

Analysis of overcurrent alarm caused by electromagnetic compatibility

Wei Yao

Siemens Gamesa Renewable Energy Technology (China) Co., Ltd., Tianjin, 300384, China

Abstract

In early 2024, rotor overcurrent alarms occurred in wind turbine units in Sweden and other regions as well as on the test bench of the Valencia factory Benisano. The analysis shows that the root cause is related to electromagnetic compatibility. The noise source is the common-mode voltage, the transmission channel is the relevant cable group, and the disturbed equipment is the control unit (CCU). EMC tests found that installing ferrite cores on DB9 cables and disconnecting the grounding of relevant shields can improve the situation, while ferrite has little impact on DB25 cables. Field measures have verified that disconnecting the grounding of the MP to driver cable shield is effective. It is recommended to remove the grounding of the relevant cable shield, add ferrite to DB9 cables, and improve the design of the MP board.

Keywords

electromagnetic compatibility; overcurrent alarm; common mode current; MP board (multi-purpose board)

关于电磁兼容引发的过流误报警分析

姚威

西门子歌美飒可再生能源科技（中国）有限公司，中国·天津 300384

摘要

2024年初，瑞典等地风电机组及瓦伦西亚工厂Benisano测试台出现转子过流误报警。分析显示，根本原因与电磁兼容相关，噪声源为共模电压，传输通道为相关电缆组，受扰设备为控制单元（CCU）。EMC测试发现，DB9电缆装铁氧体磁芯、断开相关屏蔽层接地可改善情况，铁氧体对DB25电缆影响小。现场措施验证，断开MP至驱动器电缆屏蔽层接地有效。建议移除相关电缆屏蔽层接地、给DB9电缆加铁氧体、改进MP板设计。

关键词

电磁兼容；过流误报警；共模电流；MP板（多功能板）

1 引言

2024年初，在瑞典等地的特定风电机组现场，尤其是处于调试阶段的斯卡斯琼 Skalsjon 及其他风电场，多次出现因转子短路报警导致的误跳闸情况。这些跳闸并非由真实短路引发，报警在系统达到并网状态后立即触发，致使风机无法持续运行。尽管较为罕见且孤立，但瓦伦西亚功率变流器（Benisano）工厂的 SG5.x 变频器常规测试台也报告了此类报警的误跳闸现象。尽管测试台的电磁噪声环境与现场不同，但这一情况仍值得关注或可为未来解决方案提供参考。

转子短路问题出现于不同风电场，报警 272、273、274 触发时常伴 SkiiP 错误信号，被归为转子过流误报警。排查发现：可能是控制单元（CCU）信号闪烁触发过流报警；对 SkiiP 错误信号滤波后出现额外停机错误信号；修改阈值

水平（参数 A458）只是临时解决方案；审查装配流程等未获结果；数据追踪器分析显示 CCU 与多用途卡（MP）间有虚假斩波器触发信号，需全面分析相关部件；对曾触发报警的变流器的 MP 卡分析未得明确结果；审查电压测试流程未发现导致 MP 卡损坏的环节；Falcon 公司称 MP 卡生产物料清单相同，不同版本均会出现误报警。还提出了相关测试建议。

2 电磁兼容相关问题根本原因

噪声相关故障根本原因可能是噪声过量、易传输至受扰设备、受扰设备抗扰度不足或三者兼具。噪声源为直流母线与 CCU 接地间及不同接地点间的共模电压，传输通道为斩波级到 CCU 的电缆组等。受扰设备为 CCU，其现场可编程门阵列读取 SkiiP 信号等未滤波，这是潜在弱点，而数字信号滤波是提升抗扰度的标准做法。

【作者简介】姚威（1981-），男，中国天津人，本科，助理工程师，从事变频器，电力电子，EMC，认证等研究。

3 首轮测试总结

2024 年 4 月现场发现，两条 DB9 斩波电缆上安装铁氧体磁芯，以及将多用途（MP）卡至斩波驱动电缆的屏蔽层不接地后，情况均显著改善，直流母线电压（Udc）读数得以改善，消除了 4V 的快速尖峰。同时进行了接地电压测绘，测量不同接地点之间的电压峰值。

