下角，如图 7.17 所示。

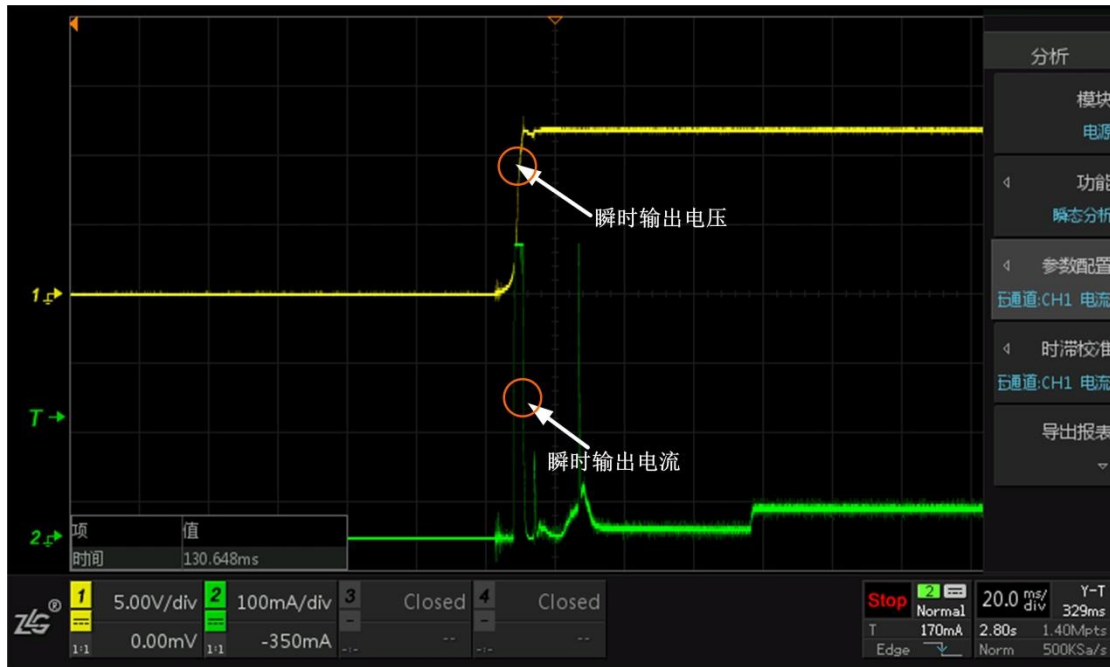


图 7.17 瞬态分析

时间： 表示负载瞬态变化时间值。

其计算方法为：电流通道波形中负载电流状态 A 变化到状态 B 时的电流中间值 C，与电压通道波形的输出端电压稳定输出为预期输出值的正负波动 10% 的点 D，C~D 之间的时间值即为负载的瞬态时间值，具体如图 7.18 所示。

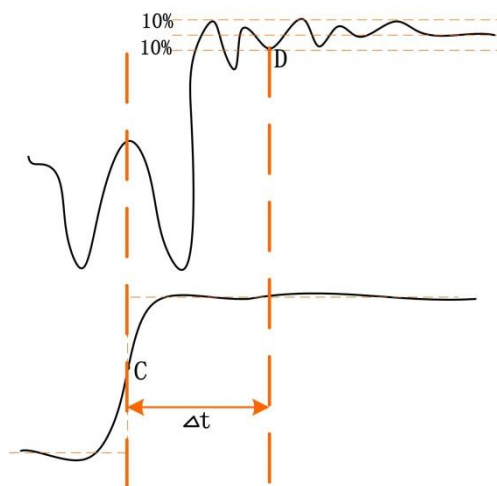


图 7.18 瞬态时间值计算原理

7.5 启动/关闭时间

启动分析测量从最初打开电源到直流输出达到理想稳态 90% 期间的的时间。关闭分析测量从关闭电源到直流输出衰减到稳态 20% 期间的的时间。

启动时间计算方式: 开始位置为输入电压峰值的 10%, 结束位置为输出稳定电压的 90%。

关闭时间计算方式: 开始位置为输入电压峰值的 20%, 结束位置为输出稳定电压的 20%。

7.5.1 测量步骤

(1)、示波器与探头连接示意图如图 7.19 所示。本次主要测打开电源和关闭电源至稳定的时间, 其中通道 1 使用高压差分电压探头接信号输入端, 通道 2 使用普通电压探头接信号输出端。(注意测启动时间时电源电路为断开状态, 测关闭时间时为打开状态)

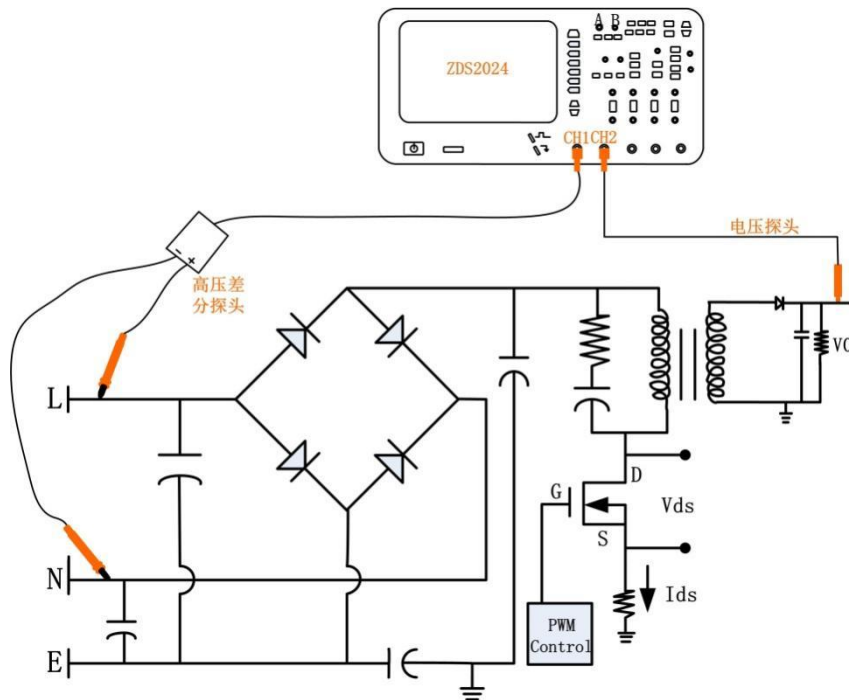


图 7.19 启动/关闭时间连接图

(2)、点击【Analyze】进入电源分析界面, 【功能】选择【启动/关闭时间】, 点击【参数配置】进入参数配置界面, 如图 7.20 所示, 之后将时基档位调为 500ms/div, 再点击设置单次捕获【Single】, 以捕获启动/关闭时的瞬间数据。

