

使用更少材料的电气面板设计： 已通过测试 (温升、内部电弧、短路力、电介质)。

由 Sergio Feitoza Costa, M.Sc.

简历 <https://www.cognitor.com.br/Curriculum.html>

Written in Chinese simplified

我协助做的事情 : <https://www.cognitor.com.br/HelpedToDo.pdf>



采用更少材料的配电盘设计：如何在测试中获得认证（温升、内部电弧、短路力、介电强度）。示例。

如何利用 IEC_62271-307 创新中压开关设备？如何向买家解释该文件也适用于低压开关设备？

中压和低压内部电弧测试：更安全、更经济的解决方案设计技术。已获批准的解决方案示例

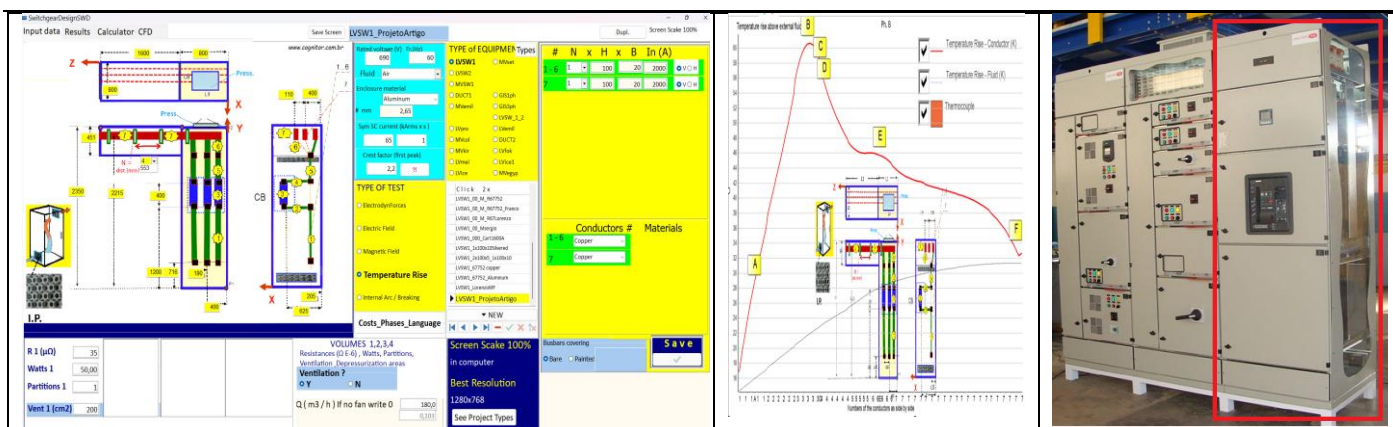
短路电力和应力。开关柜示例：如何节省绝缘子

为什么节约铜、铝和绝缘子有利于应对气候变化？大型买家如何利用这些资源来提升其环境形象？投标规范示例

四轴导体：一种用于低阻抗开关设备的概念。

城市地区配电网的危险接近性：缺少 IEC 技术标准来降低对人员的风险（关于内部电弧）

图 1 – 计算的参考示例。



1. 设计原则以开发更安全、更低成本的产品。

开发低成本产品不仅有利于提高利润，更重要的是，它有助于节省地球材料。节省铜、铝和绝缘体等材料有利于缓解气候变化，因为它可以最大限度地减少对新原材料的需求。这些节省可以减少温室气体排放。节约和创新的最佳时机是设计阶段。对于中小型制造商来说，使用更少材料的设计是一个绝佳的机会，因为“旧设计”在大型国际制造商的全球销售中占据主导地位。大型制造商并不专注于突破数十年来稳固销售的舒适区的改进。在协调IEC/IEEE标准的制定时，他们不会在标准中加入鼓励更高效、使用更少材料的项目的条款

。能够实现这一愿景的设计师往往在市场中占据有利地位。我建议读者在有空的时候阅读这篇包含创新概念和想法的文章[参考文献[1]。如果您喜欢，请分享并实践。

<https://www.cognitor.com.br/certificate.pdf> .

