

基于主从结构微网控制策略运行分析*

付子义 王艺龙

(河南理工大学电气工程与自动化学院 焦作 454000)

摘要: 由于针对主从结构微网控制策略问题,利用国际通用大型电磁暂态仿真软件 PSCAD/EMTDC 软件搭建三微源低电压微网仿真模型,在并网运行时,采用 PQ 控制,实现微源最大功率输出;当孤岛运行时,主控微源通过状态跟随器切换至 V/F 控制,为微网稳定运行提供电压和频率支撑。通过电磁暂态 PSCAD/EMTDC 软件分析了主从结构微网系统分别在并网运行与孤岛运行时的动态特性。仿真结果验证了所构建的主从结构微网控制策略的有效性和可行性。为进一步研究主从结构微网控制策略奠定基础。

关键词: 微网;主从控制;PQ 控制;V/F 控制;控制策略

中图分类号: TM72 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4054

Operation analysis of microgrids control method based on master-slave configuration

Fu Ziyi Wang Yilong

(School of Electrical Engineering & Automation Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: According to the master-slave structure of microgrids control strategy, three micro source low voltage microgrids simulation model is built using the general large electromagnetic transient simulation software PSCAD / EMTDC, in grid connected operation, using PQ control, micro source maximum power output; in the islanding operation, the main control of micro sources using V / F control, for the stable operation of microgrids provides voltage and frequency support. Master-slave structure of microgrids system respectively in the operation of grid connected and islanded operation dynamic characteristics are analyzed by electromagnetic transient simulation software PSCAD / EMTDC. The simulation results verify the effectiveness and feasibility of the proposed control strategy. To lay the foundation for further research on the control strategy of the master slave structure.

Keywords: microgrids; master-slave control; PQ control; V/F control; control strategy

1 引言

近年来,随着传统能源的日益枯竭和环境问题的日益严峻,世界各国都纷纷将目光投向了分布式电源领域,由此进一步的提出构建微网系统以适应分布式电源的接入,因此加大研发投入抢占微网技术制高点具有重要的现实意义和战略意义^[1]。微网目前存在两种典型的运行模式——并网运行和孤岛运行,在并网运行时由于有大电网的支撑,微网可以作为其子系统同步运行,从而易实现电压和频率的稳定,但是在孤岛运行时由于缺乏大电网的支撑,微网内的电压和频率会出现不同程度紊乱,因而采用何种控制策略来确保微网的稳定运行是微网技术亟需解决的难点之一^[2-3]。

当前,微网系统的控制策略主要围绕主从控制和对称

控制展开研究^[4],国内外专家学者针对两种控制结构在微网不同的运行模式下的有效性都做了大量的工作^[5-6]。文献[7]着重分析了微网孤岛运行时的情况,验证了 V/F 控制在孤岛运行时具有良好的稳定性;文献[8]主要针对低压微网特性进行分析,对不同运行模式下的微网进行了比较分析;文献[9]对微型燃气轮机的特性进行了分析,并且对其建模和仿真。由于主从结构在孤岛运行时能够稳定系统内电压和频率,满足用户优质可靠的电力需求,因此实际微网工程普遍以主从结构为主,综合上述的研究可知,构建合理的主从结构的微网系统,采用综合的控制策略,利用专业仿真软件来模拟分析微网系统在不同的运行模式下的运行情况,具有重要的现实意义和应用前景^[10-11],但是这类针对性的研究还有待进一步深入。

收稿日期:2016-03

* 基金项目:河南省科技攻关计划(112102210004)资助项目

本文根据微网孤岛运行对电源的特殊要求以及分布式电源的特点,建立了三微源的主从结构低压微网系统及其控制模型,对不同的运行模式采用合理的控制策略来实现微网的稳定运行,并在 PSCAD/EMTDC 仿真平台中搭建所提微网模型,通过微网不同模式的运行来验证所采用控制策略的有效性。