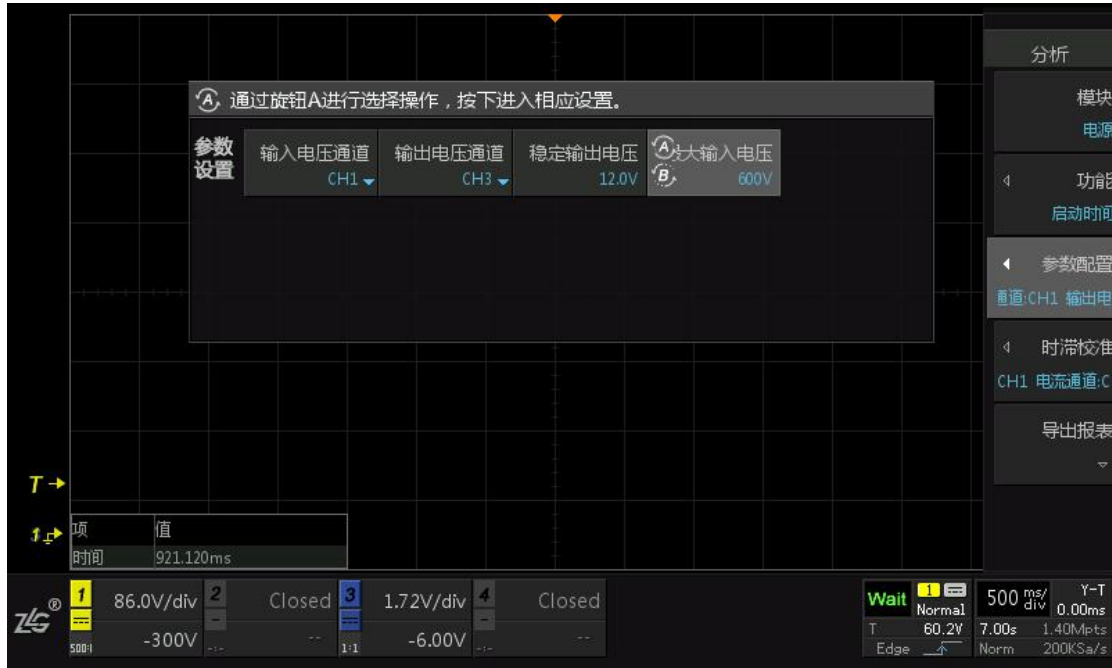


图 7.20 启动时间参数配置

输入电压通道：输入端的通道选择；

输出电压通道：输出端的通道选择；

稳定输出电压值：输出端稳定输出的电压值；

最大输入峰峰值电压：输入端的电压峰峰值。

(3)、最后给电源上电/断电，上电/断电瞬间的启动/关闭时间即可测出，测量结果显示在左下角。

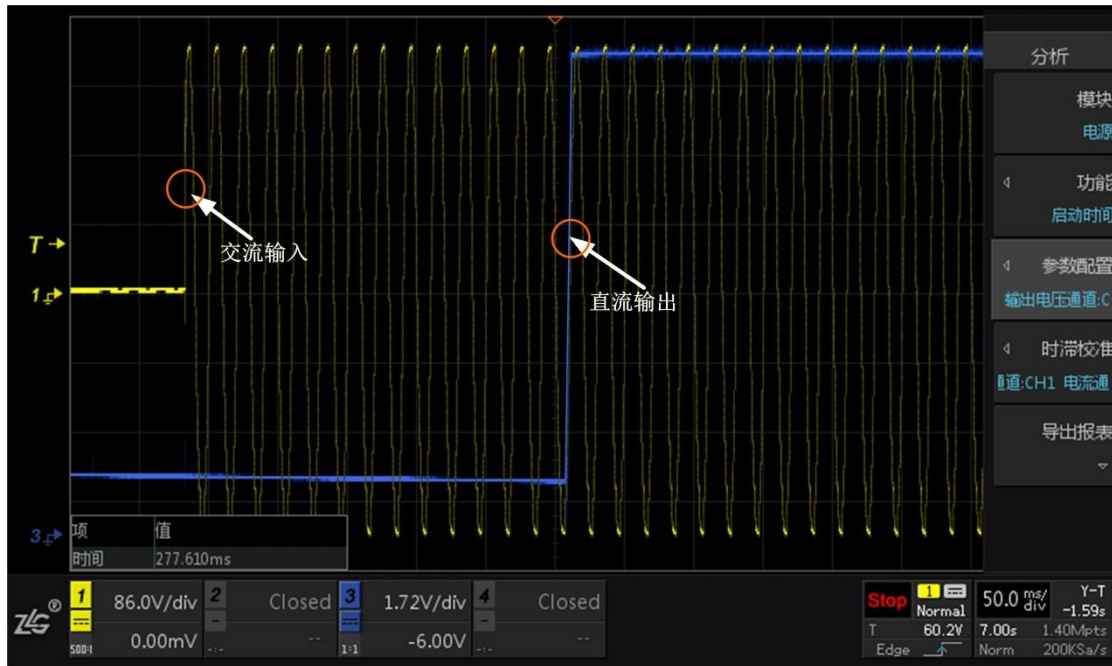


图 7.21 启动时间效果



图 7.22 关闭时间效果

7.6 效率分析

功率分析模块，主要计算输入端和输出端的功率，以此来估算电源模块的转换效率。

主要计算的项有：输入端电压有效值、输入端电流有效值、输入端有功功率、输出端电压有效值、输出端电流有效值、输出端有功功率。

7.6.1 测量步骤

(1)、测量效率分析需要测量输入输出电压和电流的情况，电路如图 7.23 所示。通道 1 使用高压差分探头测输出端的电压，通道 2 使用电流探头测输出端的电流，通道 3 使用高压差分探头测输入端的电压，通道 4 使用电流探头测输入端的电流。

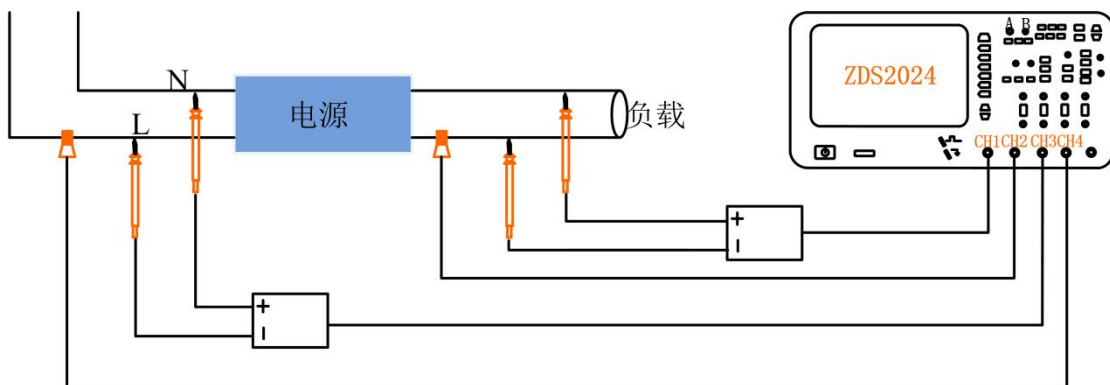


图 7.23 效率分析连接图

(2)、将信号接入示波器后，点击通道【1】和通道【3】按钮进入通道界面，将【探头类型】改为“电压探头”，【探头比率】改为“500X”（此档位与高压差分探头上的档位一致），再点击通道【2】和通道【4】按钮进入通道界面，将【探头类型】改为“电流探头”，【探头比率】改为“1V/A”（此档位与电流探头上的档位一致）。设置好探头参数后点击【Auto Setup】，

