

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 1869.7—XXXX
代替 TB/T 1869.7—2016

铁路信号用变压器
第7部分：BE系列扼流变压器

Transformers for railway signaling –
Part 7: BE series impedance transformers

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2022-07-27)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家铁路局 发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 分类与命名.....	2
5 技术要求.....	5
6 试验方法.....	13
7 检验规则.....	29
8 标志、包装、运输、贮存.....	31
附录 A（资料性） SE 系列扼流适配器.....	32
附录 B（资料性） SEZ 系列扼流适配器.....	34
附录 C（资料性） TE 系列扼流调谐器.....	36
参考文献.....	39

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TB/T 1869《铁路信号用变压器》的第7部分。TB/T 1869已经发布了以下部分：

- 第1部分：通用技术条件；
- 第2部分：信号变压器；
- 第3部分：50 Hz系列轨道变压器；
- 第4部分：25 Hz系列轨道变压器；
- 第5部分：BZ系列中继变压器；
- 第6部分：BD系列道岔表示变压器；
- 第7部分：BE系列扼流变压器；
- 第8部分：信号设备雷电防护用变压器。

本文件代替TB/T 1869.7—2016《铁路信号用变压器 第7部分：BE系列扼流变压器》，与TB/T 1869.7—2016相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了范围（见第1章，2016年版的第1章）；
- b) 增加了变压器、空扼流、扼流变压器、温升、不平衡度、品质因数的术语和定义（见第3章）；
- c) 删除了BE1—400/25、BE2—400/25、BES1—1200/25、BES2—1200/25型扼流变压器外形及安装尺寸、电气要求（见2016年版的3.2、4.4）；
- d) 增加了BET型25 Hz、ZPW-2000系列扼流变压器型号及含义、外形及安装尺寸、电气要求及试验方法（见4.1、4.2、5.4、6.4）；
- e) 更改了环境要求、一般要求、外观及零部件要求（见5.1、5.2、5.3，2016年版的4.1、4.2、4.3）；
- f) 更改了BES1、BES2的电气特性（见5.4.1.2，2016年版的4.4.2）；
- g) 增加了扼流适配器、扼流调谐器型号及含义、电气要求（见4.1.3、5.4.3、附录A～附录C）。

本文件由西安全路通号器材研究有限公司归口。

本文件起草单位：北京全路通信信号研究设计院集团有限公司、XXX。

本文件主要起草人：安海君、XXX

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1988年首次发布为TB/T 2025—1988；
- 1995年第一次修订发布为TB/T 2672—1995；
- 2002年第二次修订发布为TB/T 3028—2002；
- 2016年第三次修订发布为TB/T 1869.7—2016；
- 本次为第四次修订。

铁路信号用变压器

第7部分：BE系列扼流变压器

1 范围

本文件规定了BE系列扼流变压器的产品型号、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存。

本文件适用于50 Hz电气化牵引区段的双轨条轨道电路的发送端和接收端，或需要连通牵引电流的处所，以通过牵引电流、传输轨道电路信息而设置的扼流变压器的设计、制造和检验。

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 191 包装储运图示标志（GB/T 191—2008，ISO 780：1997，MOD）
- GB/T 1800.2—2020 产品几何技术规范（GPS） 线性尺寸公差ISO代号体系 第2部分：标准公差带代号和孔、轴的极限偏差表（ISO 286-2：2010，MOD）
- GB/T 1804—2000 一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差（eqv ISO 2768-1：1989）
- GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db： 交变湿热（12 h+12 h 循环）（IEC 60068-2-30：2005，IDT）
- GB/T 2423.16—2022 环境试验 第2部分：试验方法 试验J及导则：长霉（IEC 60068-2-10：2018，IDT）
- GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾（IEC 60068-2-11：1981，IDT）
- GB/T 2423.21—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验M：低气压（IEC 60068-2-13：1983，IDT）
- GB/T 2423.55—2006 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Eh：锤击试验（IEC 60068-2-75，1997，IDT）
- GB/T 2900.95—2015 电工术语 变压器、调压器和电抗器（IEC 60050-421：1990，NEQ）
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）（IEC 60529：2013，IDT）
- GB/T 4423—2020 铜及铜合金控制棒
- GB/T 5585—2018 电工用铜、铝及其合金母线 第1部分：铜和铜合金母线
- GB/T 6109.2—2008 漆包圆绕组线 第2部分：155级聚酯漆包铜圆线（IEC 60317-3：2004，IDT）
- GB/T 6109.7—2008 漆包圆绕组线 第7部分：130L级聚酯漆包铜圆线（IEC 60317-34：1997，IDT）
- GB/T 7672.4—2008 玻璃丝包绕组线 第4部分：180级浸漆玻璃丝包铜扁线和玻璃丝包漆包铜扁线（IEC 60317-31：1990，IDT）
- GBT 9439—2010 灰铸铁件（ISO 185：2005，MOD）
- GB/T 11441.1—2012 通信和电子设备用变压器和电感器铁心片 第1部分：机械和电性能（IEC 60740-1：2005，IDT）
- SJ 1263—1977 单相变压器用XED、XCD型C形铁心
- TB/T 454.1—2021 铁路通信信号词汇 第1部分：铁路信号词汇
- TB/T 1424—1982 通信信号产品的温升
- TB/T 1447—2015 铁路信号产品的绝缘电阻

- TB/T 1448—2018 铁路通信信号产品的绝缘耐压
- TB/T 1869.1—2013 铁路信号用变压器 第1部分：通用技术条件
- TB/T 2313—1992 铁路信号用变压器、继电器、硅整流器雷电冲击试验
- TB/T 2846—2015 铁路地面信号产品振动试验方法
- TB/T 2853—2018 轨道电路系统 25 Hz相敏轨道电路
- TB/T 2953—2015 铁路地面信号产品高温及低温试验方法

3 术语和定义

GB/T 2900.95—2015、TB/T 454.1—2021、TB/T 2853—2018界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变压器 transformer