2024 年中期马德里 SFH 12CD SG5x 测试台发现，对现场故障多用途（MP）板检测，其 Udc 读数噪声更大（峰值 4V），但在该测试台中未出现报警。

在 Agustinos 现场的发现，对现场板卡样本分析，发现存在一些非理想制造问题且有改进空间，但这些问题无法明

确解释或与误报警相关联。

2024 年末 SFH 12CD SG5x 测试台发现，在接地测绘显示，IGBT 区域是变流器中噪声最大且是最高频率成分来源处，SFH 测试台变流器中 MP 卡至斩波驱动电缆屏蔽层接地柱之间的电压水平仅为现场测量值的一半。测量证实铁氧体磁芯在 1MHz 至数 MHz 频率范围内可衰减斩波 DB9 电缆上的共模电流。去除多用途电缆屏蔽层的接地与在 DB9 电缆上添加铁氧体效果相似。在测试台上尝试多种操作，均未成功引发误报警。

初始与当前多用途（MP）板的物料清单对比，未发现导致报警或 Udc 读数差异的明显偏差或原因。首轮测试及其结论为后续测试奠定了基础。

Test	State	Meas. point	Ferrite	Shield	EFT	Joined cables	ALARM	Freq res (MHz)	Max dB(uA)
1	Connected	DB9-X19	Yes vs No	Earthed	No	No	No	2 - 3	50 (without ferrite) 30 (with ferrite)
2	Connected	DB9-X19	No	Earthed vs Unearthed	No	No	No	2 - 3	50 (earthed shield) 27 (unearthed shield)
3	Connected	DB25	Yes vs No	Unearthed	No	No	No	7 - 8	35 (with and without ferrite)

基准测试总结结果，得出的结论摘要：

- a. 使用铁氧体磁芯可使共模电流幅度降低约 30 分贝
- b. 对 DB9 电缆影响显著。
- c. 铁氧体磁芯对 DB25 电缆的影响可忽略不计。
- d. 去除多用途（MP）卡至驱动器电缆屏蔽层的接地，其效果与安装铁氧体磁芯相似。

4 故障 MP 板检查

2024 年 9 月，VPC 常规测试台上的一台 5x 变流器出现转子短路误报警，仅在更换两块多用途（MP）板后报警才停止。这两块板被送至 SFH 5X 测试台，未引发报警，且直流母线电压（Udc）读数未出现异常。建议将其运回 VPC，在即将进行常规测试的 5x 变流器机组上再次检查。若再次引发报警，将重新核查这些板卡与其他样本之间的差异或偏差，并评估正在考虑的解决方案。

重新检查绝缘测试或其他可能造成损坏的常规测试，需要重新梳理 VPC 的常规测试流程，在绝缘测试期间测量多个元件（主要是 MP 板的去耦电容）上的电压，确认电压是否可能达到损坏元件的水平。

使用电快速瞬变（EFT）发生器注入噪声，以触发报警并评估解决方案。

5 测试正在考虑的解决方案

在现场可编程门阵列（FPGA）中对 SkiiP 通用输入输出（SkiiP 错误）和 SkiiP 停机信号进行滤波。断开多用途（MP）卡至斩波驱动器屏蔽层的本地接地。

初步制定改进措施，提高 MP 板去耦电容的额定电压。于是在 VPC 工厂对故障 MP 板的检查，测试于 10 月 15 日和 16 日在变流器 S/N 5300270427 上进行。

首先在一台发生过流报警的故障变流器上进行测试，将两块多用途板更换为新的。

使用新 MP 板进行测试，总共执行四项测试：其一，对 X19 连接器的 DB9 电缆进行常规工况测量（无铁氧体、无脉冲施加、电缆屏蔽层接地），作为后续测试的基准对比；其二，采用扎带将三相交流电缆与斩波驱动器至 MP 板的电缆进行捆束；其三，在 X19 连接器电缆上加装特定铁氧体（伍尔特电子 74271211），验证其可降低 1MHz-3MHz 频段电流峰值及低频振幅；其四，断开 MP 板至斩波驱动器电缆屏蔽层接地，且不加装铁氧体。这对比下图曲线产生了显著影响。