波形将以较好的效果显示在屏幕上，点击【Analyze】进入电源分析界面，功能选择【效率分析】，点击【参数配置】进入参数配置界面，如下图 7.24 所示，效率分析的参数配置有输入电压/电流通道和输出电压/电流通道。

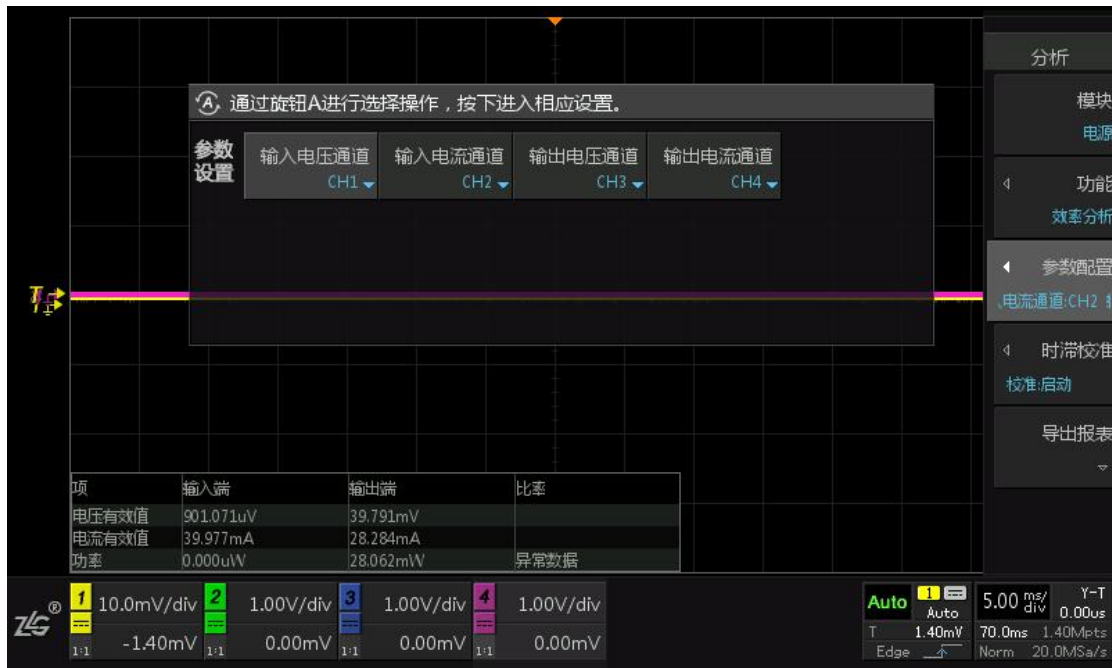


图 7.24 效率分析参数设置测量结果

(3)、测量结果以表格的形式显示，共有三列，分别是：输入端、输出端和比率三者的电压/电流有效值和功率。

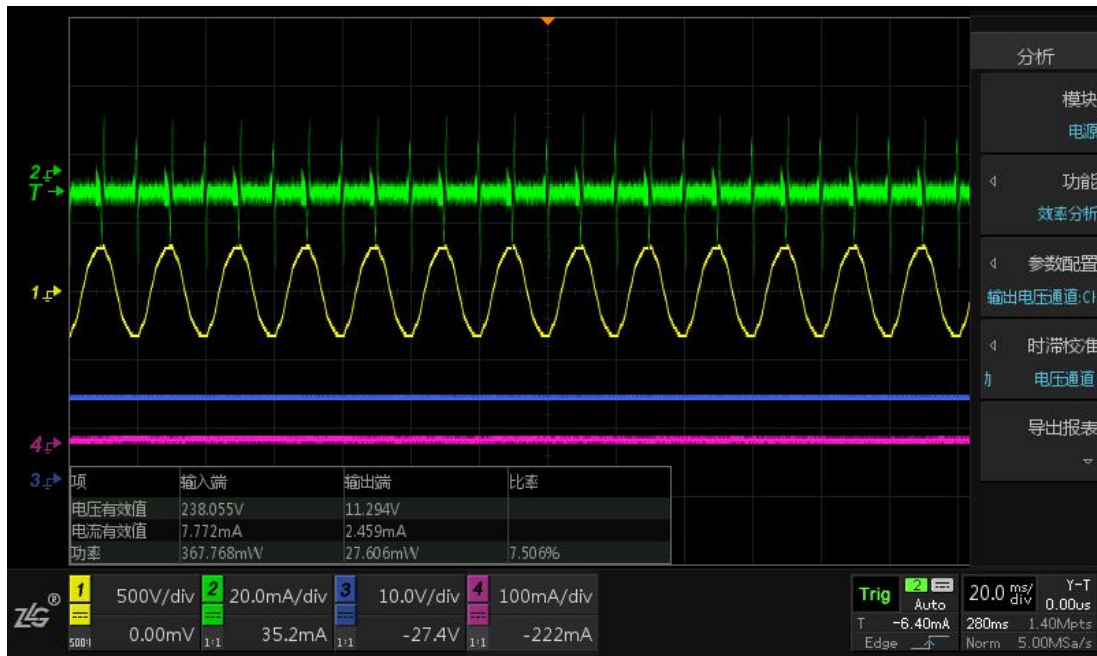


图 7.25 效率分析测量结果

7.7 开关元件分析

开关电源(SMPS)技术依托电源半导体开关设备，如金属氧化物场效应晶体管(MOSFET)

和绝缘门双极晶体管(IGBT)。这些设备提供了快速开关时间,能够耐受没有规律的电压峰值。同样重要的是,其在 On 状态或 Off 状态下消耗的功率非常小,实现了很高的效率,而生成的热量很低。开关设备在极大程度上决定着 SMPS 的整体性能。开关设备的关键测量项目包括开关损耗、平均功率损耗等等。