转移电能而不改变其交流电源频率的精致的电能转换器。

[来源：GB/T 2900.95—2015，3.1.1]

3.2

空扼流 empty choke transformer

轨道电路区段内，不连接送、受电端轨道电路室内设备且只用于通过牵引电流的扼流变压器。

[来源：TB/T 2853—2018，3.8]

3.3

扼流变压器 choke transformer

电气化牵引区段，使牵引电流通过钢轨绝缘并将轨道电路发送、接收设备，或需要连通牵引电流的处所，以变压器耦合方式与轨道连接的器件。

[来源：TB/T 454.1—2021，10.81，有修改]

3.4

温升 temperature rise

信号电工产品及组部件在规定的最高空气温度时，施以额定负荷后达到稳定的允许最高工作温度与最高空气温度之差。

3.5

不平衡度 unbalance factor

变压器牵引线圈两半线圈不平衡的程度。牵引线圈两个半圈的50 Hz电流差值与总电流之比。

3.6

品质因数 Q quality factor

表征一个储能器件（如电感线圈、电容等）、谐振电路所储能量同每周损耗能量之比的一种质量指标。对于无辐射系统，如果 $Z = R + jX$ ，则 $Q = \frac{|X|}{R}$ 。

4 分类与命名

4.1 型号及含义

4.1.1 型号中的字母含义见表1。

表1 型号中的字母含义

序号	代号	含义	序号	代号	含义
1	B	变压器	4	T	调谐
2	E	扼流	5	Z	ZPW-2000
3	S	适配	6		

4.1.2 扼流变压器（以下简称变压器）的型号及含义应符合图1的规定。



图1 变压器型号示例

示例：中点允许通过电流为 800 A，信号频率为 25 Hz 的适配扼流变压器表示为 BES1-800/25。

4.1.3 扼流适配器、扼流调谐器型号及含义应符合图2的规定。

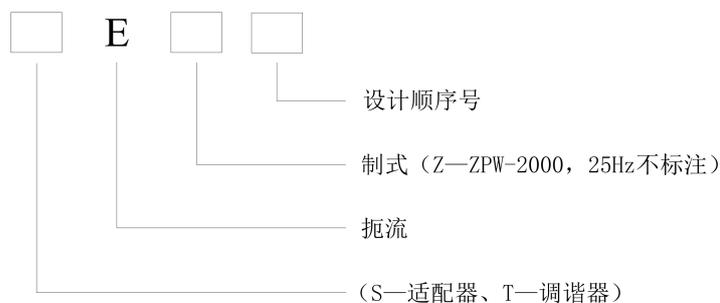
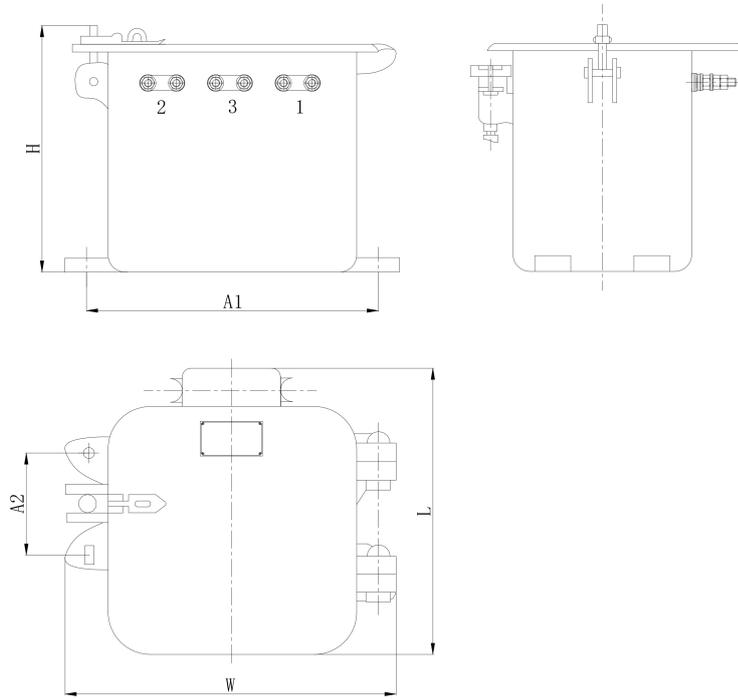


图2 扼流适配器、扼流调谐器型号示例

示例：ZPW-2000 的 1 型扼流适配器表示为 SEZ1。

4.2 外形及安装尺寸

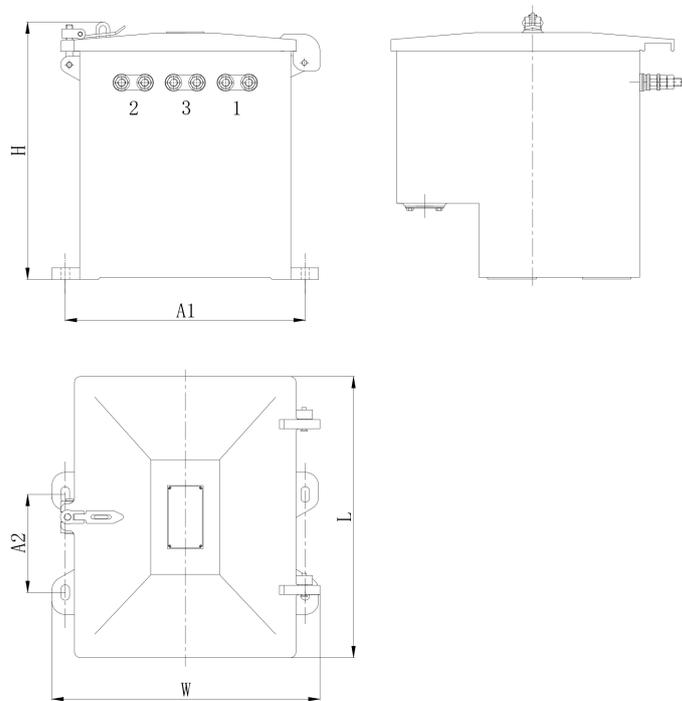
BE系列变压器的外形应符合图3的规定，BES、BET系列变压器的外形应符合图4的规定；变压器的外形及安装尺寸应分别符合表2的规定；外形及安装尺寸公差应符合GB/T 1804—2000中最粗v级的规定，安装孔的公差应符合GB/T 1800.2—2020中规定的极限偏差A13的规定。