这本书是一本很好的读物，可以开拓设计师对低成本产品的视野。这本书是我在2018年参与编写的。它就是 Cigrè Brochure 602 (2018)，题为“发展中国家低成本变电站的现代设计”。

为了帮助理解如何开发更安全、更低成本的产品，我将使用一个简化的低压配电盘项目教学示例，如图1所示。这是一个额定电流为2000A的断路器(CB)柱。它使用1x100x20mm的裸铜排（无涂层），一个180立方米/小时的风扇，带有上下两个通风口，每个通风口的面积为20x10=200平方厘米。该断路器的功耗为 $3 \times 35\mu\Omega \times (2000)^2 = 420 \text{ W}$ （瓦特= $3 \times R \times I^2$ ）。使用功耗更高的断路器会导致配电板发热，并消耗更多材料。在这些文章[参考文献[6]中，我解释了原因

<https://www.cognitor.com.br/LVcircuitBreakerDevelopment.pdf>

<https://www.cognitor.com.br/DevelopingCircuitBreakers.pdf>

在这些条件下，在温升测试中，柜体达到了 IEC62271-1 标准中裸露连接 60K 的温升限值 [参考文献 4,5]。当您优化设计，使其通过测试并接近技术标准规定的限值时，由于使用了最小的母线重量，您将获得更低的成本设计。

本文将介绍三种“简单”的方法来优化设计，以减少材料使用。表 1 中对这些方案进行了比较。用于比较项目的参数是参考文献 [1,2] 中解释的 kg/MVA 指标。读者应该记住，对于每种方案，在相同的 60K 温升限值下，传输的电流都可能超过原来的 2000A。因此，kg/MVA 指标是合适的。教学目标是使用相同的原始重量，但传输更大的电流（更低的 kg/MVA 传输值）。这种设计理念可以借助 SwitchgearDesign 软件等工具轻松应用。您只需更改条形类型并在几分钟内重新计算结果，如本文前面的视频所示。

这里考虑的优化方法包括：

(a) 保持母线重量不变，但每相使用 2x100x10 毫米母线，而不是 1x100x20 毫米母线；(b) 更换断路器品牌，使其功耗降低 50%；(c) 将通风口的空气通道面积增加 50%。

其他可能的优化方法，例如使用金属泡沫、改变防护等级、使用同轴配置以及用铝代替铜，这些方法更为复杂，本文不再赘述。在进行对比所需的测试模拟中，我们使用 SwitchgearDesign 软件来模拟测试中的性能 [参考文献 18]。

2.“温升测试”定义了电气面板/开关设备的重量。

“温升测试”用于验证开关设备及其组件的工作温度是否低于会导致材料加速老化的极限值。此外，还可以验证外壳的温度是否达到其他标准，因为外壳可能会被操作人员或非专业人员触碰并造成伤害。

测试时，电气面板按正常使用方式安装。施加测试电流，等待温度稳定，然后测量一些关键点的温度。如果关键点的温升低于技术标准规定的限值，则设备通过测试。这些限值是节省材料的关键。根据所用材料和涂层的不同，连接或触点允许的温度可能更高或更低。这些限值在技术标准表格中有所规定，例如 IEC62271-1，我在这里展示了其中的一小部分。



Table 3.1 (extracted from Table 14 of IEC 62271-1 (2017)) – Some limits of temperature rise for various parts, materials and dielectrics of high-voltage switchgear and controlgear

Nature of the part, of the material and of the dielectric	Maximum value	
	Temperature °C	Temperature rise at ambient temperature not exceeding 40°C K
Connections, bolted or the equivalent		
Bare-copper or bare-copper alloy or bare-aluminium		
- in OG	100	60
- in NOG	115	75
- in Oil	100	60
Silver-coated or nickel-coated		
- in OG	115	75
- in NOG	115	75
- in Oil	100	60
Tin-coated		
- in OG	105	65
- in NOG	105	65
- in Oil	100	60
Terminals for the connection to external conductors by screws or bolts (refer to points 8 and 14)		