故开关元件分析主要涉及以下功能: **开关损耗、SOA (安全工作区)、动态开点电阻、dv/dt、di/dt。**

7.7.1 开关损耗

开关电源的开关器件总是工作在打开或关闭状态,可以提供更高的效率。理想情况下,开关器件打开和关闭是没有损耗的。如图 7.26 所示。

- ON = 完全导通(理想情况下 $V = 0$, 意味着开关损耗 $P = V \times I = 0$)
- OFF = 完全关闭(理想情况下 $I = 0$,意味着开关损耗 $P = V \times I = 0$)

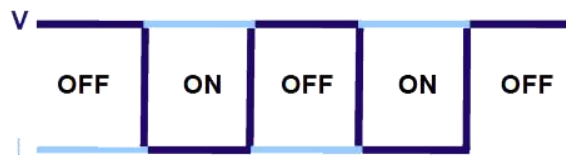


图 7.26 理想开关器件

但现实情况中,是在存功率损耗的。主要包括开关损耗,传导损耗。如下图 7.27 所示。

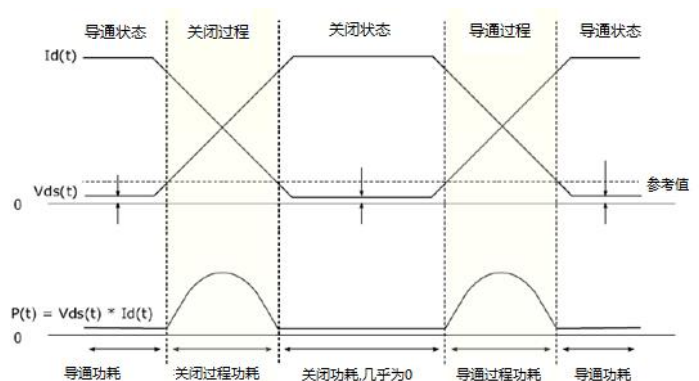


图 7.27 实际损耗

针对功率损耗主要计算主要包括三部分之和:

导通过程损耗+关闭过程损耗+导通损耗

$$P_{loss} = P_{on} + P_{off} + P_{cond}$$

7.7.2 SOA (安全工作区)

安全工作区: SOA (Safe operating area) 是由一系列(电压, 电流)坐标点形成的一个二维区域, 开关器件正常工作时的电压和电流都不会超过该区域。简单的讲, 只要器件工作在 SOA 区域内就是安全的, 超过这个区域就存在危险。

器件手册一般都会提供 SOA (Safe operating area) 数据图表, 主要和晶圆的散热、瞬间电压和电流的承受能力有关, 通过 I_{DM} 和 V_{DS} 及器件晶圆沟道损耗的限制形成一个工作区域, 称为安全工作区, 如图 7.28 所示。安全工作区可以避免管子因结温过高而损坏。 I_{DM} 、

V_{DS} 两个参数的解读如下：

- V_{DS} (Drain-source voltage)：漏源电压标称值，反应的是漏源极能承受的最大的电压值；
- I_{DM} (Drain current(pulsed))：漏源最大单脉冲电流（非重复脉冲），反应的是漏源极可承受的单次脉冲电流强。

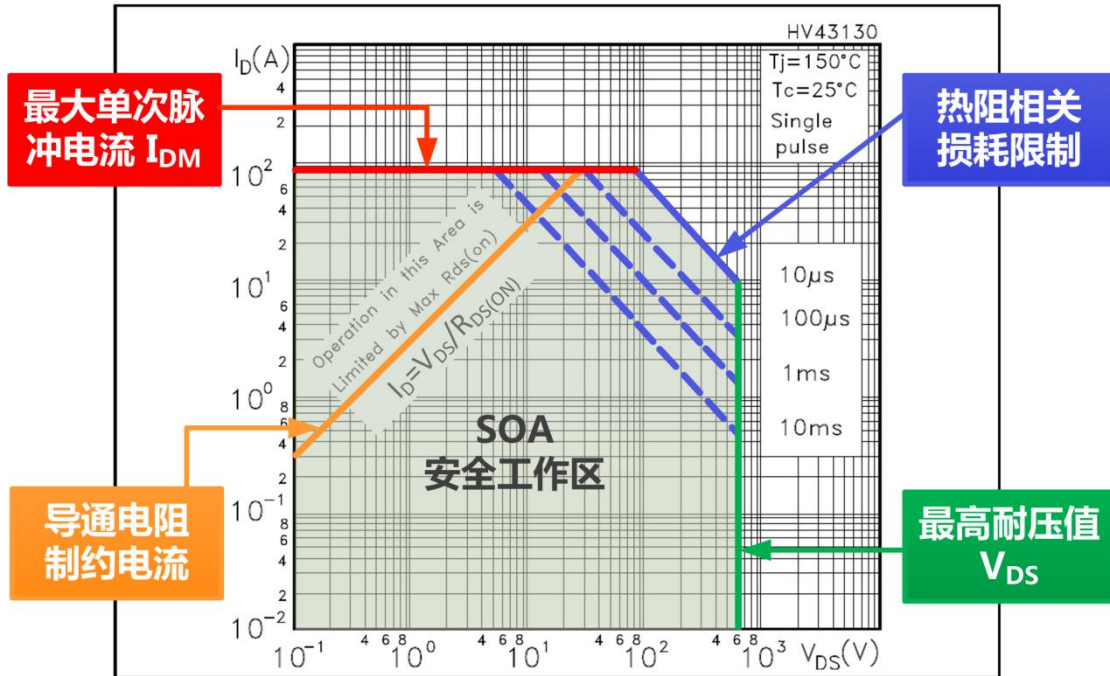


图 7.28 安全工作区

1. 测量步骤

(1)、开关元件分析的接线示意图如图 7.29 所示。其中通道 1 使用高压差分电压探头接开关的两端，通道 2 使用电流探头接开关的一端。

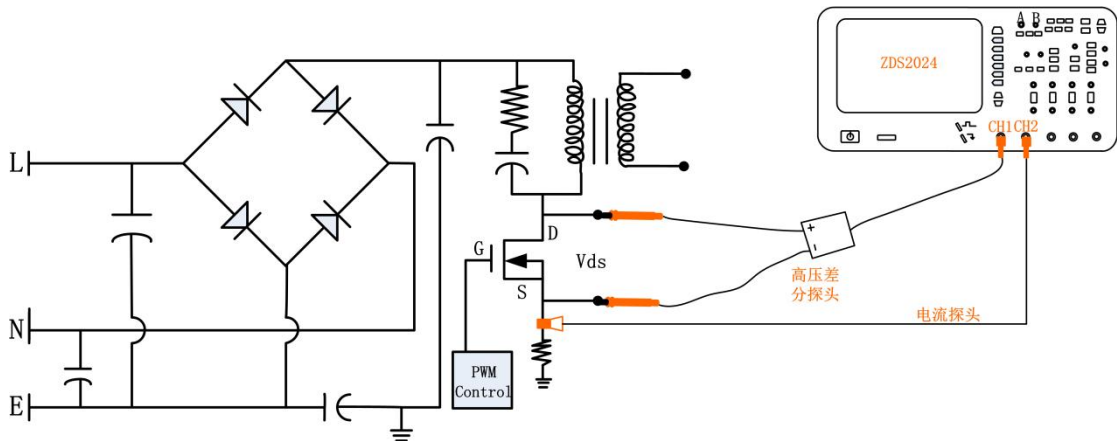


图 7.29 开关元件接线示意图

(2)、调节好电流探头和电压探头的探头比率后，点击【Analyze】进入电源分析测试界面，在【功能】中选择【SOA】，点击【参数配置】进入参数设置界面，如图 7.30 所示。