2 微网系统模型

本文研究对象为三微源、三负荷低压微网系统,所采用的微网结构如图 1 所示,3 个微源 DG1、DG2 和 DG3 与 3 个负荷组成的微网系统连接到 0.4 kV 的低压配电网中,通过控制并网节点 PCC 的开断来改变微网的运行状态,其中 DG1 和 DG2 采用直流电压源经过 SPWM 逆变器和 LC 滤波输出三相交流电接入微网系统来模拟风机、光伏等可再生能源,无论微网处于并网运行还是孤岛运行,微源 DG1 和 DG2 始终采用 PQ 控制来实现可再生能源的最大功率的输出,DG3 作为主控电源需要跟踪负荷变化,因此采用功率可控的微型燃气轮机经过 AC/DC 和 DC/AC 模块滤波后接入微网系统,并网运行时采用 PQ 控制,孤岛运行时迅速切换到 V/F 控制模式来保证微网内电压和频率稳定。

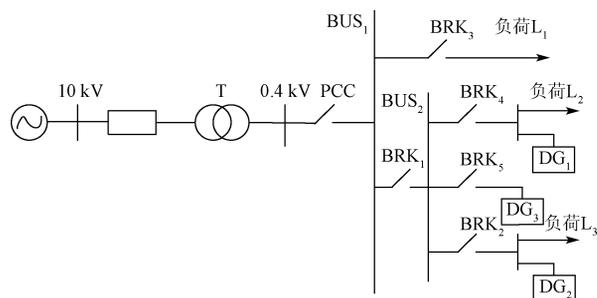


图 1 微网结构

3 微网的主从控制策略

微网主从控制(master-slave control)指的是微网系统中可控微源作为主控电源,其余微源作为从控微源,主要针对对于微网的孤岛运行^[12-13]。目前微源普遍采用电力电子逆变器接入微网系统,微源主要有 3 种控制方式:恒功率控制(P/Q control)方式、下垂控制(droop control)方式、电压频率控制(V/F control)方式^[14-15]。顾名思义,PQ 控制可以保证功率恒定输出,尤其对于风机、光伏等不可再生能源发电装置可以实现功率最大利用,下垂控制是有差调节,容易实现,操作简单,但是频率和电压始终处于波动,V/F 控制对于功率可控微型燃气轮机、燃料电池等可控发电装置可以实现额定电压和频率的输出,给微网孤岛运行时提供电压和频率参考。因此,本文采用 PQ 控制和 V/F 控制有机结合的综合控制策略来实现主从结构微网的稳定运行。

3.1 并网运行时控制策略

当微网与大电网并网运行时,由于有大电网的支撑给微网提供参考电压和频率,不需要微源来稳定电压和频率,因此为了最大限度地利用清洁能源,微网内的微源 DG1、DG2、DG3 都采用 PQ 控制来实现最大功率的输出。PQ 控制框图如图 2 所示,原理为:采用功率外环和电流内环结合的双环控制方式,外环为功率参考值与实际测量值作比较,差值经过比例积分(proportion integration, PI)控制器后产生电流内环需要的的参考信号 i_{d-ref} 、 i_{q-ref} ,电流内环快速跟踪参数变化产生 SPWM 的控制信号,从而使逆变器出口功率接近给定值。其中 P_{ref} 、 Q_{ref} 分别为有功功率和无功功率给定值, P_0 、 Q_0 分别为逆变器出口有功功率和无功功率, u_d 、 u_q 、 i_d 、 i_q 分别为逆变器出口处电压、电流的 dq 轴分量, i_{d-ref} 、 i_{q-ref} 为内环电流的参考值, u_{d-s} 、 u_{q-s} 分别为逆变器电压的控制信号, θ 为相角值, ω 为角频率, L_s 为滤波电感。