L——长；W——宽；H——高；A1、A2——安装尺寸

牵引螺栓间距：600 A~1 200 A两螺栓间距40 mm、组间距90 mm；1 600 A两螺栓间距50 mm、组间距120 mm

图 3 BE 系列变压器的外形图



L——长；W——宽；H——高；A1、A2——安装尺寸

牵引螺栓间距：600 A~1 200 A两螺栓间距40 mm、组间距90 mm；1 600 A两螺栓间距50 mm、组间距120 mm

图 4 BES、BET 系列变压器的外形图

表 2 变压器外形及安装尺寸

型号		外形尺寸 长 (L) × 宽 (W) × 高 (H) mm	安装尺寸 A ₁ × A ₂ mm	冷却方式
25 Hz 系列	BE1-600/25 BE2-600/25	355×410×395	350×164 4-φ14	空气自然循环 (AN)
	BE1-800/25 BE2-800/25			
	BE1-1000/25 BE2-1000/25	490×470×430	415×(160~180) 4-φ14	
	BE1-1600/25 BE2-1600/25	480×500×460	450×(160~180) 4-φ14	
	BES1-600/25 BES2-600/25	440×410×420	350×164 4-φ14	
	BES1-800/25 BES2-800/25			
	BES1-1000/25 BES2-1000/25	490×470×450	415×(160~180) 4-φ14	
	BES1-1600/25 BES2-1600/25	490×725×480	450×(160~180) 4-φ14	
	BET1-600/25	440×410×420	350×(160~180) 4-φ14	
	BET1-800/25			
	BET1-1000/25	470×520×380	415×(160~180) 4-φ14	
BET1-1600/25	490×725×480	450×(160~180) 4-φ14		
ZPW-2000 系列	BE1-800/Z	355×420×415	350×164 4-φ14	
	BES1-800/Z	470×420×415		
	BE1-1000/Z	415×475×430	415×(160~180) 4-φ14	
	BES1-1000/Z	495×475×430		
BE1、BES1、BET1采用400 Hz铁心。 BE2、BES2采用50 Hz铁心。 25 Hz系列，BE1、BE2、BES1、BES2、BET1可作为25Hz轨道电路空扼流使用。 ZPW-2000系列，BE1可作为ZPW-2000轨道电路空扼流使用。				

5 技术要求

5.1 环境要求

变压器在下列环境条件下应可靠工作：

- 周围空气温度：-40℃~+70℃；
- 周围空气相对湿度：不大于90%（+25℃）；
- 气压：不低于70.1 kPa（海拔不超过3 000 m）；
- 周围无腐蚀金属、破坏绝缘和引起爆炸危险的有害气体及导电尘埃。

5.2 一般要求

- 5.2.1 变压器的一般要求应符合 TB/T 1869.1—2013 中 4.2 的规定。
- 5.2.2 同型号变压器的外接端子及接口应统一，主要零部件应能互换。
- 5.2.3 变压器箱体结构应经受运输、贮存、安装和使用过程中的机械应力，箱体内无污垢，盖体与箱体应开启灵活。
- 5.2.4 变压器箱盖与箱体间应采用密封垫，密封垫的寿命不应小于 8 年。

5.3 外观及零部件要求

- 5.3.1 变压器的外观及零部件要求应符合 TB/T 1869.1—2013 中 4.3 的规定。
- 5.3.2 变压器组装时，应保证配对铁心同侧编号一致，铁心端面应干净，铁心应对齐，线圈铁心及配件应装配牢固。
- 5.3.3 变压器铁心应符合 SJ 1263—1977 中 I 级品的规定，硅钢片(带)尺寸宜符合 GB/T 11441.1—2012 的要求，并符合下列规定：
 - a) 工作温度为 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
 - b) 铁心切割端面的间隙不应大于 0.075 mm；
 - c) 50 Hz 铁心磁感应强度应大于 1.8 T，400 Hz 铁心磁感应强度应大于 1.0 T；
 - d) 铁心的不垂直度 δ 不应大于 0.53 mm。
- 5.3.4 变压器箱体结构采用 HT200 灰铸铁件制成，应符合 GB/T 9439—2010 的规定。
- 5.3.5 金属零件表面应有防护层，电镀件外观应光滑细致、没有斑点、没有突起和未镀上的地方，边缘和棱角不应有烧痕。
- 5.3.6 喷涂件外观应平整、光滑，色泽均匀一致，无显著的修整痕迹及其他缺陷，无影响防护性能的瑕疵。
- 5.3.7 热塑性塑料零件不应有变形、裂纹等缺陷。
- 5.3.8 热固性塑料零件的外观应平整、有光泽、无气泡、无裂痕，不应有变形、缺料、毛刺等缺陷。
- 5.3.9 焊点应光洁牢固，不应漏焊、假焊，引接线应采用耐高温不低于 $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的阻燃线，且不应有断股和碰伤，并应加绝缘套管。
- 5.3.10 变压器牵引线圈采用铜含量不小于 99.9% 的无氧铜绕制，应符合 GB/T 5585—2018 或 GB/T 7672.4—2008 的规定。
- 5.3.11 变压器信号线圈漆包线应符合 GB/T 6109.2—2008、GB/T 6109.7—2008 的规定。
- 5.3.12 引出螺栓采用 H62 黄铜加工，应符合 GB/T 4423—2020 的规定。并应符合：
 - a) 变压器牵引侧接线单根螺栓规格分别为：
 - 1) M10 (600 A)；
 - 2) M12 (800 A)；
 - 3) M14 (1 000 A)；
 - 4) M20 (1 600 A)。
 - b) 变压器信号侧、适配器、调谐器接线单根螺栓规格为 M5。
- 5.3.13 变压器、适配器、调谐器的外壳应标注其接线端子用途、连接方式等内容。