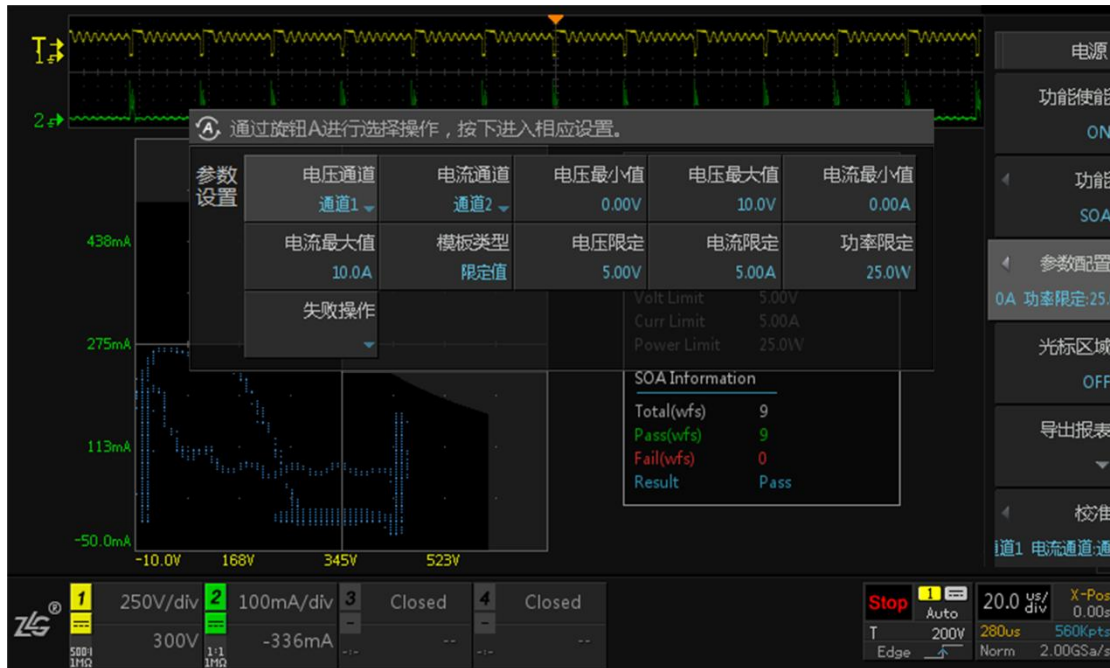


图 7.30 SOA 参数设置

- 电压和电流通道——用于测量开关两端的电压和流过开关的电流。注意电压电流选择的参考方向要一致。
- 电压最小值和电压最大值——用于设置 SOA 的网格电压轴的显示最小值和最大值。
- 电流最小值和电压最大值——用于设置 SOA 的网格电流轴的显示最小值和最大值。
- 模板类型——SOA 模式的生成类型，有两个类型，分别是限定值和设置点。当选择类型为限定值时，其对应的参数为电压限定、电流限定和功率限定；当选择类型为设置点时，其对应的参数有设置点个数、当前点索引、当前点电压和当前点电流。
- 电压限定——最高耐压值 V_{DS} 。
- 电流限定——最大单脉冲电流值 I_{DM} 。
- 功率限定——热阻相关损耗限制。
- 设置点个数——需要设置的点的个数。
- 当前点索引——需要设置的第几个点。
- 当前点电压——根据当前点索引设置的第几个点，进行电压设置。
- 当前点电流——根据当前点索引设置的第几个点，进行电流设置。
- 失败操作——即若模板测试过程中无法通过测试 (Fail) 时，将执行的操作。可操作的事件如图 7.31 所示



图 7.31 失败操作

操作事件包括：

停止运行：即当测试超出安全区域时，系统会停止运行；

声音提示：即当出现测试不通过时，系统会发出警报声（蜂鸣器）提醒；

保存截图：即当出现测试不通过时，系统会自动保存当前结果图。

三项可以同时选择，若一项都不选择，则若出现失败项不做任何提醒。

(3)、测量结果界面如图 7.32 所示。



图 7.32 SOA 测量结果

7.7.3 动态开点电阻

可以使用元件产品技术资料中给出的 $R_{DS(on)}$ 值，估算开关设备在“on”状态下的电阻。但是，实际电阻(进而是开关传导损耗)并不是恒定不变的，可能会随着开关电压或电流变化而明显变化。一般计算动态开点电阻采用测量在打开时的 25%~75%时间段的电压电流值。如图 7.33 所示。用于判定开关的状态。