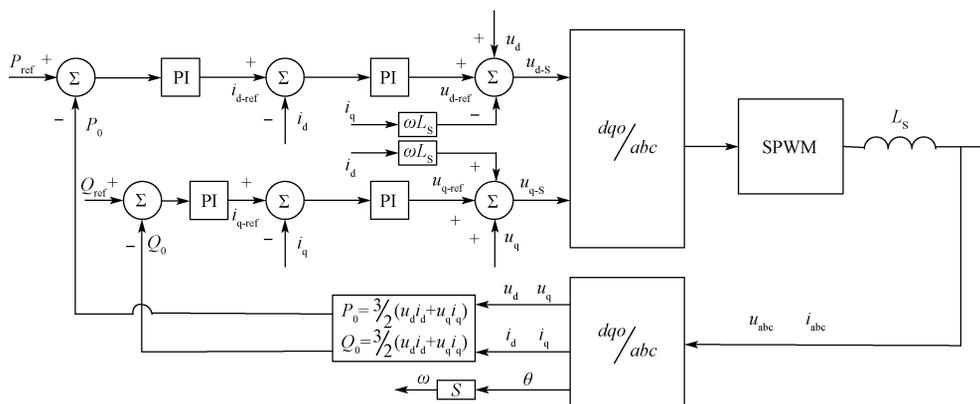


图 2 PQ 控制框图

3.2 孤岛运行时控制策略

当微网孤岛运行时,由于缺失了大电网的电压和频率

参考,微网将出现震荡,尤其并网/孤岛切换瞬间,功率的缺失极易造成微网的崩溃,因此当大电网出现故障或者检

修时,微网需要转入孤岛运行,此时主控电源 DG3 需立即切换到 V/F 控制方式来给微网提供电压和频率支撑,其余微源仍维持 PQ 控制方式。V/F 控制框图如图 3 所示,原理为:采用电压外环与电流内环相结合的双环控制方式,首先电压外环通过给定电压参考目标产生电流内环的控

制信号,进而通过电流内环产生 SPWM 控制信号,从而控制逆变器出口电压和频率,其电流环节比电压环节动态响应快速,这样可以提升逆变器出口电能质量。其中 u_{d-ref} 、 u_{q-ref} 为微网电压 dq 轴参考分量, f_{ref} 、 θ_{ref} 分别为频率和相角参考值, u_{ref} 为微网电压参考值。

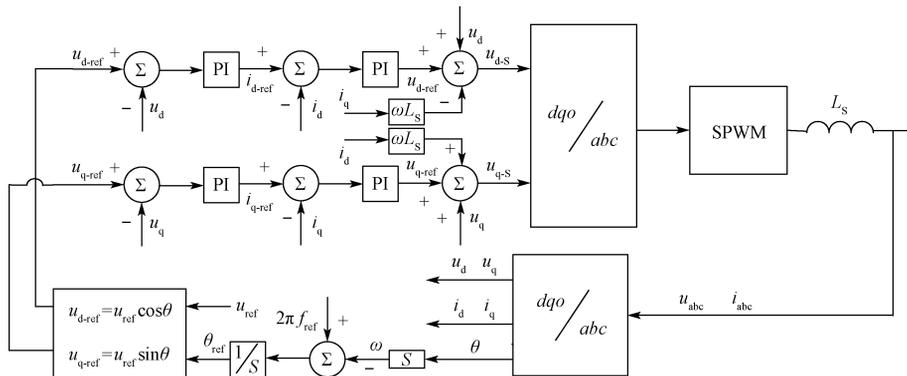


图 3 V/F 控制框图

3.3 并网/孤岛切换

微网系统实际运行时,微源的出力和负荷用电等的不确定性,必然微网系统内负荷与微源的输出功率之间存在功率的差额,当微网脱离大电网时由于功率的不匹配,微网系统会出现电压和频率的波动,为了避免因为切换瞬间较大的功率状态的不匹配造成微网系统的剧烈震荡,对主控微源 DG3 采用基于负反馈的状态跟随器,如图 4 所示,当微网并网运行时,闭合 K1、K4 断开 K2、K3,将并网的状态同时输入 PQ 控制器和 V/F 控制器,当切换孤岛运行时,断开 K1、K4 闭合 K2、K3,此时由于 V/F 控制器的状态接近于 PQ 时的状态可以有效的改善微网切换瞬间的电能质量^[16]。