5.4 电气要求

5.4.1 25 Hz 系列变压器

5.4.1.1 BE 型 25 Hz 系列型变压器

BE 型 25 Hz 系列变压器的线圈接线应符合图 5 的规定，其电气特性应符合表 3 的规定。

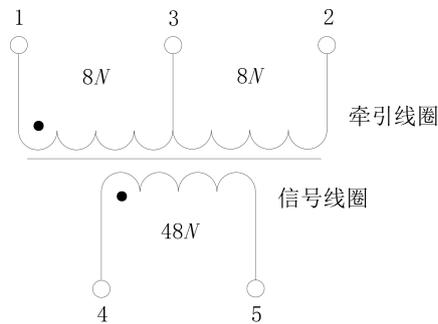


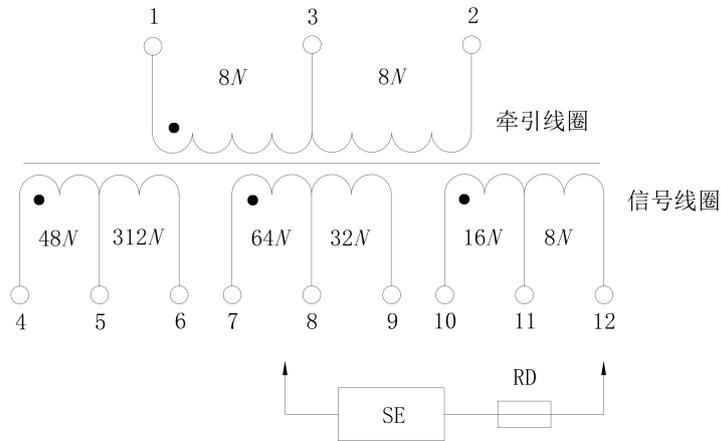
图 5 BE 型 25 Hz 系列变压器线圈接线

表 3 BE 型 25 Hz 系列变压器电气特性

变压器类型		BE1-600/25 BE2-600/25	BE1-800/25 BE2-800/25	BE1-1000/25 BE2-1000/25	BE1-1600/25 BE2-1600/25
同名端		1、4			
匝比（牵引线圈1-2、信号线圈4-5）（误差±5%） N		1: 3			
+ 20 °C时，信号线圈4-5直流电阻不应大于 Ω		0.1		0.08	
牵引线圈50 Hz阻抗值不应小于 Ω		0.55 (30 A)	0.55 (40 A)	0.55 (50 A)	0.55 (80 A)
牵引线圈未经磁化的移频阻抗	牵引线圈加ZPW-2000标准载频（1 700 Hz~2 600 Hz），0.6 V~8 V电压，阻抗值不应小于 Ω	17			
牵引线圈未经磁化阻抗	牵引线圈加 25 Hz、0.4 V 电压	阻抗值不应小于 Ω	0.8	0.9	
		阻抗角不应小于 $^{\circ}$	75		
	牵引线圈加25 Hz，2.5 V电压，阻抗值不应大于 Ω	1.2		1.3	
牵引线圈经 50 Hz 电源磁化阻抗	经50 Hz、15 V电压磁化的牵引线圈加25 Hz、2.5 V电压，阻抗值不应小于 Ω	1.0			
牵引线圈经直流磁化阻抗	经10 A直流磁化的牵引线圈加25 Hz、0.4 V电压，阻抗值不应小于 Ω	0.6		0.675	
不平衡度	应小于	0.5%			
牵引线圈未经磁化的移频阻抗只对BE1型变压器进行测试。					

5.4.1.2 BES 型 25 Hz 系列变压器

BES型25 Hz系列变压器线圈接线应符合图6的规定，其电气特性应符合表4的规定。



SE——扼流适配器；RD——熔断器或断路器。

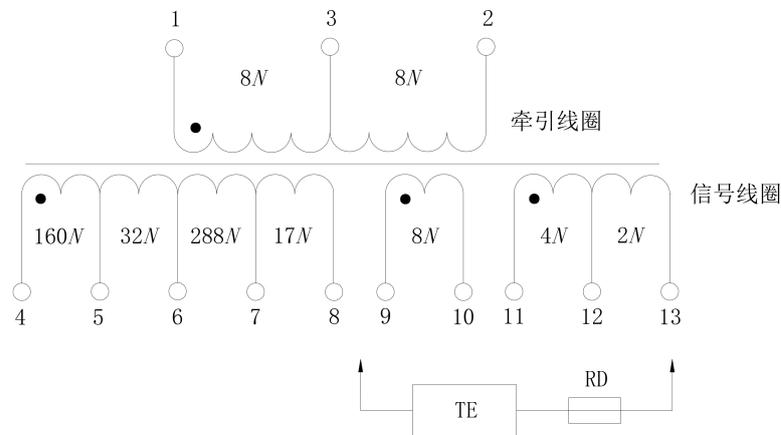
图 6 BES 型 25 Hz 系列变压器线圈接线

表 4 BES 型 25 Hz 系列变压器电气特性

变压器类型	BES1-600/25 BES2-600/25	BES1-800/25 BES2-800/25	BES1-1000/25 BES2-1000/25	BES1-1600/25 BES2-1600/25	备注	
同名端	1、4、7、10				—	
匝比 [牵引线圈1-2，信号线圈4-5、5-6、7-8、8-9、10-11、11-12、4-12（连接6-7、9-10）]（误差±5%） N	1: 3、19.5、4、2、1、0.5、30				—	
+ 20 °C时，信号线圈4-5直流电阻不应大于 Ω	0.1		0.08		—	
牵引线圈50 Hz阻抗值不应大于 Ω	0.025				加SE	
牵引线圈未经磁化的移频阻抗	牵引线圈加ZPW-2000标准载频(1 700 Hz~2 600 Hz)，0.6 V~8 V电压，阻抗值不应小于 Ω				17 加SE	
牵引线圈未经磁化阻抗	牵引线圈加25 Hz、0.5 V~1.5 V电压	阻抗值不应小于 Ω	0.218		0.141	不加SE
		阻抗角不应小于 $^\circ$	75			
不平衡度	应小于				0.5% 不加SE	
牵引线圈未经磁化的移频阻抗只对BES1型变压器进行测试。						