注意：IEC 61439 表格比较混乱，写得也不太好，容易导致类似参考文献 [4,5] 中的错误。IEC62271-1 中的表格写得非常好，也很清晰。

据我所知，世界上理解这些原则的最佳文献是 IEC TR 60943:1998——《电气设备部件（尤其是端子）允许温升指南》。该文件旨在指导如何估算稳态条件下载流电气设备零部件的允许温升值和温升。

IEC62271-307 中关于延长测试报告有效期的表格，可以帮助我们了解温升测试的关键设计因素。

“温升测试”决定了产品设计中使用的导体材料的重量，因为如果不能超过的极限值较低，则需要使用更多的导体材料才能达到极限值。如果极限值较高，则可以在相同电流下使用更少的材料通过测试。

对于任何电压（IEC61439、IEC 61271）的开关设备，母线之间的连接以及与其他组件（例如断路器和隔离开关）的连接通常是通过温升测试的“热点”。影响温升的主要因素是局部电阻。

在这段 5 分钟的视频中，我简要介绍了在（非免费的）为期 2 天的现场培训 [16,17] 中详细解释的概念。

<https://www.youtube.com/watch?v=R28GXw1V9ZY>

想要深入了解的人请阅读本指南：

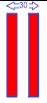
<https://www.cognitor.com.br/TemperatureRiseGuide.pdf>

参考文献 [3] 是一本免费书籍《IEC/IEEE 开关设备标准中使用的温升限值》。阅读方式：

<https://www.cognitor.com.br/TemperatureRiseLimits.pdf> .

表 1 - 相同铜重量的方案比较。使用 SwitchgearDesign 进行测试模拟，热点温升为 60K。原始设计：断路器柱电流为 2000 A，采用 1x100x20mm 裸铜排（无涂层），风扇风速为 180m³/hr，强制空气通过通风口，每个通风口面积为 20x10=200cm²。断路器功耗为 420 W。

更经济的替代品是那些千克/MVA 较低的替代品

	设计替代方案。	电流达到60K (安培)	重量	千克/兆伏安
	Alternative	Current to reach 60K (Amperes)	Weight kg	Kg/MVA
	采用实心铜条的原创设计 Original design with a solid copper bar 1 x 100 x 20 mm per phase	2000 A	220	136 (100%)
	实心铜条的替代方案 Alternative with a solid copper bar 2 x 100 x 10 mm (instead of 1x100x20)	2360 A	220	115 (85%)
	实心铜条的替代方案 Alternative with a solid copper bar 4x 100 x 5 mm (instead of 1x100x20)	2800 A	202	97 (71%)
	将断路器品牌更改为具有原始功耗 50% 的其他品牌（210 W 而不是 420 W）原始条 Changing brand of the circuit breaker to another one with 50% of the original power dissipation (210 W instead of 420W) Original bars	2400 A	22	113 (83%)
	通风口的空气流通面积增加50%。（300cm² 而不是 200cm²）原装条 Increasing in 50% the air passage area of ventilation openings. (300cm ² instead of 200cm ²) Original bars	2100 A	22	129 (94%)

3 - 短路力（电动力）定义绝缘子的类型和数量

对于想要了解力计算方法细节的人来说，最好的方法是阅读我的免费文章“短路电流力：从开关设备、配电盘和母线槽到磁流体动力推进系统”（[链接链接](#)）。这可能是全球技术文献中最完整（也更易于阅读）的文章。 <https://www.cognitor.com.br/ElectrodynamicForces.pdf>

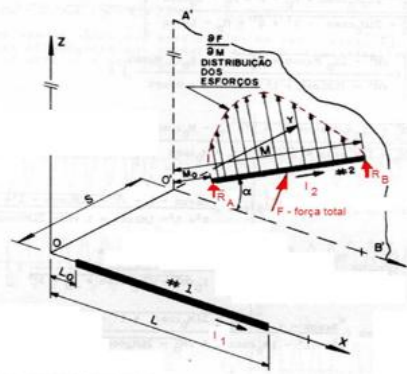
在这段 8 分钟的视频中，我简要介绍了我在（非免费的）为期 2 天的现场培训 [16,17] 中详细解释的概念。 <https://www.youtube.com/watch?v=CRPopRlyjPc>

