

技术探讨

VFC高速真空断路器或ZLB “深度限流”
能否用以限制短路电流

几个必须思考的问题

为了更好的理解本幻灯片所呈现的内容，读者应该提前思考以下问题，从而有更好的理解

1. 开关及互感器等设备的额定参数中“额定峰值耐受电流值”的定义是什么？预期的短路电流瞬时值如果超过这个值会有什么后果？

GB/T 11022 在规定的使用和性能条件下，开关设备和控制设备在合闸位置能够承载的额定短时耐受电流的第一个大半波的电流峰值

2. 何为设备级的短路电流限制？

一种限流装置（故障电流限制器），其串联与电气回路中能对流经其的短路电流的瞬时值包括第一个大半波峰值 i_{peak} 有效限制或限制并开断的设备，其安装于系统的战略位置，当系统发生可能对系统设备造成危害的异常高的短路故障时，其可将故障电流的总的短路电流限制到故障点开关能够承受和开断的能力以内。

正常的情况下，限流装置呈现出很低的阻抗的状态，一旦其监测到短路故障达到危险的水平时，其阻抗部件在第一个大半波上升的初期投入电路并迅速增大以限制短路电流。

对于小的短路电流，故障电流限制器不应动作，其由相应开关开断并切除。

几个必须思考的问题

3. 设备级的短路电流限制是如何实现的？

是通过在短路电流第一个大半波上升的初期（1毫秒左右）投入电路并迅速增大以限制短路电流。阻抗是可变阻抗器件，UFCL快速限流器的该部件是限流熔断器。

4. 什么是真正的可恢复式故障电流限制器？（参考高温超导限流器）

5. 交流断路器的开断机理是什么？

断路器的功能是：承载正常的负荷电流、开断或关合其额定值内的故障电流。交流断路器只有在电流自然过零时才能开断。

6. 电气试验的分类？

什么是型式试验？什么是性能试验？什么是研究性试验？

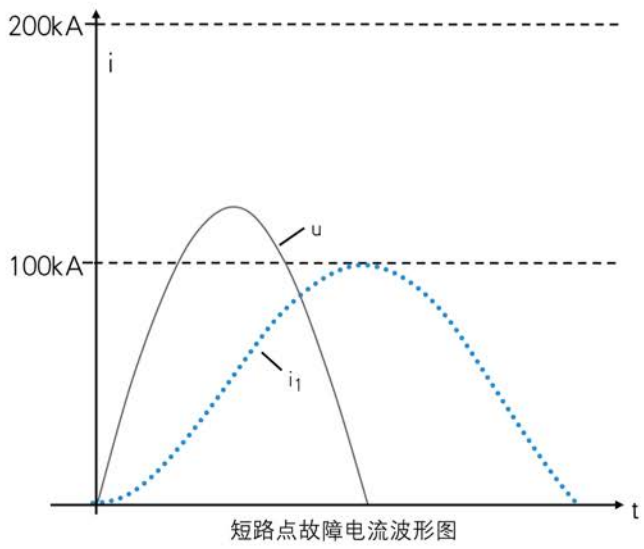
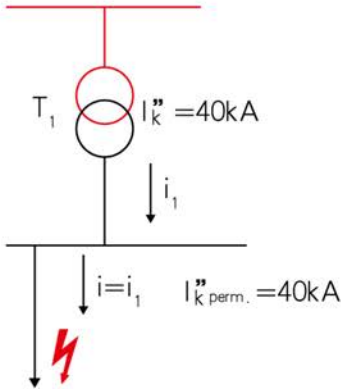
7. 电气试验的意义是什么？

电气试验的结果不仅是设备功能、性能、额定参数、验证的唯一途径。

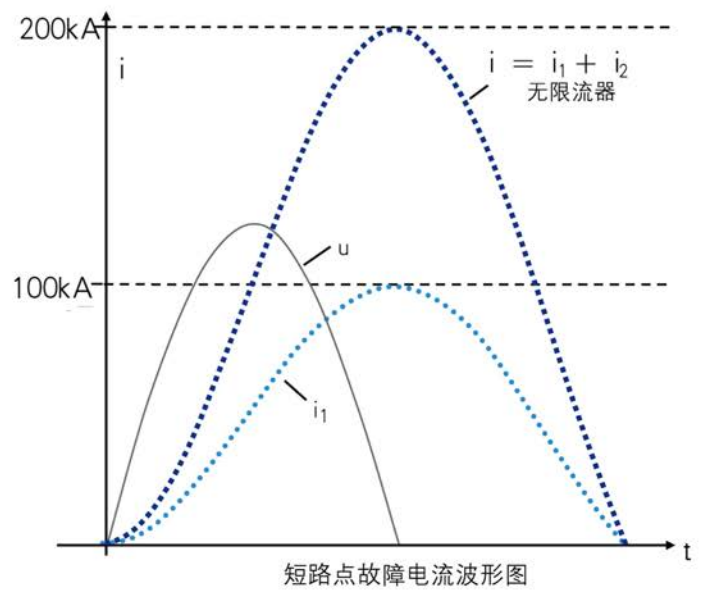
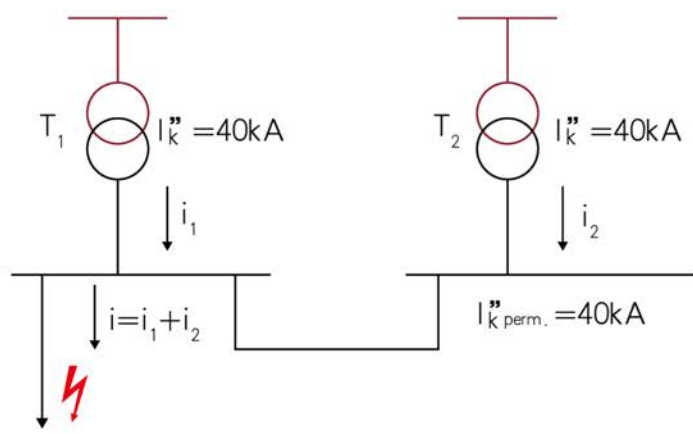
几个必须思考的问题