5.4.1.3 BET 型 25 Hz 系列变压器

BET型25 Hz系列变压器线圈接线应符合图7的规定，其电气特性应符合表5的规定。



TE——扼流调谐器；RD——熔断器或断路器。

图7 BET型25 Hz系列变压器线圈接线

表5 BET型25 Hz系列变压器电气特性

变压器类型		BET1-600/25	BET1-800/25	BET1-1000/25	BET1-1600/25	备注
同名端		1、4、9、11				—
匝比 [牵引线圈1-2, 信号线圈4-5、5-6、6-7、7-8、9-10、11-12、12-13、4-13 (连接8-9、10-11)] (误差 $\pm 5\%$) N		1: 10、2、18、1.0625、0.5、0.25、0.125、31.9375				—
+20℃时, 信号线圈4-5直流电阻不应大于 Ω		0.6		0.48		—
牵引线圈50 Hz阻抗值不应小于 Ω		1 (30 A)	1 (40 A)	1 (50 A)	1 (80 A)	不加TE
牵引线圈未经磁化的移频阻抗	牵引线圈加ZPW-2000标准载频 (1 700 Hz ~ 2 600 Hz), 0.6 V ~ 8 V电压, 阻抗值不应小于 Ω	17				加TE
牵引线圈未经磁化阻抗	牵引线圈加25 Hz、0.5 V ~ 1.5 V电压	阻抗值 (误差 $\pm 5\%$) Ω	0.5			不加TE
		阻抗角不应小于 $^\circ$	75			加TE
		阻抗值不应小于 Ω	5			加TE
不平衡度	应小于	0.5%			—	

5.4.2 ZPW-2000系列变压器

5.4.2.1 BE型ZPW-2000系列型变压器

BE型ZPW-2000变压器线圈接线应符合图8的规定, 其电气特性应符合表6的规定。

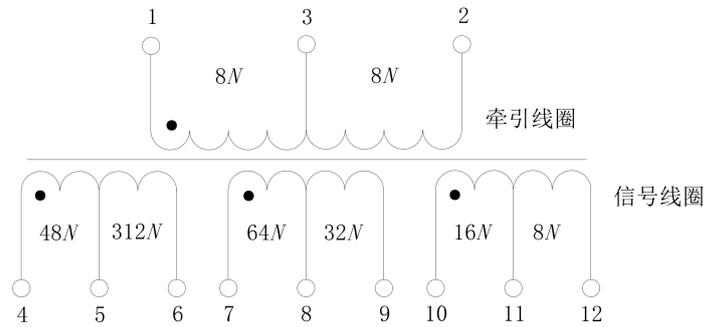


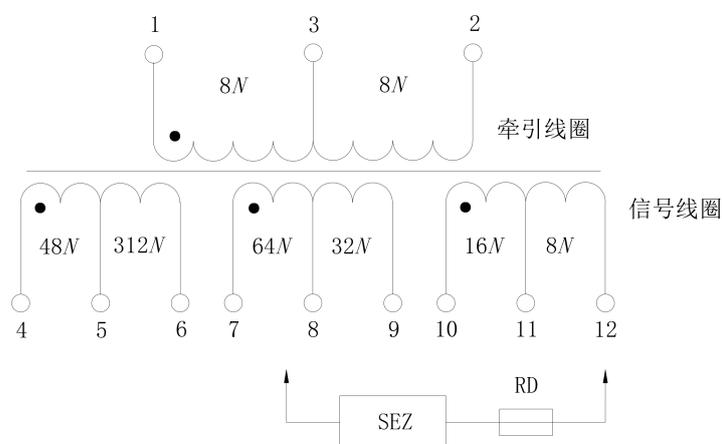
图 8 BE 型 ZPW-2000 系列变压器接线

表 6 BE 型 ZPW-2000 系列变压器电气特性

变压器类型		BE1-800/Z	BE1-1000/Z	备注	
同名端		1、4、7、10		—	
匝比 [牵引线圈1-2、信号线圈4-5、4-13 (连接6-7、9-10)] (误差±5%) N		1: 3、30		—	
+ 20 °C时, 信号线圈4-5直流电阻不应大于		Ω	0.1	0.08	—
牵引线圈未经磁化的移频阻抗	牵引线圈加ZPW-2000标准载频 (1 700 Hz~2 600 Hz), 0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	17		—
牵引线圈经磁化的移频阻抗	牵引线圈通50 Hz、60 A电流, 再加载ZPW-2000标准载频 (1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	—	20.5	—
	牵引线圈通50 Hz、50 A电流, 再加载ZPW-2000标准载频 (1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	20.5	—	—
	半牵引线圈通过50 Hz、500 A电流, 再加载ZPW-2000标准载频 (1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 其阻抗不应小于	Ω	—	4	—
	半牵引线圈通过50 Hz、400 A电流, 再加载ZPW-2000标准载频 (1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	4	—	—
不平衡度	应小于		0.5%		—