实际情况是，当电流在1号电导体中循环时，它会在周围产生磁场。当该磁场接触到相邻的2号电导体（该导体也通过电流循环）时，就会产生力。本文提供了计算公式，SwitchgearDesign 软件会用到这些公式来检查和汇总配电盘内数十条导体的贡献。

作用于母线和支架上的电力与电流的平方成正比，与母线之间的距离成反比。因此，更小的开关柜意味着更大的力和更多的绝缘子支架，以降低风险。

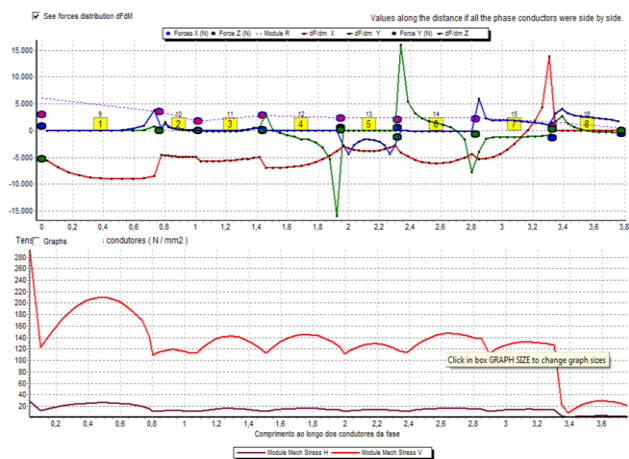
$$F = F_x (x) + F_y (y) + F_z (z)$$

$$dF/dm = dF_x/dm (x) + dF_y/dm (y) + dF_z/dm (z)$$



Forces & Stresses: easy analysis using SwitchgearDesign

COGNITOR



14

近几十年来，短路电流的强度持续增长。由于人们仍然疯狂地追求开关设备、配电盘和配电盘的小型化，这意味着我们的电路将变得越来越危险和不安全。此外，内部电弧的危险性也越来越高（体积越小，过压也就越高）。

计算配电盘内部的电力（图表上部）和机械应力（图表下部）时，您会得到如左图所示的数值，您可以将这些数值与绝缘体断裂和导体弯曲的承受能力进行比较。

观看此视频以了解更多信息。

https://www.youtube.com/watch?v=2j8D_N1v0tU

优化设计的方法在这里解释起来很长，但基本原理在于减少绝缘子的数量，并检查其作用力和应力是否低于绝缘子的支撑能力（产品目录）以及导体材料的机械强度。查看如上所示的开关设备设计图表，几分钟即可完成。

The way to optimize a certain design is long to explain here but basically consists in reducing the number of insulators and checking if the forces and stresses remains below the supportability of insulators (catalogue) and the mechanical strength of the conductors materials. This can be done in minutes looking to the SwitchgearDesign charts like above.

4. 内部电弧测试定义了人员和操作员在爆炸和火灾方面的安全

在这段 5 分钟的视频中，我简要介绍了我在（非免费的）为期 2 天的现场培训 [16,17] 中详细解释的概念。
<https://www.youtube.com/watch?v=mTpPBkCBAQ8>

