



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20840.102—2020

---

## 互感器 第 102 部分：带有电磁式电压 互感器的变电站中的铁磁谐振

**Instrument transformers—Part 102: Ferroresonance oscillations  
in substations with inductive voltage transformers**

(IEC TR 61869-102:2014, MOD)

2020-03-31 发布

2020-10-01 实施

---

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	V
引言 .....	Ⅶ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 铁磁谐振概述 .....	1
3.1 基本原理 .....	1
3.2 稳态和非稳态铁磁谐振的激发 .....	3
4 单相和三相铁磁谐振 .....	4
4.1 单相铁磁谐振 .....	4
4.2 单相铁磁谐振的等效电路 .....	6
4.3 电容式电压互感器铁磁谐振 .....	7
4.4 三相铁磁谐振 .....	7
5 铁磁谐振实例 .....	11
6 电磁式电压互感器(关键部件) .....	11
7 单相铁磁谐振电路 .....	13
7.1 铁磁谐振仿真电路 .....	13
7.2 磁化特性 .....	13
7.3 回路损耗 .....	14
8 铁磁谐振研究分析的必要信息 .....	14
8.1 概述 .....	14
8.2 单相铁磁谐振 .....	15
8.3 三相铁磁谐振 .....	15
9 铁磁谐振的计算机仿真 .....	16
9.1 概述 .....	16
9.2 电路及元件 .....	16
9.3 回路损耗 .....	17
9.4 单相铁磁谐振仿真示例 .....	17
9.5 三相铁磁谐振仿真电路 .....	20
10 实验研究、方法和实际测量 .....	20
10.1 概述 .....	20
10.2 单相铁磁谐振 .....	20
10.3 三相铁磁谐振 .....	22
11 铁磁谐振的防止和抑制 .....	23
11.1 抑制措施流程图 .....	23
11.2 运行变电站 .....	25