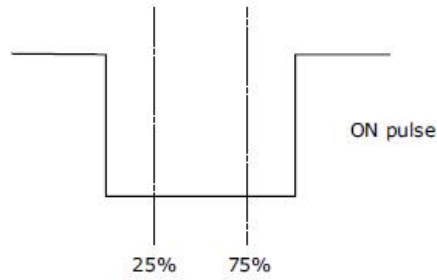


图 7.33 态开点电阻计算点

7.7.4 dv/dt、di/dt

dv/dt 指标则表示电压在开关过程中的变化速率，di/dt 指标表示电流在开关过程中的变化速率。此功能用于计算单位时间内电压或者电流的变化率。

7.7.5 【开关损耗】 / 【动态开点电阻】 / 【dv/dt】 / 【di/dt】 具体的测量步骤

(1)、开关元件分析的接线示意图如下图 7.34 所示。其中通道 1 使用高压差分电压探头接开关的两端，通道 2 使用电流探头接开关的一端。

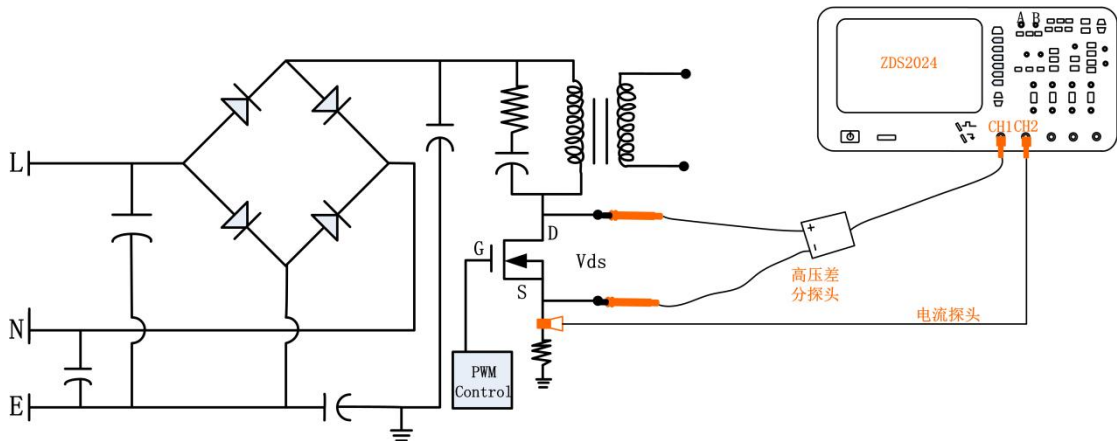


图 7.34 开关元件接线示意图

(2)、调节好电流探头和电压探头的探头比率后，点击【Analyze】进入电源分析测试界面，在【功能】中选择【开关损耗】 / 【动态开点电阻】 / 【dv/dt】 / 【di/dt】，点击【参数配置】进入参数设置界面，如下图 7.35 所示。参数设置用于判定开关的状态，需要进行设置的参数有电压通道、电流通道、参考电压、参考电流和导通计算选择。

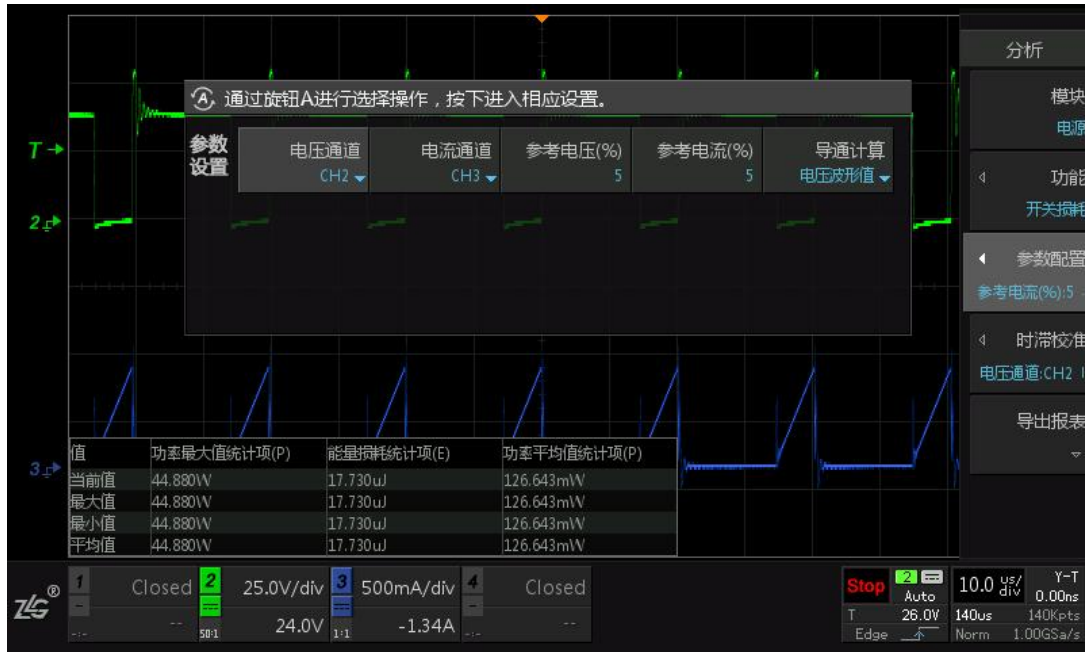


图 7.35 开关损耗参数设置

- 电压和电流通道——用于测量开关两端的电压和流过开关的电流。注意电压电流选择的参考方向要一致。
- 参考电压——用来识别导通状态。当电压值小于波形最大电压的参考电压百分比时，认为该状态为导通状态。
- 参考电流——用来识别关闭状态。当电流值小于波形最大电流的参考百分比时，认为该状态为关闭状态。
- 导通计算——用于选择导通时功率的计算方法，可选择使用波形数据、 $R_{DS(on)}$ 或者 $V_{ce(stat)}$ 。



图 7.36 计算方式选择

(3)、计算结果表格如图 7.37 所示。

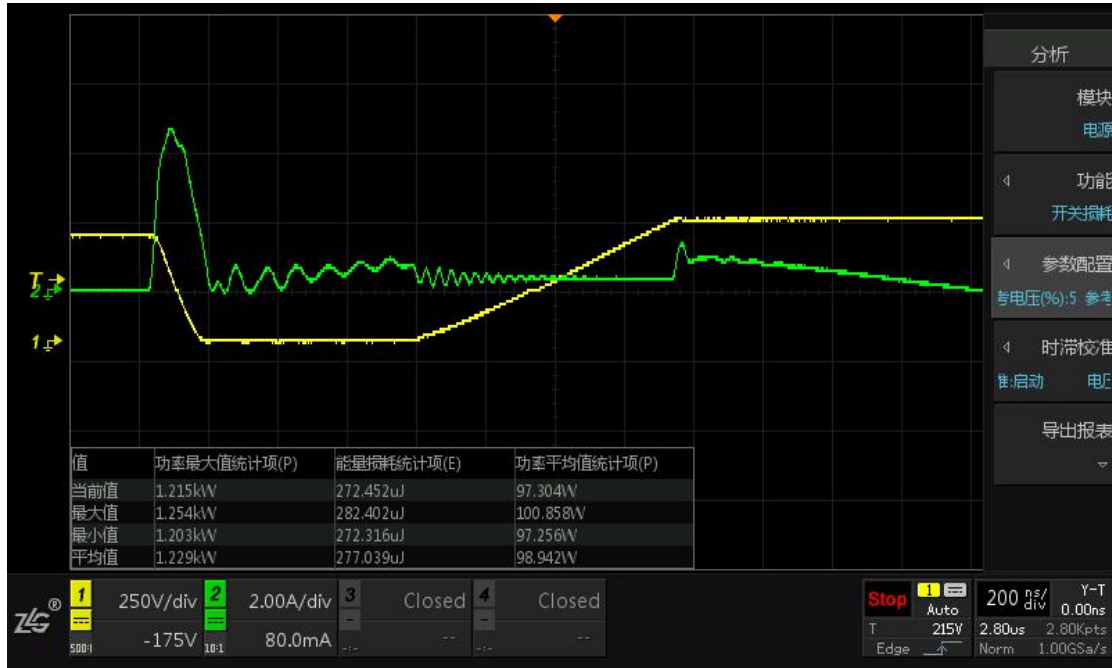


图 7.37 开关损耗测量结果

- 当前值

该行结果为当前样本的计算结果。

- 最大值、最小值和平均值

统计结果，可以使用 Clear 进行清除并重新开始统计。

- 功率最大统计项(P)