5.4.2.2 BES 型 ZPW-2000 系列变压器

BES型ZPW-2000变压器线圈接线应符合图9的规定, 其电气特性应符合表7的规定。



SEZ——ZPW-2000扼流适配器；RD——熔断器或断路器。

图9 BES型ZPW-2000系列变压器接线

表7 BES型ZPW-2000系列变压器电气特性

变压器类型		BES1-800/Z	BES1-1000/Z	备注	
同名端		1、4、7、10		—	
匝比 [牵引线圈1-2、信号线圈4-5、4-13 (连接6-7、9-10)] (误差±5%) N		1: 3、30		—	
+20℃时, 信号线圈4-5直流电阻不应大于		Ω	0.1	0.08	—
牵引线圈50 Hz电压	牵引线圈在通过50 Hz、50 A电流, 电压值不应大于	V	1.5	—	加SEZ
	牵引线圈在通过50 Hz、60 A电流, 电压值不应大于	V	—	1.5	加SEZ
牵引线圈未经磁化的移频阻抗	牵引线圈加ZPW-2000标准载频(1 700 Hz~2 600 Hz), 0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	17		加SEZ
牵引线圈经50 Hz电源磁化的移频阻抗	经50 Hz、50 A电流磁化的牵引线圈加ZPW-2000标准载频(1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	17	—	加SEZ
	经50 Hz、60 A电流磁化的牵引线圈加ZPW-2000标准载频(1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	—	17	加SEZ
	经50 Hz、400 A电流磁化的半牵引线圈加ZPW-2000标准载频(1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	4	—	不加SEZ
	经50 Hz、500 A电流磁化的半牵引线圈加ZPW-2000标准载频(1 700 Hz~2 600 Hz)、0.6 V~8 V电压, 阻抗值不应小于	Ω	—	4	不加SEZ
不平衡度	应小于	0.5%		—	

5.4.3 适配器、调谐器

SE系列扼流适配器、SEZ系列扼流适配器、TE系列扼流调谐器的电气要求分别见附录A~附录C。

5.5 绝缘电阻

在试验用标准大气条件下，变压器的牵引线圈与信号线圈之间，牵引线圈、信号线圈与其它金属部分（铁心、外壳）之间的绝缘电阻不应小于1 000 M Ω 。

5.6 绝缘耐压

在大气压力不低于 89.9 kPa 条件下（相当于海拔 1 000 m 以下），变压器牵引线圈与信号线圈间，牵引线圈、信号线圈与其它金属部分（铁心、外壳）间，应能承受交流 50 Hz 正弦波，电压有效值 2 000 V，试验时泄漏电流不应大于 10 mA，历时 1 min，应无闪络击穿现象。

5.7 温升

在环境温度为+70 $^{\circ}\text{C}$ ，加于变压器牵引线圈中点的电流为额定值时，线圈温升不应超过90 K。

5.8 低温

变压器在 - 40 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下，应符合以下的规定：

- a) 外观不应变形和开裂；
- b) 电性能应符合 5.4 的规定。

5.9 高温

变压器在+70 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下，应符合以下的规定：

- a) 外观不应变形和开裂；
- b) 电性能应符合 5.4 的规定。

5.10 交变湿热

变压器经循环次数为12的交变湿热试验后，应符合以下规定：

- a) 潮湿绝缘电阻不应小于 1.5 M Ω ；
- b) 试验后，恢复至常温，变压器的绝缘耐压应符合 4.7 的规定；
- c) 试验后，外观应符合以下规定：
 - 1) 电镀件：镀层腐蚀区域的面积之和占该零件主要表面面积 5%~15%的零件数不应超过该台产品零件总数的 1/10；单个零件腐蚀面积不应超过 15%，但允许个别零件的主金属出现个别锈点；
 - 2) 零件的涂层：允许有轻微变色、不允许出现涂层脱落和直径大于 3 mm 锈蚀点；
 - 3) 热固性塑料零件：不允许出现变形和开裂。

5.11 振动

变压器经频率10 Hz~200 Hz、加速度幅值20 m/s²的振动试验后，不应有结构松动和机械损伤，变压器的电性能应符合5.4的规定。

5.12 锤击

变压器经50J能量的锤击试验后，应无裂纹、龟裂和破碎现象，变压器的电性能应符合5.4的规定。

5.13 低气压

在大气压力不低于70.1 kPa时（相当于海拔3 000 m以下），变压器应能承受交流正弦波50 Hz 2000 V有效值电压，历时1 min的耐压试验应无击穿或闪络现象。

5.14 长霉

变压器的线圈和绝缘件经28 d长霉试验后，应符合以下规定：

- a) 长霉等级不应低于 GB/T 2423.16—2022 中 2a 级的规定：即肉眼看到稀疏长霉或者显微镜下看到分散、局部长霉，长霉面积不超过测试面积的 5%；
- b) 外观不应有变形和开裂。

5.15 盐雾

变压器金属件试样经 96 h 的盐雾试验后，镀锌件的表面应无白色或灰黑色腐蚀物；镀镍或高锡青铜件的表面不应有灰色或浅绿色腐蚀物，其他金属件不应有腐蚀物。

5.16 防护

变压器箱盖与箱体应配合紧密，并应符合 GB/T 4208—2017 中 IP55 级的规定。

6 试验方法

6.1 试验条件

在产品和技术要求没有明确规定试验条件时，则试验应在下列条件下进行：

- a) 温度： $+15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：25%~75%；
- c) 气压：86 kPa~106 kPa；
- d) 输入信号频率： $50\text{ Hz}\pm 1\text{ Hz}$ 、 $25\text{ Hz}\pm 0.5\text{ Hz}$ 、ZPW-2000 标准载频；
- e) 25 Hz 输入电源的失真度： $\leq 5\%$ 。

6.2 试验用仪表要求

试验用仪表为真有效值表，未提出要求的试验用仪表的准确度等级不应低于 0.5 级。

6.3 外形及安装尺寸、一般要求、外观及零部件检查

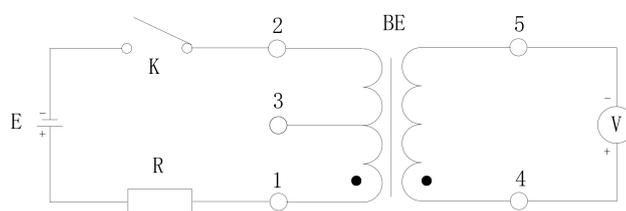
采用目视及相应量具进行检验。

6.4 电气试验

6.4.1 同名端

6.4.1.1 试验电路

试验电路（以 BE1-600/25 为例）应符合图 10 的规定。



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| E——直流电源，9 V； | K——闸刀开关，单刀单掷，250 V、2 A； |
| R——电阻器，180 Ω /2 W； | V——指针式直流电压表； |
| BE——被测变压器。 | |