11.3 新建工程 ..... 25

11.4 防止铁磁谐振 ..... 25

11.5 阻尼铁磁谐振 ..... 25

附录 A (资料性附录) 本部分与 IEC TR 61869-102:2014 相比的结构变化情况 ..... 32

附录 B (资料性附录) 本部分与 IEC TR 61869-102:2014 的技术性差异及其原因 ..... 34

附录 C (资料性附录) 铁磁谐振实例 ..... 35

附录 D (资料性附录) 非线性电路振荡 ..... 40

参考文献 ..... 44

图 1 一种典型的铁芯磁化特性示例 ..... 2

图 2 简单的铁磁谐振电路原理图 ..... 2

图 3 单相三分之一分频铁磁谐振 ..... 3

图 4 停电出线电压互感器发生单相铁磁谐振示意图 ..... 5

图 5 平行架空线路相间耦合电容导致单相铁磁谐振电路图 ..... 5

图 6 单相铁磁谐振电路原理图 ..... 6

图 7 易于发生三相铁磁谐振的中性点不接地系统示意图 ..... 7

图 8 中性点振荡向量图 ..... 8

图 9 试验系统示意图 ..... 9

图 10 电容与电压坐标下当电阻为  $6.7 \Omega$  时试验得到的基频和分频铁磁谐振区域 ..... 9

图 11 试验中不同电阻对应的二分之一分频铁磁谐振区域 ..... 10

图 12 电容与电压坐标下试验系统中当电阻为  $6.7 \Omega$  时不同模式的二次分频谐振发生区域 ..... 10

图 13 三相铁磁谐振故障录波 ..... 11

图 14 电压互感器电路示意图及简化的铁磁谐振分析图 ..... 12

图 15 单相铁磁谐振仿真电路图 ..... 13

图 16 电压互感器 50 Hz 下的磁滞曲线 ..... 14

图 17 三相铁磁谐振示意图 ..... 16

图 18 五分之一分频 (10 Hz) 衰减铁磁谐振波形 ..... 17

图 19 基频稳态铁磁谐振 ..... 18

图 20 10 Hz 稳态铁磁谐振 ..... 19

图 21 稳态混频铁磁谐振 ..... 19

图 22 电压互感器一次绕组电流测量系统及二次绕组电压测量系统 ..... 21

图 23 220 kV 系统三分之一谐波 (50/3 Hz) 稳态单相谐振波形例子 ..... 21

图 24 示波器测量三相铁磁谐振 ..... 22

图 25 铁磁谐振分析及防止方法流程图 ..... 24

图 26 电压互感器二次绕组加装阻尼设备电路图 ..... 26

图 27 三分之一一次单相铁磁谐振 (50/3 Hz) 阻尼例子 ..... 27

图 28 出线间隔电压互感器开口三角形阻尼抑制铁磁谐振方法 ..... 28

图 29 变压器二次侧中性点加装阻尼装置抑制铁磁谐振阻尼方法 ..... 29

图 30 互感器一次侧中性点加装电压互感器抑制铁磁谐振阻尼方法 ..... 30

图 31 互感器一次侧中性点加装消谐电阻抑制铁磁谐振阻尼方法 ..... 31

图 C.1 某变电站单相铁磁谐振接线示意图 ..... 35

图 C.2 图 C.1 中所示断路器断开后引起的单相铁磁谐振振荡波形 ..... 36

图 C.3	单相 60 kV 电压等级三个变电站单相网络示意图 .....	36
图 C.4	两变电站间架空线同塔架线示意图 .....	37
图 C.5	在 2 号变电站线路 5 上记录到的铁磁谐振波形 .....	37
图 C.6	在开关动作时发生三相铁磁谐振的 170 kV 变电站(左侧)及 12 kV 变电站(右侧)单线图 .....	38
图 C.7	T04 电压互感器上的三相铁磁谐振波形 .....	38
图 D.1	铁磁谐振简化电路图 .....	40
图 D.2	二阶非线性微分方程推导图 .....	42
图 D.3	一个非线性谐振系统 .....	43
表 1	激励的类型和铁磁谐振可能的发展趋势 .....	3
表 2	参数 .....	15
表 A.1	本部分与 IEC TR 61869-102:2014 章条编号对照情况 .....	32
表 A.2	本部分与 IEC TR 61869-102:2014 的图编号对照情况 .....	32
表 B.1	本部分与 IEC TR 61869-102:2014 的技术性差异及其原因 .....	34

## 前 言

GB/T 20840《互感器》分为以下部分：

- 第 1 部分：通用技术要求；
- 第 2 部分：电流互感器的补充技术要求；
- 第 3 部分：电磁式电压互感器的补充技术要求；
- 第 4 部分：组合互感器的补充技术要求；
- 第 5 部分：电容式电压互感器的补充技术要求；
- 第 6 部分：低功率互感器的补充通用技术要求；
- 第 7 部分：电子式电压互感器；
- 第 8 部分：电子式电流互感器；
- 第 9 部分：互感器的数字接口；
- 第 102 部分：带有电磁式电压互感器的变电站中的铁磁谐振；
- 第 103 部分：互感器在电能质量测量中的应用。

本部分为 GB/T 20840 的第 102 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC TR 61869-102:2014《互感器 第 102 部分：带有电磁式电压互感器的变电站中的铁磁谐振》。

本部分与 IEC TR 61869-102:2014 相比在结构上有所调整，附录 A 中列出了本部分与 IEC TR 61869-102:2014 的章、条、图编号的对照一览表。

本部分与 IEC TR 61869-102:2014 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线( | )进行了标示，附录 B 中给出了相应技术性差异及其原因的一览表。

本部分还做了下列编辑性修改：

- 9.3 中所提及的 6.3 序号有误，将其更正为 7.3；
- 将 IEC TR 61869-102:2014 中的两种三相端子标志“L1、L2、L3”及“R、S、T”均改为“A、B、C”；
- 将中性点对地电容电压符号  $U_c$  改为  $U_{c0}$ ；
- 将中性点电压由“e-n”改为“ $3U_0$ ”；
- 将带余数的分数表达改为无余数的分数表达，如“ $16^2/3$  Hz”改为“ $50/3$  Hz”；
- 将 IEC TR 61869-102:2014 图 17 中的线路截面图标由彩色填充改为花纹填充(见附录 C 图 C.4)；
- 对参考文献进行了调整，并增加了 IEC 61869-3 和 IEC 61869-4；
- 将 IEC TR 61869-102:2014 的 A.2 中引用的 IEC 标准改为对应的国标(见 D.2)；
- 将 IEC TR 61869-102:2014 的电压互感器一次、二次端子标志统一改为“A、N”与“a、n”；
- 将 IEC TR 61869-102:2014 的电流互感器一次、二次端子标志由“K、L”与“k、l”改为“P1、P2”与“s1、s2”。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国互感器标准化技术委员会(SAC/TC 222)归口。