瞬时功率最大值。

- 能量最大统计项 (E)

与瞬时功率对应的能量，其时间是一个采样间隔。

- 功率平均值统计项(P)

整个样本平均功率。



图 7.38 dv/dt 或 di/dt 效果图

其中黄色为 dv/dt，绿色为 di/dt。

7.8 磁性分析

无源元件是指不放大信号或开关信号的元件。电源采用全系列无源元件，如电阻器和电容器，但从测量角度看，主要重点要放在磁性元件(磁性器件)上，特别是电感器和变压器。电感器和变压器都由外面缠着几圈铜线的铁芯组成。

电感器的阻抗会随着频率提高而提高，对较高频率的阻挡作用要高于较低频率，因此适合滤波电源输入和输出上的电流。

变压器把初级线圈的电压和电流耦合到次级线圈上，提高或降低信号电平(电压或电流，但不能同时是两者)。因此，变压器可以在初级线圈上接受 120V 的电压，然后在次级线圈上逐步下降到 12V，同时次级线圈上的电流会成比例提高。注意这不视为放大，因为信号净功率不会提高。由于变压器初级线圈和次级线圈并没有在电气上相连，因此它们也用来实现电路单元之间的隔离。

有助于确定电源性能的部分指标包括：

- 电感
- 功率损耗(磁性元件)
- I-V 关系以及磁性属性

为了计算这些数据，需要设置磁性元件有关参数，首先必须确定使用的单位 SI 或者 CGS，根据单位的不同，其参数的配置和范围略有不同。需要配置的参数有：

S -- 线圈横截面上

L -- 平均磁路长度

V -- 磁芯体积

电源使用电感器作为能量贮存设备、滤波器或变压器。作为变压器时，电感器可以帮助保持开关式电源中的振荡。设计人员需要监测这种设备在工作条件下的行为。电感值取决于

电流和电压来源、激发信号、波形和工作频率。

7.8.1 电感

电感值取决于电流和电压源、激励信号、波形以及工作频率，电感定义式：

$$L = \frac{\int -Vdt}{I}$$

其中：

- L 是电感(单位为亨利)
- V 是流经电感器的电压
- I 是流经电感器的电流
- dt 是信号中的变化速率或转换速率

电感测量本身非常简单，只是探测流经磁性元件的电压和电流。

7.8.2 磁损耗

磁性功率损耗影响着电源的效率、可靠性和热性能。

有两种功率损耗与磁性单元有关：**磁芯损耗和剩余损耗**。

磁芯损耗由磁滞损耗和涡流损耗构成。磁滞损耗与 DC 通量频率有关，每单位容量磁滞损耗用下公式表示：

$$P_{Hyst} = \int HdB$$

其中：

- PHyst 是每单位容量的磁滞损耗。
- H 是场强
- B 是通量密度。

可以使用磁芯制造商的产品技术资料计算磁芯损耗。

剩余损耗取决于 DC 电阻、趋肤效应和接近效应，因而不便运算。

7.8.3 测量步骤

(1)、通道 1 使用电流探头接磁性元件的正端，通道 2 使用高压差分探头接磁性元件的两端，具体如下图 7.39 所示。

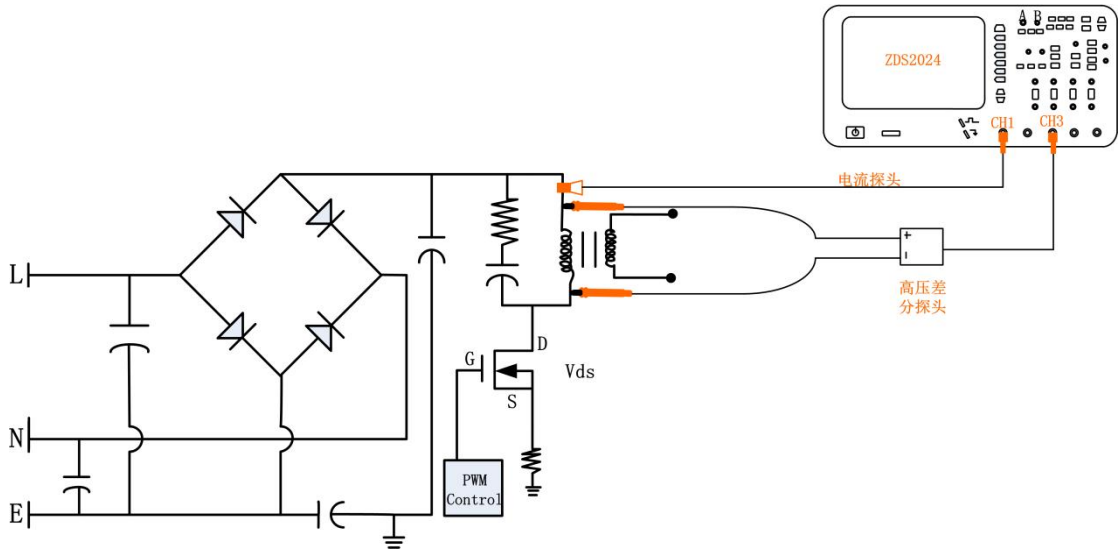


图 7.39 磁性分析接线示意图

(2)、调节好电流探头和电压探头的探头比率后，点击【Analyze】进入电源分析测试界面，在【功能】中选择【磁性分析】，点击【参数配置】进入参数设置界面，如下图 7.40 所示需要配置的参数有电压通道、电流通路，平均磁路长度、截面积和磁芯体积。