图 10 变压器同名端试验电路

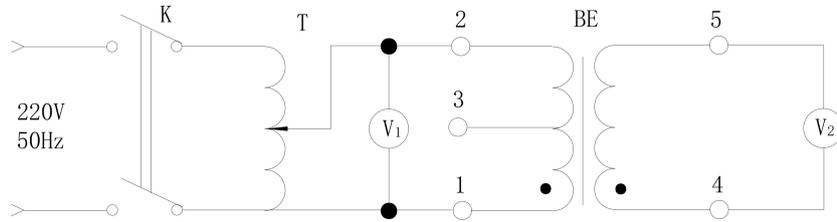
6.4.1.2 试验步骤

在图 10 电路中，当合上开关 K，直流电压表 V 的指针瞬时摆向刻度方向，断开开关 K 摆向反向时，直流电压表“+”端相连的线圈端子 4 与电源“+”端相连的线圈端子 1 为同名端；同理，其余线圈同名端试验按此方法进行。

6.4.2 匝比

6.4.2.1 试验电路

试验电路（以BE1-600/25为例）应符合图11的规定。



220 V、50Hz——信号源，要求能输出所需电流；
 T——调压器，250 V、3 kVA；
 BE——被测变压器。
 K——闸刀开关，双刀单掷，250 V、15 A；
 V₁、V₂——数字真有效值表；

图 11 变压器匝比试验电路

6.4.2.2 试验步骤与计算方法

在图11电路中，闭合开关K，调节调压器T，使交流电压表V₁为1 V时测试信号线圈电压V₂，按公式（1）进行计算。其他线圈的匝比测试方法相同。

$$N_{12} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots (1)$$

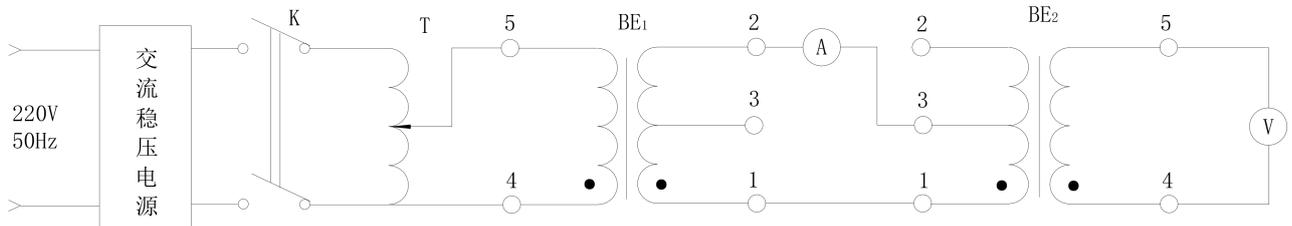
式中：

- N₁₂——（牵引线圈 1-2）/（信号线圈 4-5）间匝数比；
- V₁——牵引线圈电压；
- V₂——信号线圈电压。

6.4.3 不平衡度

6.4.3.1 试验电路

试验电路（以BE1-600/25为例）应符合图12（基准电路）、图13的规定。



220 V、50 Hz——信号源，要求能输出所需电流；
 K——闸刀开关，双刀单掷，250 V、15 A；
 A——交流电流表，0 A~25 A；
 BE₁——合格变压器；
 交流稳压电源——容量5 kVA；
 T——调压器，250 V、15 kVA；
 V——数字真有效值表；
 BE₂——被测变压器。

图 12 变压器不平衡度试验电路（基准电路）

6.4.3.2 试验步骤与计算方法

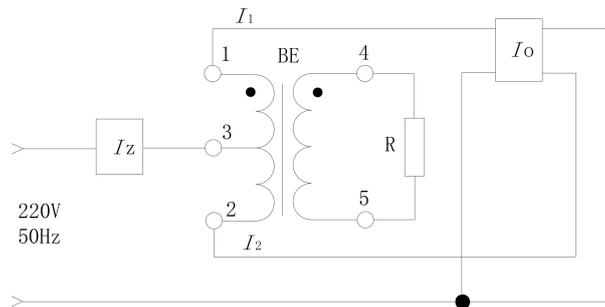
试验步骤与计算方法如下：

- a) 在图 12 电路中, 闭合开关 K, 调节调压器 T 使交流电流表 A 的值为 30 A, 记下交流电压表 V 的值 V_1 ; 断开 BE₁ 的 1 和 BE₂ 的 1, 接通 BE₁ 的 1 和 BE₂ 的 2, 闭合开关 K, 调节调压器 T 使交流电流表 A 的值为 30 A, 记下交流电压表 V 的值 V_2 , 按公式 (2) 进行计算。

$$K_{不平衡度} = \frac{|V_1 - V_2|}{(V_1 + V_2)/2} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $K_{不平衡度}$ ——不平衡度;
- V_1 ——牵引线圈 1-3 电压;
- V_2 ——牵引线圈 2-3 电压。



220 V、50 Hz——信号源, 要求能输出所需电流; R——电阻器, 2.5 Ω/10 W;
 I_o 、 I_z ——电流传感器, AC、0 A~2 000 A; I_1 、 I_2 ——分别为流出 BE 两牵引线圈的电流值;
 BE——被测变压器。

图 13 变压器不平衡度试验电路

- b) 在图 13 电路中, 调整信号源, 在信号线圈开路或加 2.5 Ω 电阻条件下, 使 I_z 自 100 A 开始, 每隔 100 A 记录一次 I_z 、 I_o 的值, 逐步上升至 I_z 到额定电流值, 记下此时 I_z 、 I_o 值。图 13 中 I_1 、 I_2 分别为流出 BE 两牵引线圈的电流, 电流传感器测出的 I_z 、 I_o 分别为 $|I_1 + I_2|$ 和 $|I_1 - I_2|$ 的值, 按公式 (3) 进行计算。

$$K_{不平衡度} = \frac{|I_1 - I_2|}{|I_1 + I_2|} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