8. “深度限流”设备的电气试验的开断试验数据和波形图能否证明限流装置的限流特性及有效性，即：能否限制第一个大半波瞬时值。
9. “深度限流”中的高速断路器的额定参数能否满足项目系统的要求？其直流分量百分比能否满足系统项目的要求？如果系统预期短路电流的直流分量百分比超过了39%，这个高速断路器能否开断？
10. 关于“深度限流”，何为深度，即：将流经其的短路电流限制到什么水平？限流电抗器电抗率的选型的依据是什么？

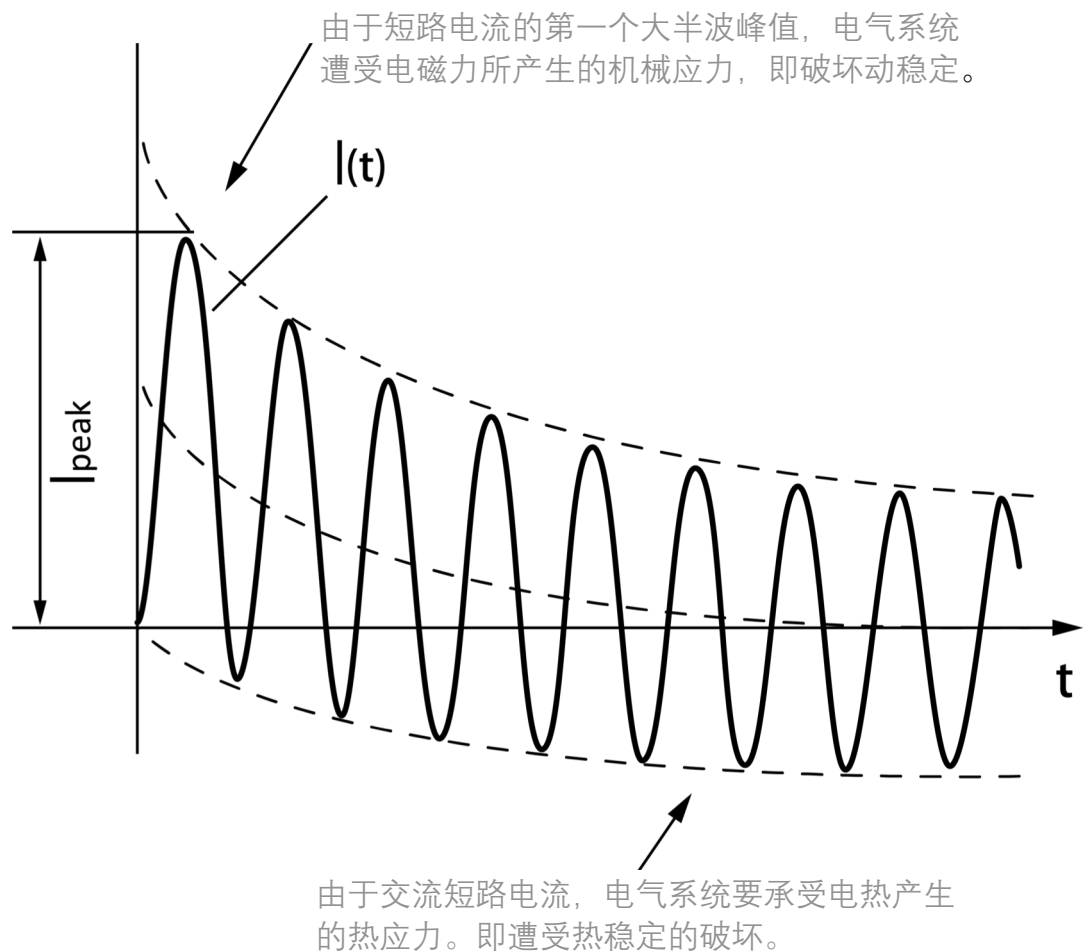
为什么必须限制短路电流的第一个大半波？



为什么必须限制短路电流的第一个大半波？



为什么必须限制短路电流的第一个大半波？

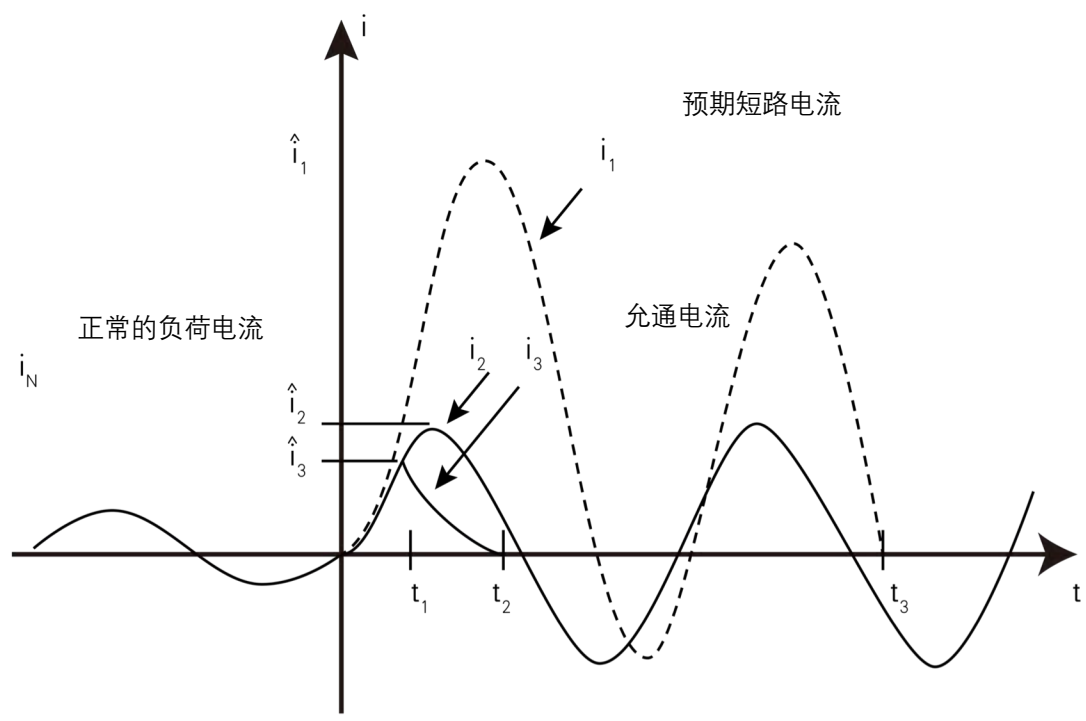


答：

IEC 60694 4.6及4.7

峰值短路电流是短路电流的最大瞬时值，当电气设备通过最大峰值时会产生很大电动力，其可能超过开关柜，开关，电缆和电流互感器的允许动稳定值，造成机械性破坏。所以必须在短路电流到达第一峰值之前对其加以限制