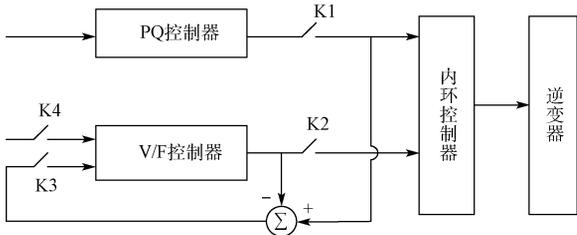


图 4 主控微源状态切换

4 仿真与分析

4.1 仿真参数

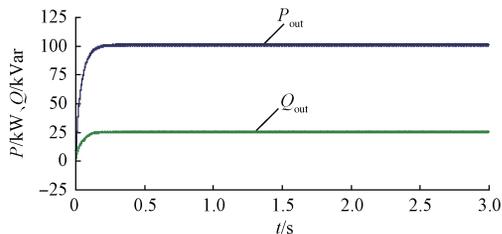
本文在 PSCAD/EMTDC 仿真平台中搭建了如图 1 所示的微网系统,其仿真系统中主要的参数设置如下:微源 DG1 为 100 kW、25 kVar;微源 DG2 为 80 kW、20 kVar;微源 DG3 为 50 kW、12 kVar、380 V、50 Hz;非敏感负荷 L1 为 150 kW、45 kVar;敏感负荷 L2 为 120 kW、30 kVar;敏

感负荷 L3 为 60 kW、15 kVar;滤波电感 L 为 0.000 5 H;滤波电容为 16 μ F 双环控制中外环 PI 系数为 2、0.02 s,内环 PI 系数为 0.3、0.000 5 s。为确保所构建的微网控制系统具有普遍性和完整性,采用当前微网亟需优化的两种典型运行模式,并网运行模式和孤岛模式,来分析提出的控制策略的正确性。

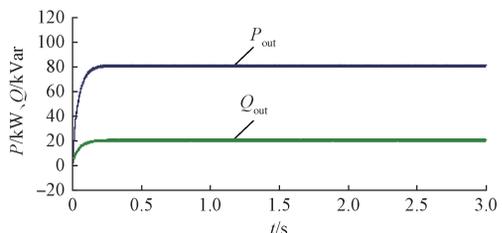
4.2 并网运行仿真分析

设置微网并网运行时间为 0.5 s,3 个微源均采用 PQ 控制,3 个微源总的有功功率和无功功率分别为 230 kW、52 kVar,微网内总负荷功率为 330 kW、90 kVar,缺额功率 100 kW、38 kVar 由大电网补充。仿真结果波形如图 5 所示。

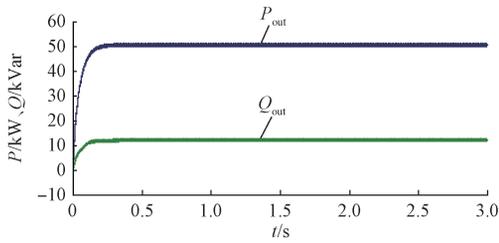
由图 5 中(a)~(e)可看出,在微网并网运行时,由于有大电网的支撑,微源 DG1~DG3 都能按照给定功率输出,微网内的频率,电压满足要求稳定运行。