图 7.40 磁性分析参数配置

平均磁路长度 – 为磁性元件手册标称的磁路长度值。

横截面积 – 为磁性元件手册标称的横截面积值。

磁性体积 – 为磁性元件手册标称的磁性体积值。

这三项配置主要用来计算磁损耗值。

(3)、计算结果包括电压/电流有效值、频率、电感和铁芯损耗，如图 7.40 所示。

7.9 调制模块分析

调制分析用于电源控制环路的测量。调制分析通常用于表征从直流输出到开关晶体管选通端脉宽调制 (PWM) 的反馈，以实现动态的电压调节。

对于调制分析，主要涉及以下几个方面的测试分：脉冲分析、占空比、周期、频率、上升时间和下降时间。

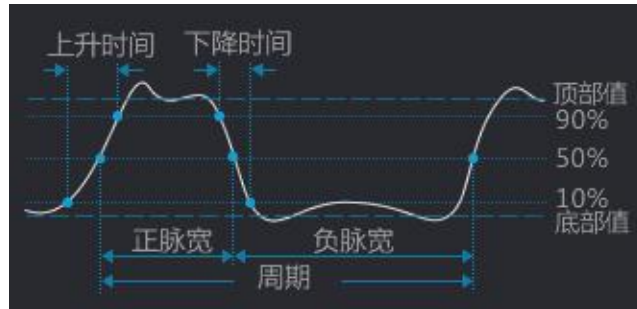


图 7.41 调制模块分析参数定义

7.9.1 脉冲分析

所采集波形的脉冲宽度变化的趋势。它是脉冲上升沿和下降沿之间的时间差。统计数据为：

采用波形显示的实时脉冲宽度：正脉冲： $T_m - T_n$

负脉冲： $T_{n+1} - T_m$

另外统计脉冲宽度的最大，最小以及平均值。

7.9.2 占空比

测量波形的占空比，它是一个趋势图。占空比可为正，也可为负。统计数据为：

采用波形显示的实时占空比：正脉冲占空比 $100 * (T_m - T_n) / (T_{n+1} - T_n)$

负脉冲占空比 $100 * (T_{n+1} - T_m) / (T_{n+1} - T_n)$

同时统计占空比的最大，最小以及平均值。

7.9.3 周期

从上升沿到上升沿或下降沿到下降沿测量的周期变化的趋势。统计数据为：

采用波形显示的周期： $T_{n+1} - T_n$

同时统计周期的最大，最小以及平均值。

7.9.4 频率

信号频率变化的趋势。统计数据为：采用波形显示的频率： $1 / (T_{n+1} - T_n)$

同时统计频率的最大，最小以及平均值

7.9.5 上升时间和下降时间

先出现一个 lower 上升沿，后出现一个 upper 上升沿就认为是一个上升时间。先出现一个 upper 下降沿，后出现一个 lower 下降沿就认为是一个下降时间。

7.9.6 测量步骤

(1)、通道 1 使用高压差分电压探头接开关的两端，具体如下图 7.42 所示。

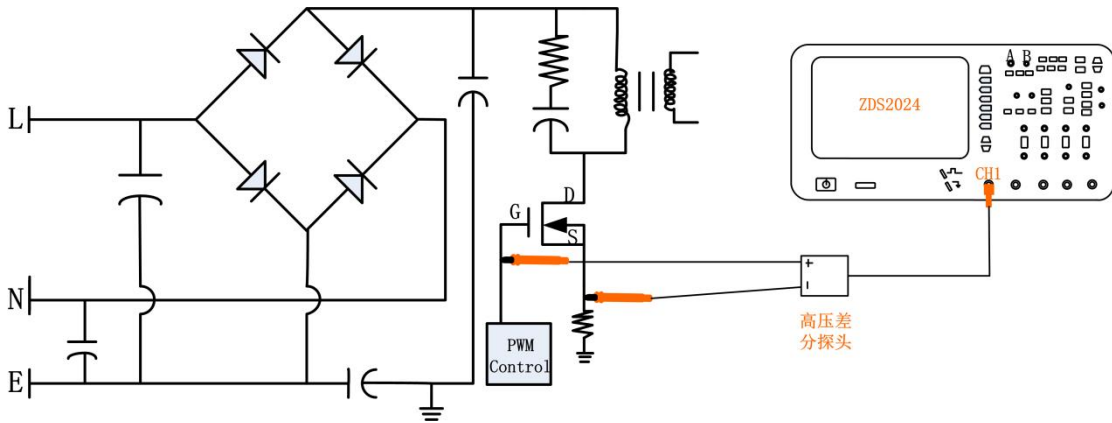


图 7.42 调制分析接线示意图

(2)、调节好电压探头的探头比率后，点击【Analyze】进入电源分析测试界面，在【功能】中选择【脉冲分析】/【安占空比】/【周期】/【频率】/【上升/下降时间】，点击【参数配置】进入参数设置界面，如下图 7.43 所示

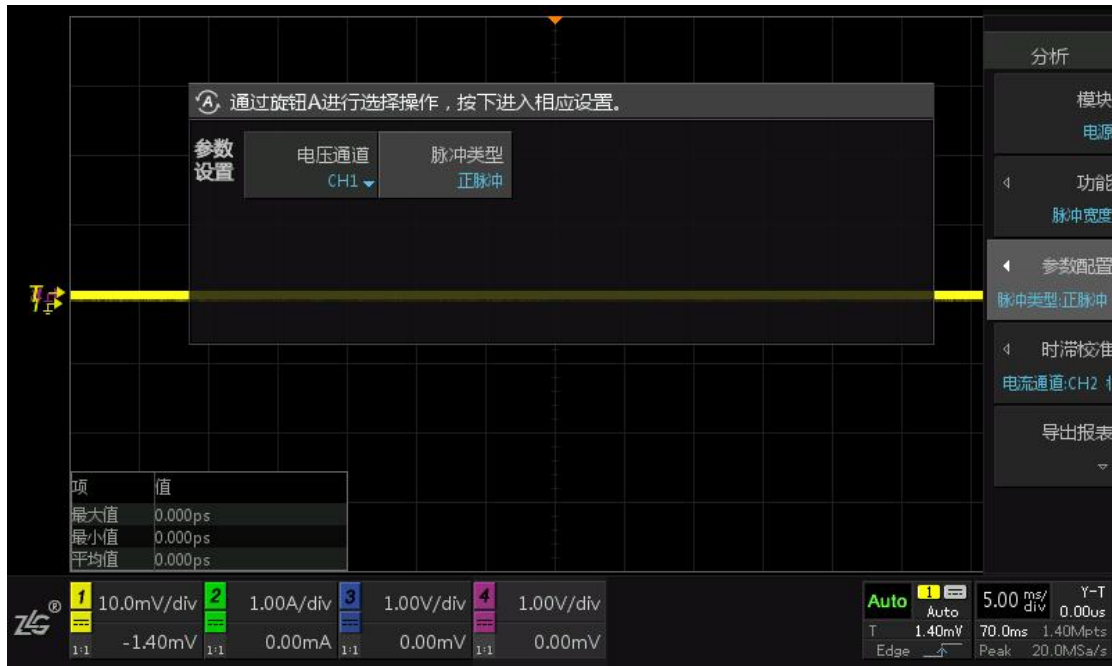


图 7.43 调制分析参数设置

电压通道——电压探头接入的相应通道

脉冲类型——本次所要计算的脉冲类型，有正脉宽和负脉宽。

(3)、测量结果最后会给出相应测量项的最大值、最小值、和平均值。

8. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远仪器有限公司（下称“致远仪器”）在本手册中将尽可能地为用户呈现详实、准确的产品信息。但鉴于本手册的内容具有一定的时效性，致远仪器不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远仪器有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问致远仪器官方网站或者与致远仪器工作人员联系。感谢您的包容与支持！

赋能高效测试， 共创美好生活

Empower efficient testing, co-create a better life

广州致远仪器有限公司

更多详情请访问
www.zlgtmi.com

欢迎拨打全国服务热线
400-888-4005

