



中华人民共和国国家标准

GB/T 18494.3—2023

代替 GB/T 18494.3—2012

变流变压器 第3部分：应用导则

Converter transformers—Part 3: Application guide

(IEC 61378-3:2015, MOD)

2023-03-17 发布

2023-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	1
5 额定值	2
6 绕组结构	3
7 分接和阻抗-HVDC 应用	12
8 绝缘要求及绝缘试验	13
9 损耗	18
10 铁芯和噪声	28
11 技术规范	31
12 短路电流的计算	42
13 组件	44
14 维护	48
15 监测	54
16 变流变压器的设计评审	58
参考文献	64
图 1 6 脉波桥原理图	3
图 2 12 脉波桥原理图	4
图 3 两台变流变压器绕组联结为星-角联结和星-星联结或者为角-角联结和角-星联结以得到阀侧电 压之间有 30°相位差	4
图 4 优先选用延边角结或曲折形联结做成具有 15°相位移	4
图 5 双反星型连接图	5
图 6 饱和电抗器接线图	6
图 7 粗细调自耦变压器开相连接原理图	7
图 8 粗细调常规自耦变压器闭相连接原理图	7
图 9 多级粗调常规自耦变压器闭相连接原理图	8
图 10 粗细调升压自耦变压器闭相连接原理图	8
图 11 粗细调自耦变压器开相连接原理图	9
图 12 粗细调双绕组变压器闭相连接原理图	9

图 13	双绕组换流变压器两种基本排列	10
图 14	公共互抗	11
图 15	典型阻抗	13
图 16	典型的工业用变流变压器绝缘系统元件	14
图 17	绝缘系统的等效 R-C 电路	15
图 18	极性反转前和反转后的电压分布	16
图 19	AC/DC 转换简图	17
图 20	阀侧绕组为密耦合的三绕组变流变压器的漏磁场	21
图 21	阀侧绕组无耦合的三绕组变流变压器的漏磁场	22
图 22	阀侧绕组为双同心式松耦合的三绕组变流变压器漏磁场	23
图 23	两个阀侧绕组沿轴向分置且为松耦合的三绕组变流变压器漏磁场	24
图 24	短路故障条件	42
图 25	阀侧套管布置图	46
图 26	HVDC 套管附近及相关绝缘系统交流、直流及混合电场分布示例	47
表 1	双绕组排列	11
表 2	谐波电流负载损耗计算	25
表 3	监测类型	56

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 18494《变流变压器》的第 3 部分。GB/T 18494 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：工业用变流变压器；
- 第 2 部分：高压直流输电用换流变压器；
- 第 3 部分：应用导则。

本文件代替 GB/T 18494.3—2012《变流变压器 第 3 部分：应用导则》，与 GB/T 18494.3—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了适用范围(见第 1 章)；
- 增加了变流变压器设计时需区分网侧电压为正弦波和非正弦波的情况(见第 5 章)；
- 12 脉波联结组别图中增加 DyYy 及 DdYd 联结方式；增加了带有滤波和补偿用的第三绕组的工业设备需考虑实际电流较额定值大的情况(见 6.1)；
- 优化了联结示意图的样式；增加了自耦变压器介绍的种类，包括有粗调和细调的自耦变压器的开相原理图、有粗调和细调的变压器双绕组闭相原理图等(见 6.2 和 6.3)；
- 更改了混合绝缘的温升限值，由“105 ℃”改为“参考 GB/T 1094.2—2013 中 6.2 允许的限值”，提示可从 GB/T 1094.14 获得新绝缘材料的应用方法(见 8.1.2)；
- 增加了大电流绕组的电流分布、损耗和热点温升内容(见 9.1.3)；
- 增加了整流器松耦合情况损耗杂散增加的内容(见 9.1.5)；
- 增加了接电压源变流器的变压器介绍(见 9.1.8)；
- 增加了关于工业用变流变压器的温升试验考虑的内容(见 9.2.5)；
- 增加了关于工业用变流变压器的油箱热点的内容(见 9.2.6)；
- 增加了饱和电抗器铁芯及油箱中平衡电抗器铁芯的有关内容(见 10.1.1)；
- 增加了谐波对变流变压器铁芯影响的内容(见 10.1.2)；
- 增加了关于平衡电抗器铁芯设计会对噪声产生影响的内容(见 10.2.1)；
- 将油的击穿电压和酸值测试由每两年一次改为每年至少进行一次(见 14.2.2)；
- 增加了关于工业用和 HVDC 用变流变压器的设计评审的章节(见第 16 章)。