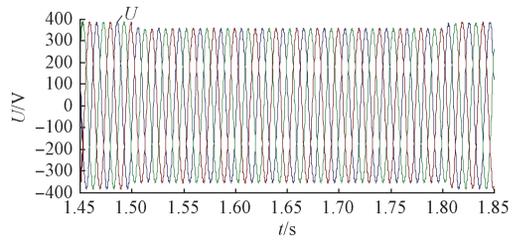
(a) DG1输出的有功功率和无功功率



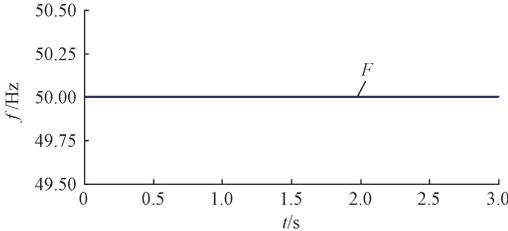
(b) DG2输出的有功功率和无功功率



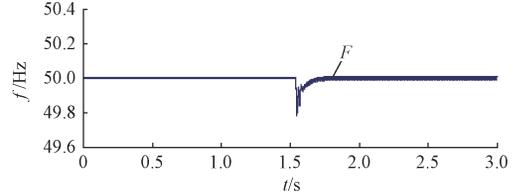
(c) DG3输出的有功功率和无功功率



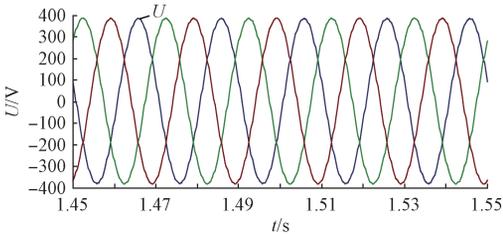
(c) 微网内电压



(d) 微网内频率



(d) 微网内频率



(e) 微网内电压

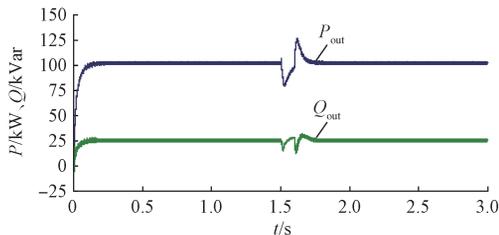
图6 微网孤岛运行仿真

从图6(a)~(d)中可以看出当1.5s时刻外部出现故障后,PCC断开后,微网缺失了大电网的电压、频率和功率的支撑,系统出现了震荡,微源功率输出以及微网系统电压与频率都出现了不同程度的紊乱,此时主控微源DG3采用状态跟随器保持了切换瞬间的功率状态匹配,并且迅速切换至V/F控制,从而短时间内将功率和电压稳定到正常状态,DG1和DG2经过短暂波动继续保持最大功率输出。

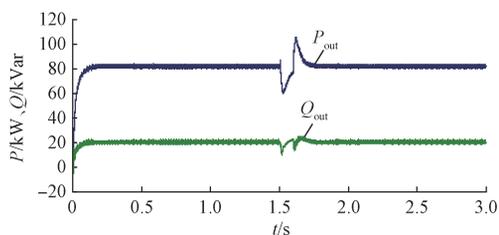
图5 微网并网运行仿真

4.3 孤岛运行仿真分析

当外部故障或者检修时,不可避免的会出现微网脱离大电网独立运行的情况,因此,孤岛运行能力是微网重要的性能指标。当1.5s时大电网出现故障,为保证微网供电可靠。并网节点PCC断开,同时微源DG3迅速切换至V/F控制模式以稳定微网内电压和频率稳定,微网进入孤岛运行直到故障消除从新并网运行。仿真波形如图6所示。



(a) DG1输出的有功功率和无功功率



(b) DG2输出的有功功率和无功功率

5 结论

基于主从结构微网的特点,建立了三微源三负荷的微网系统,分析了微网并网运行与孤岛运行之间的差异性,并采用PQ控制与V/F控制有机结合的综合的控制策略,通过PSCAD/EMTDC仿真平台得出如下结论:

1)由于主从结构可以维持电压、频率的稳定的,非常适合微网系统尤其在孤岛运行,能够保证电能质量。

2)采用并网运行时微源都采用PQ控制,孤岛运行时主控微源通过状态跟随器切换至V/F控制,其余微源继续保持PQ控制的综合控制策略,可以实现微源输出功率的最大利用以及微网系统电压和频率的稳定。

3)在PSCAD/EMTDC中搭建贴近低压配电网的微网系统,通过设置合理的微网模型参数,来验证了在主从结构微网中采用的的控制策略的有效性。

参考文献

- [1] MAHMOUD M S, HUSSAIN S A, ABIDO M A. Modeling and control of microgrid; an overview[J]. Journal of the Franklin Institute, 2014, 351(5): 2822-2859.
- [2] 杨新法, 苏剑, 吕志鹏, 等. 微电网技术综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 57-70.
- [3] 马艺玮, 杨苹, 王月武, 等. 微电网典型特征及关键技