对于想要了解内部弧计算方法细节的人，我建议开始阅读我的这篇文章

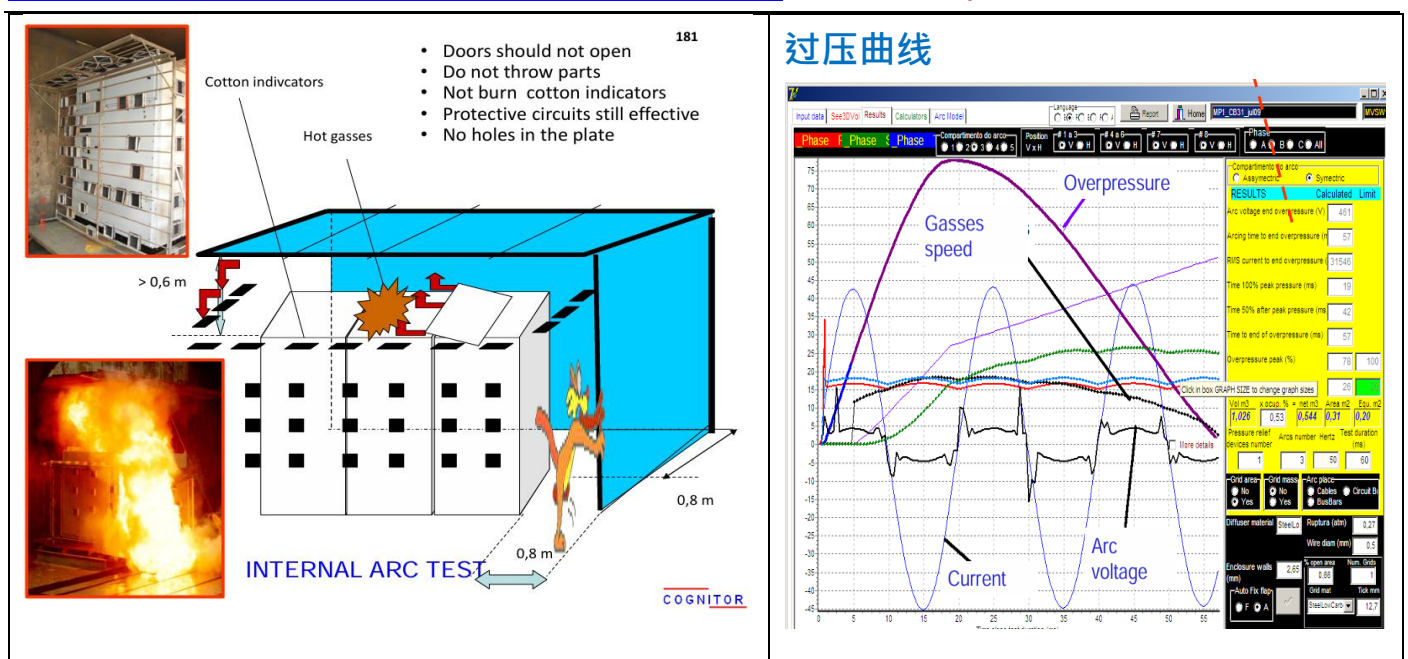
<https://www.cognitor.com.br/LVinternalArcGuide.pdf> . 理解这些流程最完整的文献是参考文献[13] CIGRE Brochure 602 (2014)。我是该文献的合著者。

内部电弧是一种极端事件，尽管 IEC 标准规定其罕见，但其发生频率较高。开关设备技术标准（例如 IEC62271-200 和 IEC TR 61641）规定了相应的测试，以便根据产品承受过压影响（例如附近人员和设备发生事故）的能力对其进行分类（类似 IAC）。

测试过程是用一根细导线在母线各相之间产生电弧。这根导线可以模拟各种各样的情况，例如在电路断电维护期间留在母线上的工具，或者发生导致短路路径的介质放电。

电弧的高温会使母线附近的铜和其他材料气化。少量固体一旦气化，体积就会增大约 15,000 倍。这就好比我们有一个封闭的金属盒，里面有 1 bar 压强的空气，在不到 20 毫秒的时间内，又有等量的空气被注入其中，使原来的压力增加。这会导致压力突然从 1 bar 升至 2 bar 左右。在由 2.5 毫米左右的薄板制成的外壳中，当内部压力达到 1.2 bar 左右时，减压窗就会开始打开。如果尺寸合适，就会达到平衡状态，其中产生的所有铜气都可以逸出，压力回到约 1 bar，如本参考书第 181 页中的图所示。

https://www.cognitor.com.br/Book_SE_SW_2013_ENG.pdf （免费阅读）



电弧一旦在某一点开始，便会沿与电压源相反的方向移动。在其持续时间内，会产生三种效应，对配电板和附近的人员造成冲击。第一种效应是内部产生气体引起的过压。这可能会损坏和打开配电板门，或导致壁变形。配电板壁由金属板制成，外壳由间隔一定距离的螺钉密封。外壳的机械承受能力随着壁厚的增加而增强。螺钉之间的距离越小，相邻螺钉之间板的变形就越小。