在对比了多用途板（MP 板）至斩波驱动器电缆屏蔽层接地与不接地的影响。注意，多用途板至驱动器的电缆仍与转子 3 相的交流电缆捆扎在一起。

使用新 MP 板的结论

Test	State	Measurement point	Ferrite	Shield	EFT	Joined cables	ALARM	Freq res (MHz)	Max dB(uA)
1	Synchronized	DB9-X20	No	Earthed	No	No	No	3	60
2	Synchronized	DB9-X19	No	Earthed	No	Yes	No	3	63
3	Synchronized	DB9-X20	Yes vs No	Earthed	No	Yes	No	1 - 3	63 (without ferrite) 50 (with ferrite)
4	Synchronized	DB9-X19	No	Unearthed	No	Yes	No	3 - 4	63 (unearthed shields) 40 (earthed shields)

6 结论

将交流电缆与多用途板至驱动器电缆捆扎对共模电流无影响。使用铁氧体可使共模电流幅度降低约 13 分贝。断开多用途板至驱动器电缆屏蔽层的接地，共模电流可降低约 23 分贝。DB9-X19 电缆中测得的共模电流与 DB9-X20 电缆中测得的相似。断开多用途板至驱动器电缆屏蔽层的接地，其效果与安装铁氧体相似。

然后，使用原始 MP 板进行测试

在同台变压器上换用曾引发过流故障的原始多用途板

(MP 板)，配置为：MP 板至驱动器电缆屏蔽层接地，电缆与转子三相交流电缆分离，未加装铁氧体。测试显示：DB9 到 X19 电缆共模电流与新 MP 板相近；3MHz 左右接地电缆电流无明显异常；三相交流电缆与斩波驱动器至 MP 板电缆捆扎时触发过流报警，表明原始 MP 板对交流电缆更敏感；DB9 到 X19 电缆加装铁氧体则无报警；多次试验中，除加装铁氧体或使用电流探头，过流报警会系统性触发；断开 MP 板至 X19 电缆屏蔽层接地，五次测试均无报警，且此时共模电流降低；恶化柜体接地连接、将 MP 板至斩波驱动器电缆屏蔽层接噪声更大接地点，均无报警。

Test	State	Measurement point	Ferrite	Shield	EFT	Joined cables	ALARM	Freq res (MHz)	Max dB(μA)
1	Synchronized	DB9-X19	No	Earthed	No	No	No	3	62
2	Synchronized	Ground cable	No	Earthed	No	No	No	aprox 3MHz	35
3	Synchronized	DB9-X19	No	Earthed	No	Yes	YES	-	-
4	Synchronized	DB9-X19	Yes	Earthed	No	Yes	No	-	-
5	Synchronized	DB9-X19	No with CM probe	Earthed	No	Yes	No	-	-
			No without CM probe				YES	-	-
			No with CM probe				No	-	-
			No without CM probe				YES	-	-
			No with CM probe				No	-	-
6	Synchronized	DB9-X19	No without CM probe	Unearthed	No	Yes	No	-	-
7	Synchronized	DB9-X19	No with CM probe	Unearthed	No	Yes	No	aprox 3.5MHz	63 (unearthed shields) 40 (earthed shields)
8	Synchronized	DB9-X19	No without CM probe	Earthed	No	Yes	No	-	-
9	Synchronized	DB9-X19	No without CM probe	Earthed	No	Yes	No	-	-

结论总结：

接地电缆中 3MHz 左右的电流水平不显著。

该组 MP 板相较于之前的版本，对交流电缆的 proximity 更为敏感。

使用铁氧体有助于避免过流报警触发。

铁氧体可使共模电流幅度降低约 30dB。

共模电流探头有助于防止过流报警激活。

断开 MP 板至驱动器电缆屏蔽层的接地，其效果与安装铁氧体相似。

恶化变压器柜体之间的接地连接不会产生过流报警。

将 MP 板至驱动器电缆的屏蔽层连接到噪声更大的接地点，不会产生过流报警。

7 重新检查绝缘测试或其他潜在破坏性常规测试

重新检查旨在验证这些测试是否可能随机损坏板卡，使其更敏感而产生过流报警。DB9 的 3 号引脚与外壳间电容约 800pF，接地电容未显损坏（额定电压 100V）。