何为有效的设备级短路电流限制？ 故障电流限制器的定义



根据国际电气学术组织
CIGRE的定义

故障电流限制器，即快速限流器，简称FCL (Fault Current Limiter)

是一种串联于电气回路中、可对故障电流包括其第一峰值进行有效限制的阻抗变换器件或具有限流功能的快速开断设备。

什么是真正的可恢复式故障电流限制器 高温超导限流器

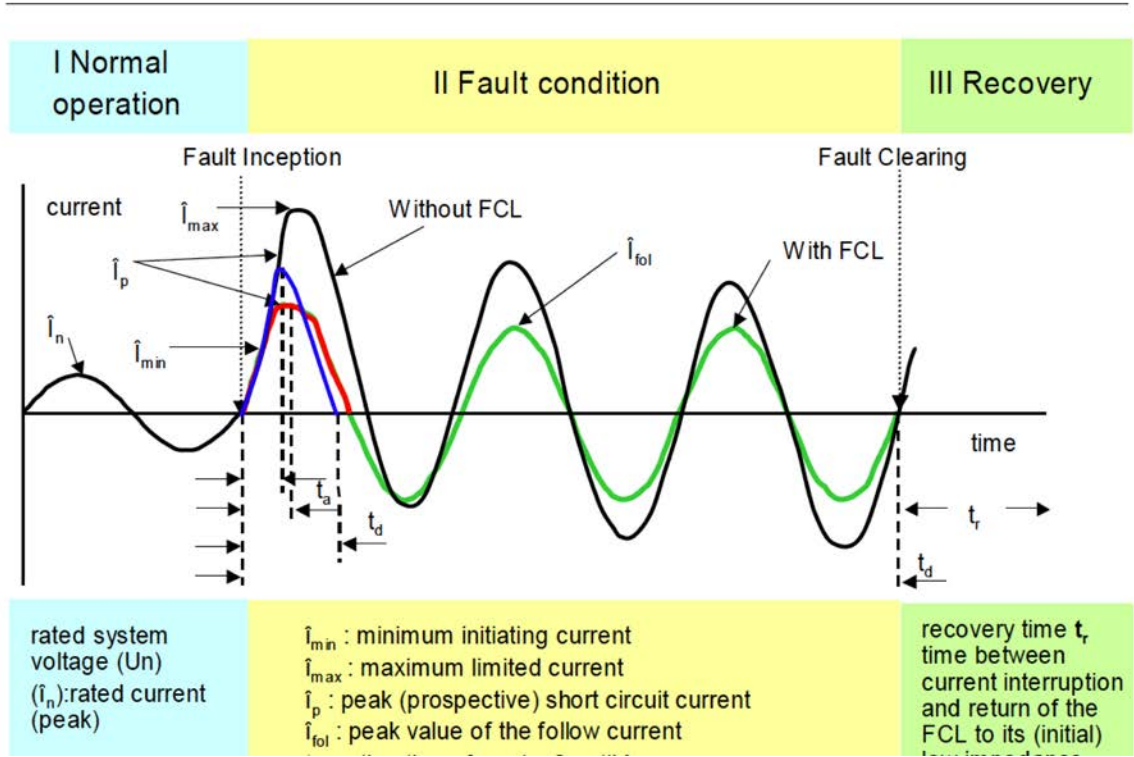


美国 [Applied Materials](#) 公司的超导故障电流限制器。

什么是真正的可恢复式故障电流限制器 高温超导限流器

Technology Watch 2009

1017793



请注意被限制的第一个大半波(红色)。。。。

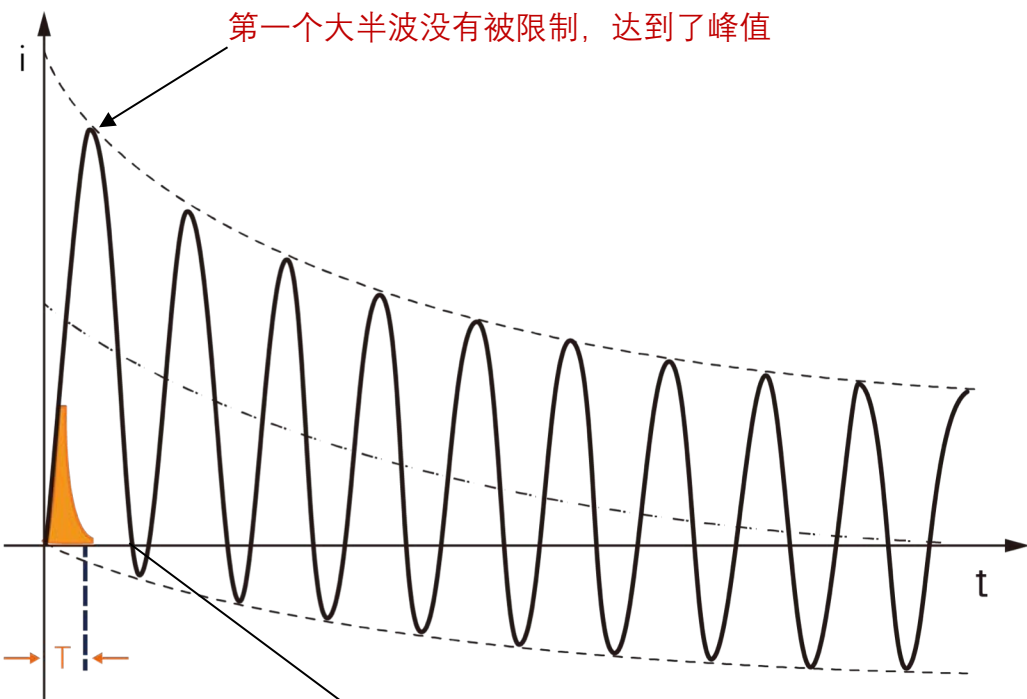
什么是真正的可恢复式故障电流限制器 高温超导限流器

SCFCL 的主要技術特色之一，就是能夠在第一個峰值發生前有效「切換」以降低最高峰故障電流，並且沒有零交叉。故障發生時，第一個峰值多半是最高的電流峰值，這是由於系統儲存的所有能源向地面放電及故障電流不對稱性的綜合效應所造成，可由系統 X/R 比例產生的 DC 偏移補償電流清楚顯示。第一個峰值會對電網造成最大的機電應力，並產生最大的損害。為了停止此項損害，必須在第一個峰值之前限制故障電流。超導導線固有的猝熄行為適合此項應用，因為能夠立即回應電流位準變化 (大約一毫秒)，並在第一個峰值產生之前，有效限制故障電流至指定水準。此外，SCFCL 設計包括超導模組，與實際限制故障電流的電抗器並聯，也就是說不會實際「切換」以限制故障電流 - 兩個電流路徑都存在及運作，但電流會優先引導通過其中一個路徑，視超導模組處於超導或猝熄狀態而定。這樣可以在 SCFCL 運作提供其他實際利益，因為不會實際中斷高功率故障電流。

大部分的 SCFCL 應用都採用一般電抗器。一般的限流或串聯電抗器可能為空心或鐵心，是相當普遍的設備，廣泛應用於整個電力系統。一般電抗器非常堅固可靠，在全球電網已經使用一百年以上。多家業界知名的供應商均供應電抗器。