第二种效应是我们所说的“烧穿”。移动的电弧最终可能会在螺钉或电弧屏障处停止。如果停止，局部金属材料会被极高的高温熔化和蒸发。停止的电弧会形成一个孔洞，高温加压气体会通过该孔洞从外壳中逸出。

第三个影响是通过泄压装置喷出的热气体和颗粒的覆盖范围。这与过压的数值和持续时间直接相关。这种影响无法可靠地模拟。

为了评估电弧效应，我们使用两个“性能指标”来评估特定设计是否能够获得批准。这两个指标分别是过压峰值和过压 $\times$ 时间曲线的积分。指标所用的限值基于本顾问在先前测试和计算中的经验。可接受的限值是成功测试记录的数值。这并不意味着不能超过这些限值，而是目前尚无结果显示可以超过这些限值。内部容积越小，过压越低。减压面积也是一个关键因素。面积越大，过压越低。

优化某种设计的方法在这里要解释很长，但基本上包括定义减压开口的面积和它们的速度，并检查我们是否仍在可支撑性极限之内。

5. IEC TR 62271-307 如何帮助设计师了解什么才是真正重要的？

这里我建议读者直接阅读参考文献[19]中的文章：IEC TR 62271-307 – 延长型式试验的有效性以避免重复试验。 <https://www.cognitor.com.br/IEC62271307ENG.pdf>

这篇文章很好地解释了 IEC 文档表以及如何使用它们来编写有效性扩展报告。我是 IEC TR 62271-307 的合著者，并协助 IEC 工作组编写了该标准。我在那里学到了很多，并运用这些知识为世界各地的许多公司编写了“有效性扩展报告”。

5. 最后评论

希望本文能对世界各地的开关柜设计师和开发人员有所帮助。

请分享，让更多人受益。敬请期待下一篇培训文章。

前段时间我去广州报名参加培训，受到了国内的热烈欢迎。

----- 文章结束 -----

参考 / REFERENCES

[1] 了解节约铜、铝和绝缘子为何有助于减缓气候变化

IEC、IEEE 和大型电气产品买家可从中受益

UNDERSTANDING WHY SAVING COPPER, ALUMINUM & INSULATORS MITIGATES CLIMATE CHANGE
IEC, IEEE & LARGE BUYERS OF ELECTRIC PRODUCTS CAN PROFIT FROM THIS
<https://www.cognitor.com.br/certificate.pdf>

[2] PORQUE ECONOMIZAR COBRE, ALUMÍNIO, & ISOLADORES AJUDA A MITIGAR AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS ? IEC, IEEE & GRANDES COMPRADORES DE PRODUTOS ELÉTRICOS PODEM LUCRAR E MELHORAR A IMAGEM AMBIENTAL
<https://www.cognitor.com.br/certificado.pdf>

[3] 免费书籍“IEC / IEEE SWITCHGEAR 标准中使用的温升限值”

Free Book “TEMPERATURE RISE LIMITS used in IEC / IEEE SWITCHGEAR STANDARDS”
<https://www.cognitor.com.br/TemperatureRiseLimits.pdf>

[4] 文章“IEC 61439-1 的温升限值：不明确的数值扭曲了低压开关设备市场。”（2023 年 5 月 12 日）

Article “TEMPERATURE RISE LIMITS OF IEC 61439-1 : unclear values distort the LV switchgear market. (May,12, 2023)
- <http://www.cognitor.com.br/IEC614391Table6.pdf>