本文件修改采用 IEC 61378-3:2015《变流变压器 第 3 部分：应用导则》。

本文件与 IEC 61378-3:2015 的技术差异及其原因如下：

- 为了适应我国的技术条件，用修改采用国际标准的 GB/T 1094.5 代替了 IEC 60076-5、GB/T 1094.14 代替了 IEC 60076-14:2013(见 8.1.2、第 12 章和 16.3.4.3)；
- 考虑到 GB/T 18494.1—2014 和 GB/T 18494.2—2022 中对额定电流的要求不同，为了兼顾我国的实际情况，对 I_{LN} 和 K_h 的解释按我国的情况进行了调整，并增加了电流比值 k_h 、额定电流 I_r 和额定电流下的电阻损耗 $I_r R$ 的符号和解释(见第 4 章)；
- 考虑到 GB/T 18494.1—2014 和 GB/T 18494.2—2022 中对额定电流的要求不同，为了兼顾我国的实际情况，对额定值的内容分别进行了修改(见第 5 章中的第 1 段、第 2 段和最后一段)；
- 为避免引起误解，删除了 IEC 原文中“当一台变流变压器接法为正序”和“另一台变流变压器接法为负序”时在其后面括号内所给出的字母标志(见 6.1 中图 4 上面的第 1 段)；
- 考虑到我国变压器端子标志习惯与国外不同，为了兼顾我国的实际情况，将变压器三相端子标

志由“U、V 和 W”修改为“A、B 和 C”(见 6.2.3 中的图 7~图 12);

- 考虑到我国对工业用变流变压器和 HVDC 输电用换流变压器在阻抗偏差要求方面的不同,为了兼顾我国的实际情况,对阻抗偏差的内容进行了修改。对于工业用变流变压器,其要求与 IEC 原文保持一致;而对于 HVDC 输电用换流变压器,其要求则按照 GB/T 18494.2—2022 的规定(见 7.2 的第 6 段);
- 我国电源的额定工频为 50 Hz,为了符合我国的实际情况,删除了 IEC 原文中的 60 Hz,只保留 50 Hz(见 9.1.6);
- 为了兼容我国标准的技术内容,删除了 IEC 原文中的监测项目“重复的冲击波形(RSO)或低压冲击电压试验响应”(见 15.3.3)。

本文件做了下述编辑性改动:

- 对引言的内容进行了调整;
- 对第 4 章的标题及符号的顺序进行了调整;
- 删除了 8.2.2 中的最后一段内容;
- 将 9.2.3 中所提及的条款号 9.1.5 更正为 9.1.6;
- 删除了 13.2.1 的第 2 段内容;
- 13.2.5 的图 25 a)中增补了代表阀侧的字母 C;
- 删除了 15.3.3 中的脚注 3;
- 对参考文献进行过了调整。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国变压器标准化技术委员会(SAC/TC 44)归口。

本文件起草单位:沈阳变压器研究院有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、顺特电气设备有限公司、辽宁华冶集团发展有限公司、湘潭华夏特种变压器有限公司、正泰电气股份有限公司、西安西电变压器有限责任公司、南方电网科学研究院有限责任公司、明珠电气股份有限公司、保定天威保变电气股份有限公司、卧龙电气集团北京华泰变压器有限公司、特变电工衡阳变压器有限公司、天津市特变电工变压器有限公司、常州西电变压器有限责任公司、吴江变压器有限公司、海鸿电气有限公司、保定天威顺达变压器有限公司、浙江江山变压器股份有限公司、重庆祥龙电气股份有限公司、许昌中天宇光电技术有限公司、广东敞开电气有限公司。

本文件主要起草人:张显忠、李桂苹、李霞、孙涛、张喜明、李锦彪、王涛、雷园园、蔡定国、王清璞、何宝振、谭黎军、赵文忠、吴国良、林灿华、梁庆宁、秦金立、姜振军、陈恒云、石玉林、许凯旋。

本文件所代替文件的历次版本发布情况为:

- 2012 年首次发布为 GB/T 18494.3—2012;
- 本次为第一次修订。

引 言

0.1 概述

变流变压器标准的制定,是为了给变流变压器建立一套最佳的评价准则,为变流变压器从生产材料选择、产品设计、产品生产、产品检验、产品选用及运行维护等方面所需的注意事项提供指导。GB/T 18494旨在确立适用于变流变压器的设计、制造、试验方法、运行维护等方面的遵循原则和相关规则,拟由3个部分构成。