摘自美国Applied Materials公司《[超导限流器技术白皮书](#)》

VFC高速真空断路器的比较



第一个大半波没有被限制, 达到了峰值

断路器首开相最快速的开断点, 此时第一个大半波已经达到峰值

在短路电流第一个大半波上升的初期, 限流器即可对流经它的短路电流快速动作并对其加以限制器, 使系统的总的短路电流不能达峰值。

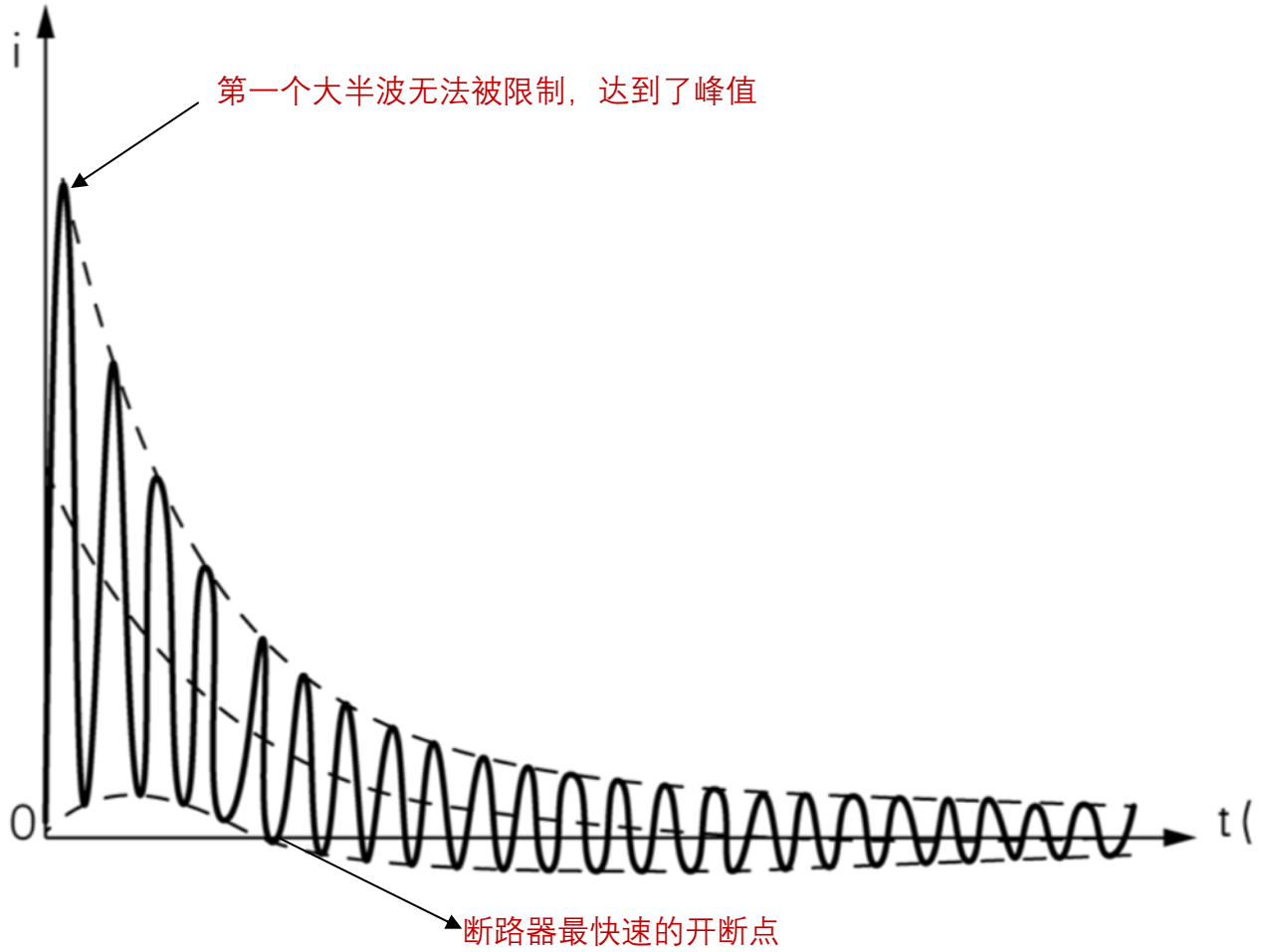
限流器开断时间为： T

断路器无限流功能, 其只能在电流过零时才能开断, 所以不能对第一个大半波峰值进行有效限。

最快速的断路器首开相最快开断时间为：

第一个大半波过零时