本部分起草单位：国网陕西省电力公司电力科学研究院、沈阳变压器研究院股份有限公司、中国电力科学研究院有限公司、云南电网有限责任公司电力科学研究院、特变电工康嘉(沈阳)互感器有限责任公司、大连第一互感器有限责任公司、大连北方互感器集团有限公司、江苏科兴电器有限公司、浙江天际互感器有限公司、江苏靖江互感器股份有限公司、重庆山城电器厂有限公司、江西赣电电气有限公司、大

连华亿电力电器有限公司、国网吉林省电力有限公司电力科学研究院、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院。

本部分主要起草人：王荆、韩彦华、章忠国、王晓琪、吴经锋、杨晓西、刘红文、刘玉凤、沙玉洲、王仁焘、任婷、刘彬、杨峰、唐福新、熊江咏、徐文、张爱民、李涛昌、王继元、刘翔、张本帅、蔡强、赵世祥、晏年平、陈文中。

## 引 言

自 20 世纪上半叶起,很多学者开展了铁磁谐振现象的研究。R.Rüdenberg 主要研究了基频谐振<sup>[1]</sup>,其他学者研究了高频和分频谐振。其后 K.Heuck 和 K.D.Dettmann<sup>[2]</sup>对这一现象进行了详细汇总介绍。Bergmann<sup>[3,4]</sup>进行了各种铁磁谐振的基本试验,其研究结果被广泛引用。Gerday N.、Mastero S.和 Vroman J.在 1974 CIGRE 会议上发表了有关的综述文章<sup>[5]</sup>。

在过去的 20 年中,依据 IEC 61869-3 的电磁式电压互感器和 IEC 61869-4 的组合式互感器在变电站中的铁磁谐振问题在国际大电网工作组和美国的 IEEE 委员会均进行过讨论。讨论结果刊登在大电网技术报告<sup>[5]</sup>和 IEEE 出版物<sup>[6]</sup>上。

这些出版物的发表是因为变电站中频繁发生铁磁谐振,因此需要开发更加高效的系统和设备。

这个发展趋势会导致如下结果:

- a) 设备的额定电压  $U_{pr}$  向设备允许的最高电压  $U_m$  转移(IEC 60071-1<sup>[7]</sup>);
- b) 通过减小电磁式电压互感器的铁芯截面增大磁通密度  $B$ ;
- c) 通过使用新的设备(如中压和高压互感器)减小变电站的电容导致非线性电路的激磁电压提高;
- d) 使用负荷大约为 1VA 的数字式仪表和继电器,变电站的实际负荷减小,而对电磁式电压互感器还一直规定较高的二次负荷(从 50 VA 到 400 VA)。然而,实际上这些高的负荷通常也不足以导致铁磁谐振的发生。

# 互感器 第 102 部分:带有电磁式电压互感器的变电站中的铁磁谐振

## 1 范围

GB/T 20840 的本部分给出了带有电磁式电压互感器变电站中铁磁谐振现象原理、实例、分析及抑制方法的介绍。电磁式电压互感器及其他非线性电感元件会导致铁磁谐振,铁磁谐振会给电磁式电压互感器和其他设备带来极大的危害。

本部分适用于指导电网中铁磁谐振的计算、仿真、实验、测量以及防止和抑制措施。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 20840.3—2013 互感器 第 3 部分:电磁式电压互感器的补充技术要求(IEC 61869-3:2011,MOD)

GB/T 20840.5 互感器 第 5 部分:电容式电压互感器的补充技术要求(GB/T 20840.5—2013,IEC 61869-5:2011,MOD)

## 3 铁磁谐振概述

### 3.1 基本原理

铁磁谐振是一种非线性振荡,在带铁芯的电感元件、电容和交流电压源组成的系统中开关操作、甩负荷及线路故障等情况时可能发生。

铁芯饱和是造成铁磁谐振的主要原因。如果电磁式电压互感器工作磁通密度超过其饱和磁通密度  $\vec{B}_s$ , 磁场强度  $\vec{H}_{\text{eff}}$  和磁通密度  $B$  将呈非线性关系,见图 1,其感抗  $\vec{B}$  急剧减小,这对铁磁谐振的产生起重要作用。

铁磁谐振一般发生在高、中压变电站或其他局部电网中。例如:当电磁式电压互感器的高压绕组与电容串联连接到交流电压源的系统中时,可能发生单相铁磁谐振,见图 2,当变压器的低压侧中性点不接地时,可能发生三相铁磁谐振。

以上是发生铁磁谐振的基本情况。铁磁谐振也可能发生在复杂的电网中。