- 第1部分:工业用变流变压器。目的在于确立适用于各类工业(如:制铜、铝熔炼和某些气体电解)用变流变压器的技术要求和试验要求等。
- 第2部分:高压直流输电用换流变压器。目的在于确立适用于各类高压直流(HVDC)输电用换流变压器的技术要求和试验要求等。
- 第3部分:应用导则。目的在于给出第1部分和第2部分的技术背景,并对各类工业用变流变压器和各类高压直流输电用换流变压器的实际应用提供指导。

GB/T 18494通过三个部分明确了各类工业用变流变压器和HVDC输电用换流变压器的技术要求和试验要求,并对这两类产品的实际应用提供了指导。通过确立各类产品明确的范围、术语、技术要求、试验方法、实际应用指导等,让生产者、使用者及相关试验人员能够更加清晰、准确地进行操作,从而设计、制造高质量的产品,并使其得到合理的应用,更好地促进贸易、交流和技术合作,为我国电网的正常运行提供保障。

本文件包含了GB/T 18494.1—2014和GB/T 18494.2—2022所适用的两类产品,适用于0.2~0.14所涉及的内容。GB/T 18494.1—2014既适用于任何容量的电力变流器(典型的应用包括电解用晶闸管整流器、电解用二极管整流器、大功率驱动用晶闸管整流器、废料熔炉用晶闸管整流器和变速驱动变频器用二极管整流器),也适用于降压调压器或自耦变压器的调压单元,阀侧绕组的设备最高电压不超过40.5 kV。GB/T 18494.2—2022适用于HVDC输电用的换流变压器,高压直流输电系统有两种类型,一种为“背靠背”型,另一种为“输电”型,在这两种系统中运行的换流变压器,其运行和评估均包括在GB/T 18494.2—2022和本文件中。

GB/T 18494.1—2014和GB/T 18494.2—2022均没有明确包含与电压源换流器(VSC)相关的变流变压器。因为VSC的应用正变得越来越普遍,所以本文件提供了一些指导。

0.2 额定值(第5章)

在GB/T 18494.1—2014中,对变流变压器额定值的规定与传统上所用的方法是不同的。在传统方法中,变压器铭牌电流的额定值是用电流的方均根值来定义的。GB/T 18494.1—2014对变流变压器额定值定义的方法提出了一个根本性的改变。阐明了变流变压器铭牌额定值以电压和电流的基波分量为基础。由基波分量得出的铭牌额定值为阻抗和损耗保证值的基础。在GB/T 18494.2—2022中,额定电流是在额定负载条件下,基波电流与第49次谐波及其之前的所有谐波电流的方均根。

0.3 绕组结构(第6章)

已有大量的绕组联结和原理应用于工业和HVDC输电用的变流变压器。多年来,它们已得到不断的发展。各种整流联结的运行特性,绝大多数已包括在GB/T 3859(所有部分)内。在本文件中,就联

结对变流变压器结构和某些运行方面的影响进行了研讨。

不同调压方式在工业应用中是常见的,本文件给出了几种调压方法的原理图。

0.4 分接和阻抗(第7章)

HVDC 输电用换流变压器的阻抗需特别注意,并需要特殊的设计方案。主要关心的是在整个分接范围内阻抗变化的限值和不同换流变压器间的阻抗差异的限值,以及在某些应用中的星结绕组和角结绕组间阻抗差异的限值。本文件对这些限值和其实际应用进行了讨论。

通常,变流变压器的分接范围比常规变压器大。本文件讨论了这种大分接范围对变流变压器和分接开关的影响。

0.5 绝缘及绝缘试验(第8章)

本章涉及了两个方面,首先在工业应用中增加采用“混合绝缘”的绝缘结构。其次是 HVDC 输电用换流变压器绝缘结构在外施直流电压试验中和在运行中的绝缘能力。

讨论了交流和外施直流电压试验的基本原理、试验方法和试验电压水平。对与所推荐试验规范相关的安全措施进行了评论。

0.6 损耗(第9章)

本文件详述了在考虑非正弦负载电流对各类变流变压器的影响时所用的原理、试验方法和计算方法的相关内容。

用计算实例详述了 HVDC 应用中的双频试验原理。这些由试验和计算得到的损耗值被作为确定温升试验中用于建立油和绕组温度梯度试验电流的基础。

0.7 铁芯和噪声(第10章)