绝缘测试时，电压施加于 UL 连接器引脚（CCU 的 X2A 连接器）与地之间。UL 电压读数分压器的 MΩ 电阻直接连 X2A 引脚，但其旁电路均悬浮不接地。因 Skiips 通过 0V 与 DB25 外壳连接，将内部电路 0V 接地，而 DB25 外壳经电缆屏蔽层在 CCU 侧接地。若绝缘测试时断开 DB25 电缆与 CCU 的连接，内部电路会与地断开，且因 MP 板的 DB9 电缆仍连 CCU，测试电压会抵达 MP 板，施加于 MP

板和 CCU 的去耦电容上。

为评估解决方案，在 SFH 工厂用 EFT 发生器对常规 MP 板测试，脉冲群施加于铝箔包裹的 MP 板至驱动器电缆。基于此进行三大项 17 小项测试

第一项测试（未装铁氧体，屏蔽层接地）：施加 1500V、2000V 脉冲群均未触发报警。第二项测试（屏蔽层不接地）：施加 200V、1000V、1500V 脉冲群，电流振幅变化，未超常规配置，接地状态影响电流高频分布。第三项测试（验证噪声源）：变压器应急及关闭状态下，在 DB9、DB25 电缆施脉冲群均未触发报警，明确噪声源在 Skiips。

所有测试未触发过流报警，明确了噪声源及接地对共模电流的影响

得出的结论总结：

所有这些测试均在未安装铁氧体且未将 MP 板至驱动器电缆与交流电缆捆扎的情况下进行，因为测试重点在于 MP 板至驱动器电缆屏蔽层的接地点。

电缆屏蔽层在常规位置接地时：

- 施加脉冲群时，较高的共模电流振幅偏移至 2.2MHz。
- 脉冲群振幅越大，共模电流振幅越高。

电缆屏蔽层不接地时：

- 较高的共模电流水平出现在 3.2MHz 处。
- 脉冲群振幅越大，共模电流振幅越高。

电缆屏蔽层通过 1 米长电缆连接至 CCU 接地点时：

- 较高的共模电流振幅偏移至 1.4MHz。
- 脉冲群振幅越大，共模电流振幅越高。

Test	State	Measurement point	Ferrite	Shield	EFT	Joined cables	ALARM	Freq res (MHz)	Max dB(μV)	Perturbation point	Vpk (V)	f(Hz)	tr(ms)	td(ms)	time(min)
1	Emergency	DB9	No	Earthed	No	No	No	-	60	-	-	-	-	-	-
			No	Earthed	Yes	No	No	2.2	65	MPP-driver	1500V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	Earthed	Yes	No	No	-	-	-	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
2	Off	DB9	No	Unearthed	No	No	No	-	60	-	-	-	-	-	-
			No	Unearthed	Yes	No	No	3.2	65	MPP-driver	200V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	Unearthed	Yes	No	No	3.2	85	MPP-driver	1000V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	Unearthed	Yes	No	No	3.2	90	MPP-driver	1500V	5kHz	300ms	300ms	1min
3	Emergency	DB9	No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	MPP-driver	200V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	MPP-driver	1000V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	-	200V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	-	1000V	5kHz	300ms	300ms	1min
	Off	DB9	No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	-	1000V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	-	1500V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	-	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	-	-	-	-	-	-	-
	Connected 1120rpm without power	DB9	No	CCU earth	Yes	No	No	1.4	80	DB25	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	Unearthed	Yes	No	No	1.4	52	DB25	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
			No	MPP earth	Yes	No	No	1.4	80	DB25	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min

无论 MP 板至驱动器电缆屏蔽层的连接点如何，均有共模电流通过 DB9 电缆。因此，这些电缆中的噪声源与 CCU 接地点和 MP 接地点之间的电压降无关，而与 Skiips 区域有关。