短路电流直流分量对断路器的影响



短路电流直流分量较大的近端短路，短路电流在多个周波后才能过零。

断路器最快开断时间如图所示。

此情形系统不仅遭受电动力的破坏，而且热稳定也将遭到持续破坏。

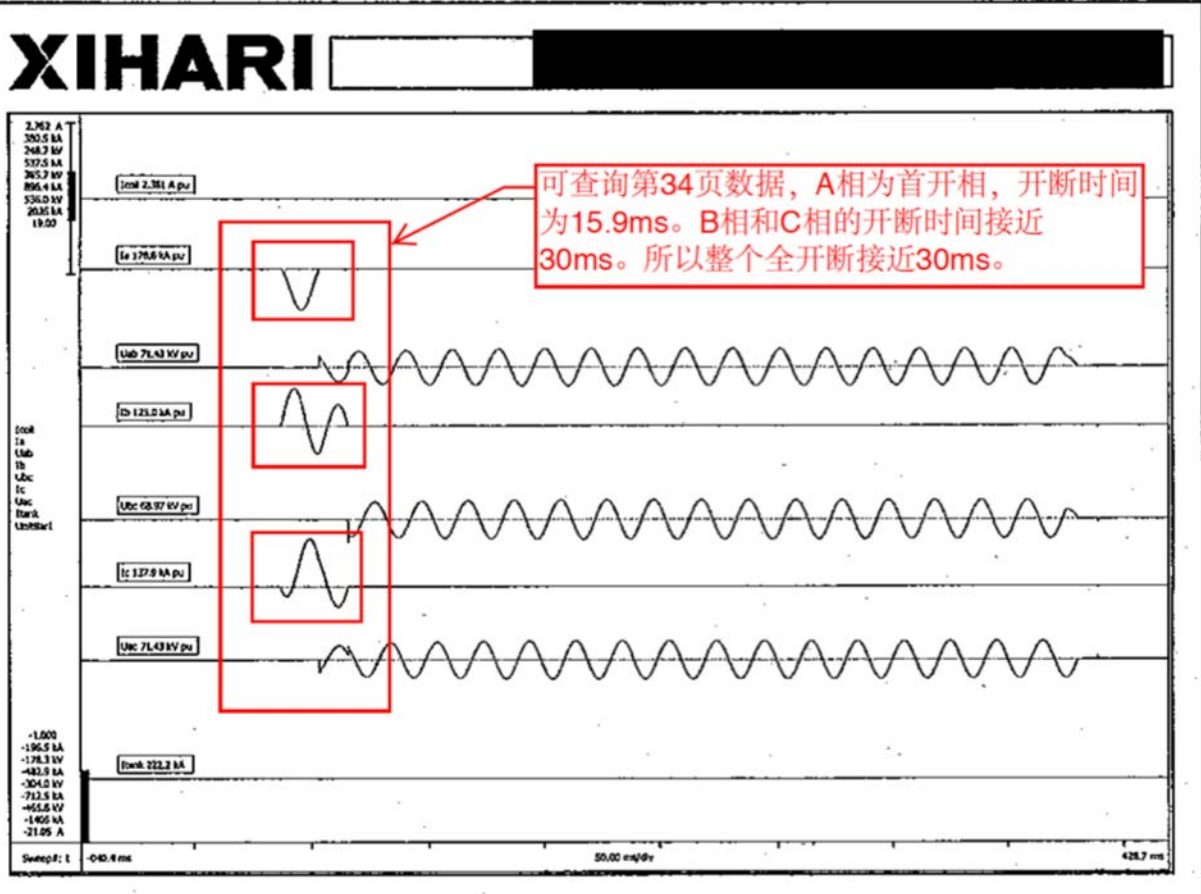
国内市场出现的“可恢复式限流器” - VFC高速真空断路器



改进型的永磁断路器，采取分相控制，增加了首半波过零的预判DSP技术。可实现并不稳定的首开相第一次过零开断。

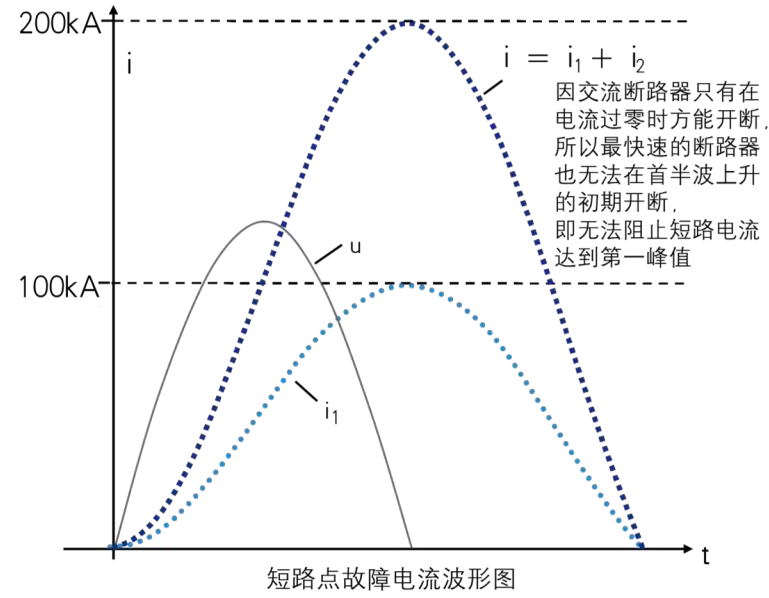
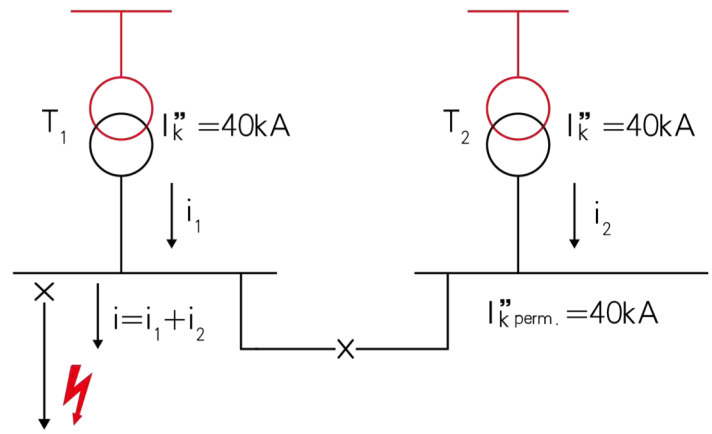