- 术[J]. 电力系统自动化, 2015(8):168-175.
- [4] 王成山, 武震, 李鹏. 微电网关键技术研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 1-12.
- [5] 黄伟, 孙昶辉, 吴子平, 等. 含分布式发电系统的微电网技术研究综述[J]. 电网技术, 2009(9): 14-18.
- [6] XIAO Z, WU J, JENKINS N. An overview of microgrid control[J]. Intelligent Automation & Soft Computing, 2010, 16(2): 199-212.
- [7] 黄伟, 牛铭. 微电网非计划孤岛控制策略分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(9): 42-46.
- [8] 王成山, 高菲, 李鹏, 等. 低压微电网控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25): 2-8.
- [9] 刘君, 穆世霞, 李岩松, 等. 微电网中微型燃气轮机发电系统整体建模与仿真[J]. 电力系统自动化, 2010(7): 85-89.
- [10] 党克, 郑玉浩, 严干贵. 电网电压不平衡下光伏并网逆变器的同步技术[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(1): 87-94.
- [11] 黄文焘, 邵能灵, 范春菊, 等. 微电网结构特性分析与设计[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(18): 149-155.
- [12] 侯立健, 朱长青, 陈雅, 等. 并网发电系统中孤岛检测方法综述[J]. 国外电子测量技术, 2015(8): 34-39.
- [13] QUESADA J, SEBASTIÁN R, CASTRO M, et al. Control of inverters in a low voltage microgrid with distributed battery energy storage. Part I: Primary control [J]. Electric Power Systems Research, 2014(114): 126-135.
- [14] 于会群, 钟永, 张浩, 等. 微电网混合储能系统控制策略研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 730-738.
- [15] 梁洲, 陈意军. 风储联合并网发电系统的控制策略研究[J]. 电子测量技术, 2015, 37(11): 1-5.
- [16] 郑竞宏, 王燕廷, 李兴旺, 等. 微电网平滑切换控制方法及策略[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 17-24.

作者简介

付子义, 1958 年出生, 教授, 博士研究生导师, 主要研究领域为智能电网、电力系统运行与控制。

王艺龙, 1992 年出生, 硕士研究生, 研究方向为微电网运行与控制。

E-mail: 530562164@qq.com

泰克为混合域示波器提供 CAN FD 支持

能够解码、触发和搜索 CAN FD 总线数据, 帮助汽车工程师满足不断增长的市场需求

2016 年 10 月 26 日, 泰克科技公司日前为 MDO3000 和 MDO4000C 系列混合域示波器推出完整的 CAN FD 协议触发、解码和搜索解决方案, 帮助汽车工程师满足消费者对功能更强大、更完善的电子模块和集成系统的需求。汽车制造商正越来越多地采用 CAN FD (拥有灵活数据速率的控制区域网) 协议, 该协议可以在车内传送更多的数据。

原 CAN 规范在汽车行业中被广泛采用, 它在 ISO 11898 标准中规定了限于 1 Mb/s 的通信速率。CAN FD 解决了带宽限制问题, 支持更快的信息速率, 把净荷长度从 8 byte 提高到 64 byte。速度加快及复杂度提高的同时, 也带来了全新的测试测量挑战。泰克最新 CAN FD 解决方案为处理这一协议的汽车工程师提供了强大的调试和验证工具, 可以全面洞察实际总线业务, 迅速高效地验证和调试设计。

CAN FD(MDO3AUTO, DPO4AUTO, DPO4AUTOMAX) 软件是专为泰克 MDO3000 和 MDO4000C 系列示波器开发的一种完整的协议触发、解码和搜索解决方案。软件功能包括:

1) 数据包和仲裁条件 (I. e. SOF, ID, 等) 通用触发, 支持 ISO 规范和非 ISO 规范

2) 协议解码, 数据颜色编码及数据视图

3) 同时 CAN 和 CAN FD (ISO 和非 ISO)

4) 支持搜索特定 CAN FD 数据

5) 表格列表, 带时间标记

6) 能够存储和导出数据

泰克 MDO3000 和 MDO4000C 混合域示波器是当今市场上唯一集成频谱分析仪的示波器, 工程师可以同时查看时域和频域。即使在串行设计应用中, 工程师通常也需要处理从器件级调试到功率优化和 EMI 预一致性测试的各种任务。

MDO3000 是最优秀的 6 合一综合示波器, 在一台仪器中同时集成了频谱分析仪、任意函数发生器、逻辑分析仪、协议分析仪和数字万用表/计数器。MDO3000 可以全面量身定制, 在需求变化时可以全面升级。MDO4000C 6 台仪器合一, 可以灵活升级, 同时提供了更高的性能及强大的触发、搜索和分析工具。

对 CAN FD 分析之类的串行应用, 自动搜索功能与独有的 Wave Inspector 控件相结合, 可以帮助用户在几秒钟内找到关心的事件。再加上长记录长度, 一次采集中可以包括几千屏波形, 这种功能可以大大节省时间。