[5] Artigo “LIMITES DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA DA IEC 61439-1: valores indefinidos distorcem o mercado de painéis de baixa tensão <http://www.cognitor.com.br/IEC61439Tabela6.pdf>

[6] 低压断路器的发展。为什么功耗越低越好。

LV CIRCUIT BREAKERS DEVELOPMENT. WHY HAVING A LOWER POWER DISSIPATION IS BETTER.
<https://www.cognitor.com.br/LVcircuitBreakerDevelopment.pdf>
<https://www.cognitor.com.br/DevelopingCircuitBreakers.pdf>

[7] IEC 62271-307 – 延长型式试验的有效期以避免重复试验。

IEC 62271-307 – Extension of the validity of type tests to avoid tests repetitions.
<https://www.cognitor.com.br/IEC62271307ENG.pdf>

[8] IEC 62271-307 – Extensão da validade de ensaios de tipo para evitar repetição de testes
<https://www.cognitor.com.br/IEC62271307POR.pdf>

[9] IEC62271-307 (2015) - High-voltage switchgear and controlgear - Part 307: Guidance for the extension of validity of type tests of AC metal and solid-insulation enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.

[10] IEC TR 60943:1998 - 关于电气设备部件（尤其是端子）允许温升的指南。由 IEC 技术委员会 TC 32 发布。

IEC TR 60943:1998 - Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals. Issued by IEC Technical Committee TC 32.

Sergio Feitoza Costa 是 CIGRÉ 手册的合著者。

Brochures CIGRÈ in which Sergio Feitoza Costa is coauthor.

[11] CIGRÈ BROCHURE 830 (2021) – “SIMULATIONS FOR TEMPERATURE RISE CALCULATION”.

[12] CIGRÈ BROCHURE 740 (2018) Contemporary design of low-cost substations in developing countries.

[13] CIGRÈ BROCHURE 602 (2014) Tools for Simulation of The Effects of the Internal Arc in T&D Switchgear,

[14] Sergio 的免费书籍“开关柜、母线槽、隔离器、变电站和线路设备”

Free book by Sergio “SWITCHGEAR, BUSWAYS & ISOLATORS & SUBSTATIONS & LINES EQUIPMENT”

https://www.cognitor.com.br/Book_SE_SW_2013_ENG.pdf

[15] 其他参考文章免费下载

Other reference articles free downloads <https://www.cognitor.com.br/Downloads1.html>

[16] 针对开关设备/电气面板制造商的培训：

A TRAINING FOR SWITCHGEAR / ELECTRIC PANELS MANUFACTURERS: <https://www.cognitor.com.br/trainingENG.pdf>

[17] UM TREINAMENTO PARA FABRICANTES DE PAINÉIS ELETRICOS <https://www.cognitor.com.br/trainingPOR.pdf>

[18] SwitchgearDesign 软件验证 - 模拟测试 (温升、短时电流、电动力、内部电弧) - 报告 071/2014

Validation of software SwitchgearDesign - Simulation o Tests (Temperature Rise, Short Time Current, Electrodynamic forces, Internal Arc) - Report 071/2014

https://www.cognitor.com.br/TR_071_ENG_ValidationSwitchgear.pdf

Report 150/2024

https://www.cognitor.com.br/TR_150_ENG_ValidationSwitchgearDesignSWD.pdf

[19] IEC 62271-307 – 延长型式试验的有效期以避免重复试验。

IEC 62271-307 – Extension of the validity of type tests to avoid tests repetitions.

<https://www.cognitor.com.br/IEC62271307ENG.pdf>

简历 <https://www.cognitor.com.br/Curriculum.html>

我协助做的事情： *** Things Sergio helped to do

<http://www.cognitor.com.br/HelpedToDo.pdf>

Site <https://www.cognitor.com.br>

联系邮箱: *** Contact e-mail *** sergiofeitozacosta@gmail.com

LinkedIn profile (32K followers) : [linkedin.com/in/sergiofeitozacosta](https://www.linkedin.com/in/sergiofeitozacosta)