国内市场出现的“可恢复式限流器” - VFC高速真空断路器能否限制系统短路电流？



短路开断试验波形显示：
首开相在第一个半波过零时开断。
另外两相在一个半周波过零时开断。

国内市场出现的“可恢复式限流器”-VFC高速真空断路器能否限制系统短路电流？



因该设备在第一个半波内无法限制流经其的故障电流 i_2 ，导致故障点的设备要承受 i_1+i_2 的峰值200kA,远远超过了最大允许值100kA（额定峰值耐受电流），故障点的设备将被电动力所破坏。

国内市场出现的“可恢复式限流器” - VFC高速真空断路器 能否限制系统短路电流？

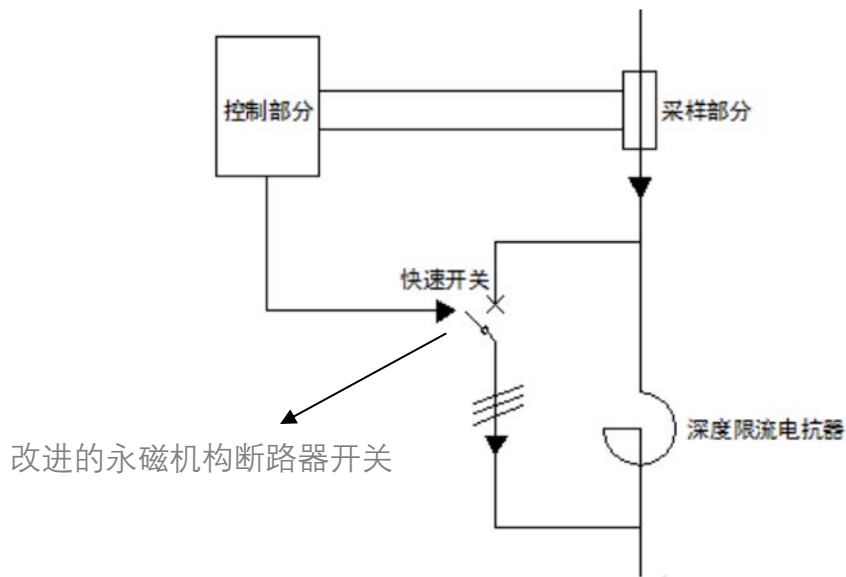
结论

- 由以上波形图可看出，该断路器尽管开断速度很快，但是没有限流功能，也无法限制第一个大半波，不是故障电流限制器，不能用以限制故障电流。
- VFC高速真空断路器的直流分量的额定开断能力：39%，如果近端短路且直流分量大于等于40%时，存在此断路器无法开断的风险。
- VFC高速真空断路器安装在金属封闭的开关柜或外壳时，并未经过有效的型式试验验证。

国内市场出现的“可恢复式限流器” ZLB深度限流装置



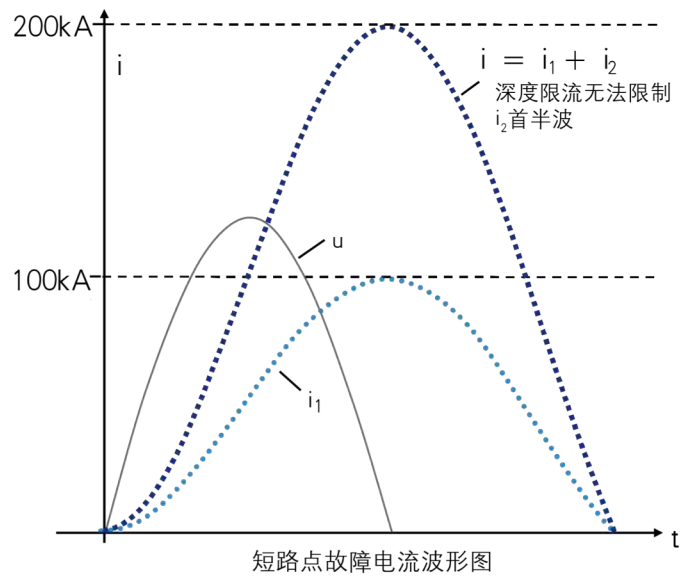
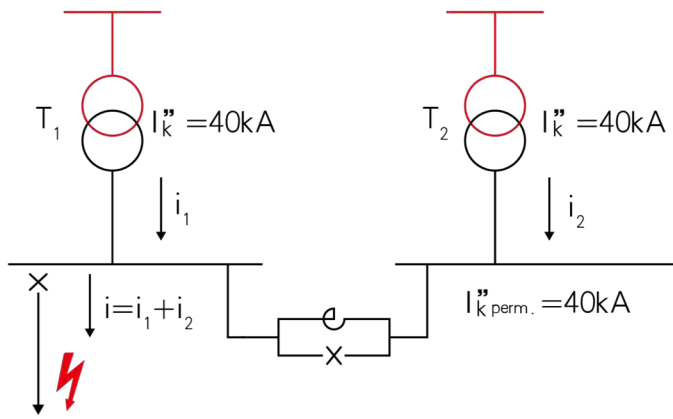
ZLB “深度限流装置” 能否有效限制系统短路电流？



由于断路器的开断特性，不论何种驱动机构，其理论上最快的时间是第一次过零点附近，加之断路器没有限流功能，所以待其开断时故障电流已经达到第一个大半波峰值，系统已经被电动力破坏。