对电压谐波和直流偏磁电流对铁芯结构和性能的影响进行了讨论和总结。

对噪声产生的原因、常规的工厂声级测量值与现场实测值及预期值之间的预期差异进行了评述。

讨论了估算变流变压器声级的最新方法。

0.8 技术规范(第11章)

变流变压器的规范与电力变压器明显不同。详细的要点是编制技术性规范和功能性规范的指导文件的一部分。

给出了在订货投标阶段,用户和制造方各自宜提出哪些规定内容的一些指导原则。

0.9 短路(第12章)

在常规电力变压器中,绕组内部短路电流计算只与变压器及变压器所接电源的电抗和电阻分量有关。

但对于变流变压器,需要考虑变流器内发生故障时所产生的故障电流峰值可能高于常规电力变压器所出现的短路电流峰值的情况。这种情况在本文件中进行了详述。

0.10 组件(第13章)

在进行工业用和 HVDC 输电用变流变压器设计时,有载分接开关的选择和运行是个关键性的问题。本文件列举了分接开关用于这些场合时的某些原则规定。

在 HVDC 应用中,阀侧套管的设计和与总体的结合是关键性问题。

详述了对套管的一般要求、结构建议、套管与变流变压器的结合和试验要求。

0.11 维护(第 14 章)

统计表明, HVDC 输电用换流变压器需要高标准的维护。特别需要注意的是有载分接开关和阀侧套管。本文件提出了维护的要求。

0.12 监测和现场调研(第 15 章)

如果希望减少现场出现问题, 则建议作变流变压器现场监测。在这方面, 只讨论状态监测。本文件也对现场出现事故后宜进行的工作程序和实际操作提出了建议。这些建议的提出, 就是要在调查研究的开始阶段中, 使那些重要的证据和数据不会丢失或损毁。

本章也讨论了为了这种应用目的而适用的状态监测。

0.13 补充信息

制定本文件时, 特别是关于 GB/T 18494.2—2022 中 HVDC 变流应用方面的内容, 明显地受到 CI-GRE 联合工作组 12/14.10 各专题论文的影响。

变流变压器 第3部分：应用导则

1 范围

本文件向用户提供了有关工业用变流变压器和 HVDC 输电用换流变压器在设计、结构、试验和运行条件与电力系统用常规变压器不同之处的信息。此外，也向制造方给出了 GB/T 18494.1—2014 和 GB/T 18494.2—2022 的技术背景。

本文件适用于对 GB/T 13499—2002 的补充，但不代替 GB/T 13499—2002，因为 GB/T 13499—2002 中包含的一般原理也同样适用于变流变压器。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1094.1—2013 电力变压器 第1部分：总则(IEC 60076-1:2011,MOD)

注：GB/T 1094.1—2013 被引用的内容与 IEC 60076-1:2011 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 1094.5 电力变压器 第5部分：承受短路的能力(GB/T 1094.5—2008, IEC 60076-5:2006,MOD)

GB/T 1094.14 电力变压器 第14部分：采用高温绝缘材料的液浸式变压器(GB/T 1094.14—2022, IEC 60076-14:2013,MOD)

GB/T 18494.1—2014 变流变压器 第1部分：工业用变流变压器(IEC 61378-1:2011,MOD)

注：GB/T 18494.1—2014 被引用的内容与 IEC 61378-1:2011 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 18494.2—2022 变流变压器 第2部分：高压直流输电用换流变压器(IEC/IEEE 60076-57-19:2017,MOD)

注：GB/T 18494.2—2022 被引用的内容与 IEC/IEEE 60076-57-19:2017 被引用的内容没有技术上的差异。

3 术语和定义

GB/T 18494.1—2014 和 GB/T 18494.2—2022 中界定的术语和定义适用于本文件。

4 符号

下列符号适用于本文件：

F_{SE} —— 结构件中的杂散损耗附加系数；

F_{WE} —— 绕组中的涡流损耗附加系数；

f_h —— h 次谐波的频率(Hz)；

f_x —— 用于确定涡流损耗分布的频率(不小于 150 Hz,只适用于 HVDC 输电用换流变压器)；

f_1 —— 额定频率,即基波频率(50 Hz 或 60 Hz)；

h —— 谐波次数；