8 无额外外部电容器的测试

测试在变流器停止状态下进行，测量 DB9-X19 电缆共模电流，组合条件包括是否用铁氧体、MP 板至驱动器电缆

屏蔽层是否接地、干扰施加位置（MP 板至驱动器电缆或 DB25 电缆），共进行 12 项测试。测试 1-12 分别对应不同条件下的测量，结果已汇总。测试在变流器停止状态下进行，测量 DB9-X19 电缆上的共模电流，测试组合包括：是否使用铁氧体、MP 板至驱动器电缆屏蔽层是否接地，以及干扰施加在 MP 板至驱动器电缆还是 DB25 电缆上。

执行上述测试，以便得到共模电流数据

Test	State	Measurement point	Ferrite	Shield	EFT	Joined cables	ALARM	Freq res 1 (MHz)	Max dB(μV)	Freq res 2 (MHz)	Max dB(μV)	Perturbation point	Vpk (V)	f(Hz)	tr(ms)	td(ms)	time(min)
1	Off	DB9-X19	No	Earthed	No	No	No	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Off	DB9-X19	Yes	Earthed	No	No	No	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Off	DB9-X19	Yes	Earthed	Yes	No	No	1.4	50	8-10	50	MPP-driver	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
4	Off	DB9-X19	No	Earthed	Yes	No	No	2.2	60	8	60	MPP-driver	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
5	Off	DB9-X19	No	Earthed	Yes	No	No	2.2	70	7.5	75	DB25	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
6	Off	DB9-X19	Yes	Earthed	Yes	No	No	1.4	60	7.5	70	DB25	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
7	Off	DB9-X19	No	Unearthed	No	No	No	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Off	DB9-X19	Yes	Unearthed	No	No	No	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Off	DB9-X19	Yes	Unearthed	Yes	No	No	-	72	-	80	MPP-driver	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
10	Off	DB9-X19	No	Unearthed	Yes	No	No	-	70	-	83	MPP-driver	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
11	Off	DB9-X19	No	Unearthed	Yes	No	No	-	-	7.5	80	DB25	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min
12	Off	DB9-X19	Yes	Unearthed	Yes	No	No	-	-	7.5	72	DB25	2000V	5kHz	300ms	300ms	1min

DB9 屏蔽层接地时，铁氧体可降共模电流；其不接地时，铁氧体无效，且无铁氧体时两电缆施脉冲群，电流水平相近。

9 结语

MP 板报警差异原因不明，可能与元件容差、环境噪声、布线路由有关。主要结论包括：铁氧体可降 DB9 电缆共模电流约 30dB，对 DB25 电缆影响小；移除 MP 至驱动器电缆屏蔽层接地，共模电流降幅与铁氧体相近；接地连接恶化、屏蔽层接至噪声点均不引发报警；脉冲群振幅与共模电流振幅正相关，屏蔽层接地状态影响共模电流高频分布；DB9 电缆噪声源与 Skiips 区域相关。

从电磁兼容（EMC）及过流报警避免角度总结：铁氧体可使 DB9 电缆共模电流降约 30dB，对 DB25 电缆影响甚微；移除 MP 至驱动器电缆屏蔽层接地，共模电流降幅与加铁氧体相近，且恶化柜体接地、接噪声更大接地点不引发过流报警，3MHz 左右接地电缆电流水平不显著。脉冲群方面，

电缆屏蔽层接地情况影响共模电流振幅偏移频率，铁氧体仅在屏蔽层接地且干扰施加于特定电缆时，能降低共模电流；屏蔽层不接地时，铁氧体无作用，且施加脉冲群后共模电流水平相近。DB9 电缆噪声源与 Skiips 区域相关。现场在瑞典风电场两台变流器上断开 MP 至驱动器电缆屏蔽层接地，UDC 电压改善，两周无过流报警。综上，为避免过流误报，建议移除 MP 至斩波器驱动器电缆屏蔽层接地、每根 DB9 电缆加铁氧体或改进 MP 板设计

参考文献

- [1] MPP BOARD ELECTRICAL SCHEME
- [2] D2051686_006-SG5x ICD Converter
- [3] D2051678_005_RD CONVERTER SG 5.X_21102020
- [4] ID8437 ROTOR SHORTCIRCUIT ALARM INVESTIGATION REPORT
- [5] CONVERTER SG 5.X PARAMETERS LIST
- [6] CONVERTER SG 5.X ALARM LIST