限流电抗器无法起到限流的作用。

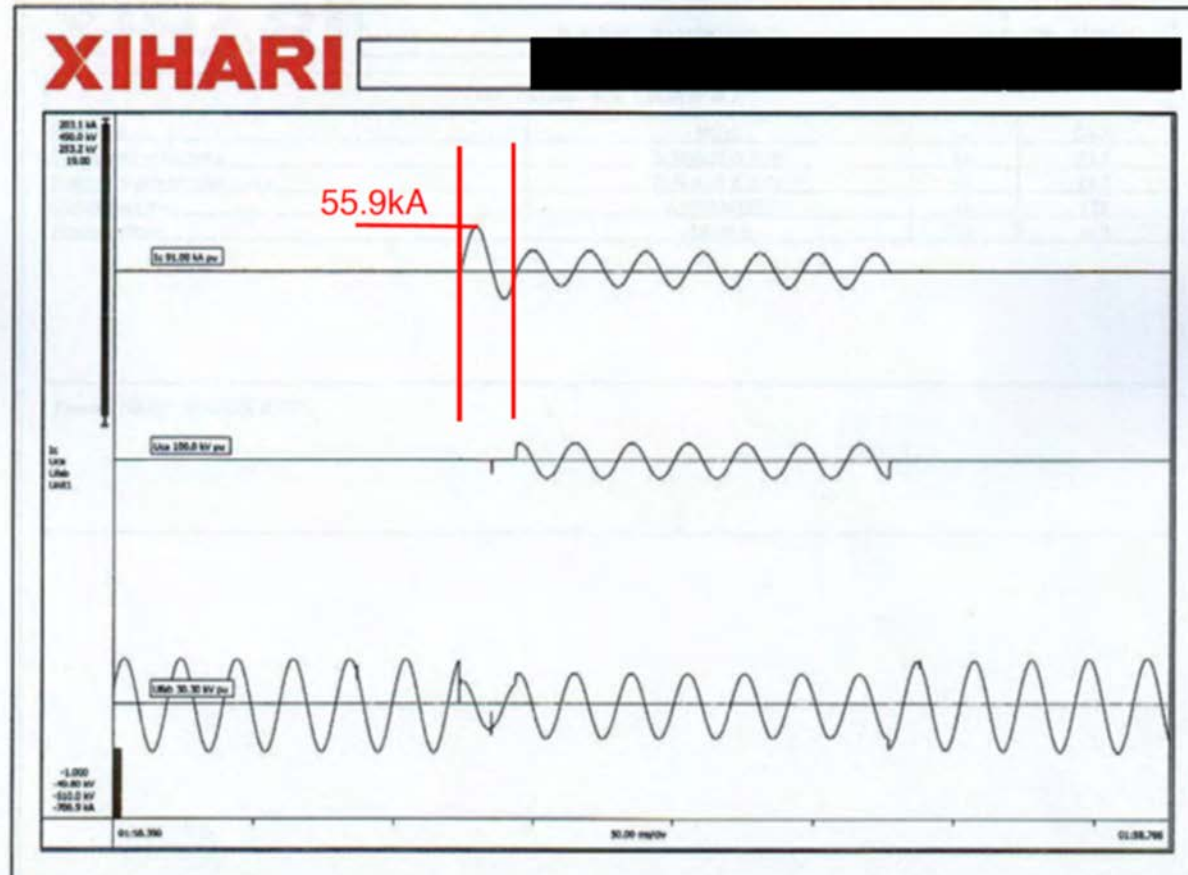
ZLB “深度限流装置” 能否有效限制系统短路电流？



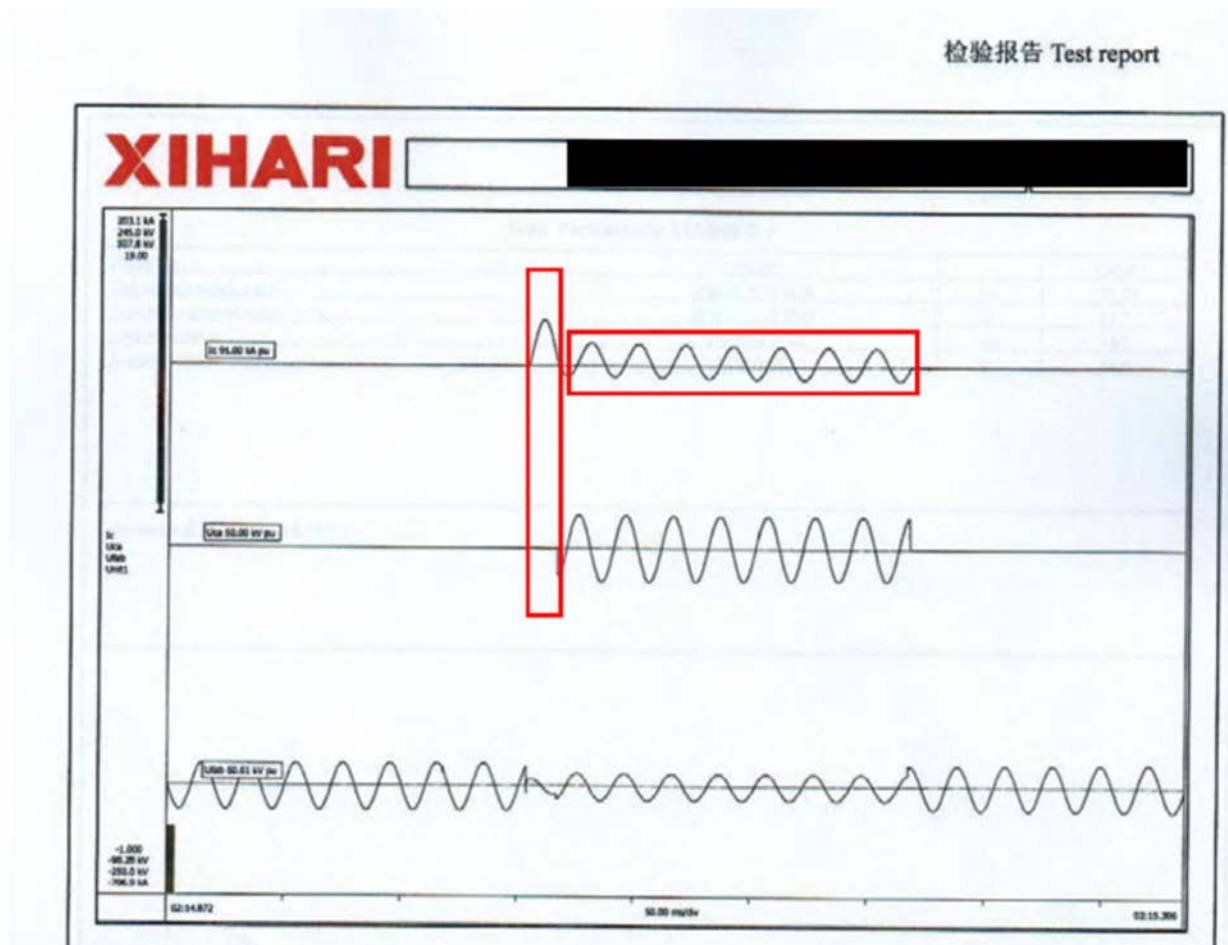
因该设备在第一个半波内无法限制流经其的故障电流 i_2 ，导致故障点的设备要承受 i_1+i_2 的峰值200kA,远远超过了最大允许值100kA（额定峰值耐受电流），故障点的设备将被电动力所破坏。

ZLB “深度限流装置” 能否有效限制系统短路电流？

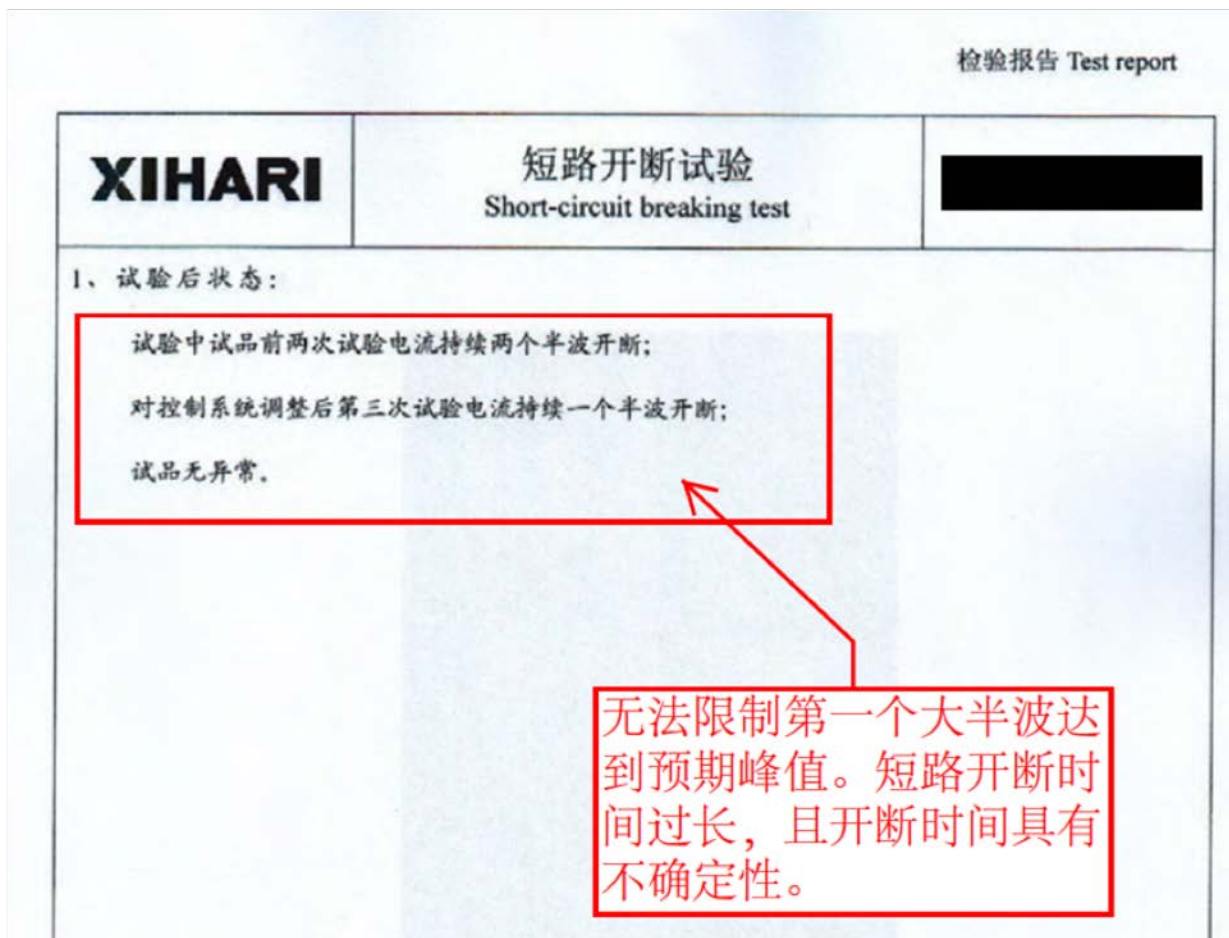
检验报告 Test report



ZLB “深度限流装置” 能否有效限制系统短路电流？



ZLB “深度限流装置” 能否有效限制系统短路电流？



ZLB “深度限流装置” 能否有效限制系统短路电流？

结论

- 由以上波形图可看出，该装置用断路器尽管开断速度很快，由于其开断机理及故障电流转移的机理，导致电抗器在第一个大半波后才能投入电路，无法有效限制第一个大半波。
- VFC高速真空断路器的直流分量的额定开断能力：39%，如果近端短路，直流分量大于等于40%时，存在此断路器将无法开断等风险，整个装置面临失效。
- ZLB不是真正意义的故障电流限制器，也不是可恢复式限流器，目前达到可恢复式应用的只有高温超导限流器和串联谐振型限流器。