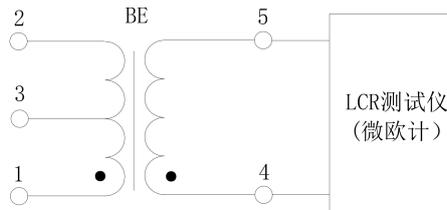
式中:

- $K_{不平衡度}$ ——不平衡度;
- I_1 ——牵引线圈 1-3 电流;
- I_2 ——牵引线圈 2-3 电流。

6.4.4 信号线圈直流电阻

6.4.4.1 试验电路

试验电路 (以 BE1-600/25 为例) 应符合图 14 的规定。



BE——被测变压器。

图 14 信号线圈直流电阻试验电路

6.4.4.2 试验步骤与计算方法

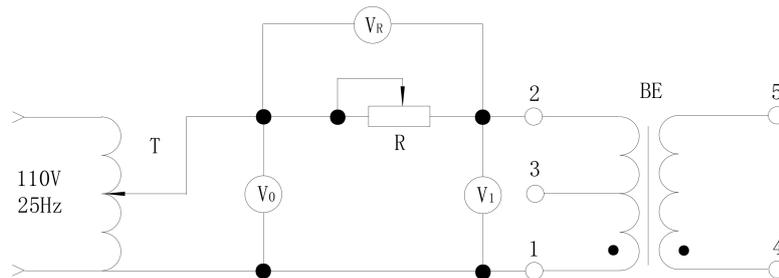
在图14电路中，采用LCR测试仪测试，LCR测试仪输出直流电压为1 V时，接至信号线圈，由LCR测试仪读出信号线圈的直流电阻；采用微欧计测试时，由微欧计读出信号线圈的直流电阻。

6.4.5 25 Hz 系列变压器

6.4.5.1 牵引线圈未经磁化阻抗（以 BE1-600/25 为例）

6.4.5.1.1 试验电路

试验电路应符合图15的规定。



110 V、25 Hz——25 Hz电源，经滤波器后其失真度不大于5%； T——25 Hz调压器，250 V、3 kVA；
 R——变阻器，2.2 Ω/220 W无感电阻； BE——被测变压器；
 V₀、V_R、V₁——数字真有效值表，使用同一块表的同一档测得的电压值。

图 15 牵引线圈未经磁化阻抗试验电路

6.4.5.1.2 试验步骤与计算方法

试验步骤与计算方法如下：

- a) 在图 15 电路中，分别调节调压器 T 和变阻器 R，使得 $V_1=0.4\text{ V}$ 、 $V_R\approx 0.4\text{ V}$ 时，测 V_0 ， V_R ，按公式（4）及公式（5）进行计算；

$$Z_1 = \frac{V_1}{V_R} \times R \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- Z_1 ——牵引线圈未经磁化阻抗；
- V_1 ——牵引线圈1-2电压；
- V_R ——变阻器电压；
- R ——无感电阻，2.2 Ω/220 W。

$$\theta = \arccos\left(\frac{V_0^2 - V_1^2 - V_R^2}{2 \times V_1 \times V_R}\right) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

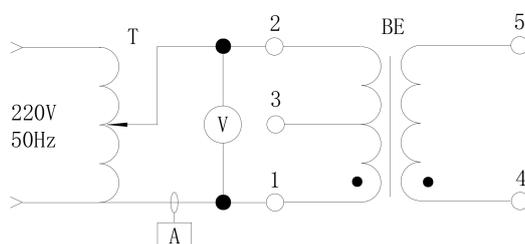
- θ ——牵引线圈未经磁化阻抗角；
- V_0 ——总电压；
- V_1 ——牵引线圈1-2电压；
- V_R ——变阻器电压。

- b) 重复 a)，不少于 3 次测试，求 Z_1 、 θ 的平均值。
 c) 分别调节调压器 T 和变阻器 R，使 $V_1=2.5\text{ V}$ 、 $V_R\approx 2.5\text{ V}$ 时，重复 a)、b)。

6.4.5.2 牵引线圈 50 Hz 阻抗（以 BE1-600/25 为例）

6.4.5.2.1 试验电路

试验电路应符合图16的规定。



220 V、50 Hz——信号源，要求能输出所需电流； T——调压器，250 V、15 kVA；
V——数字真有效值表； A——钳形表或互感器，0 A~1 00 A；
BE——被测变压器。

图 16 牵引线圈 50 Hz 阻抗试验电路

6.4.5.2.2 试验步骤与计算方法

在图16电路中，调节调压器T，使电流表A的示值 I 为30 A，同时读取电压表V的值，按公式（6）进行计算。

$$Z_2 = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Z_2 ——牵引线圈50 Hz阻抗；

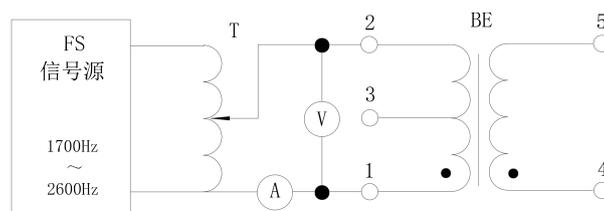
V ——牵引线圈1-2电压；

I ——牵引线圈1-2电流。

6.4.5.3 牵引线圈未经磁化移频阻抗

6.4.5.3.1 试验电路

试验电路应符合图17的规定。



FS——信号源，1 700 Hz~2 600 Hz移频； T——调压器，250 V、3 kVA；
V、A——数字真有效值表； BE——被测变压器。

图 17 牵引线圈未经磁化移频阻抗试验电路

6.4.5.3.2 试验步骤与计算方法

在图17电路中，调节调压器T，使电压表V读数为0.6 V~8 V，同时分别对应读取电流表A的示值 I ，按公式（7）进行计算。

$$Z_3 = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Z_3 ——牵引线圈移频阻抗；

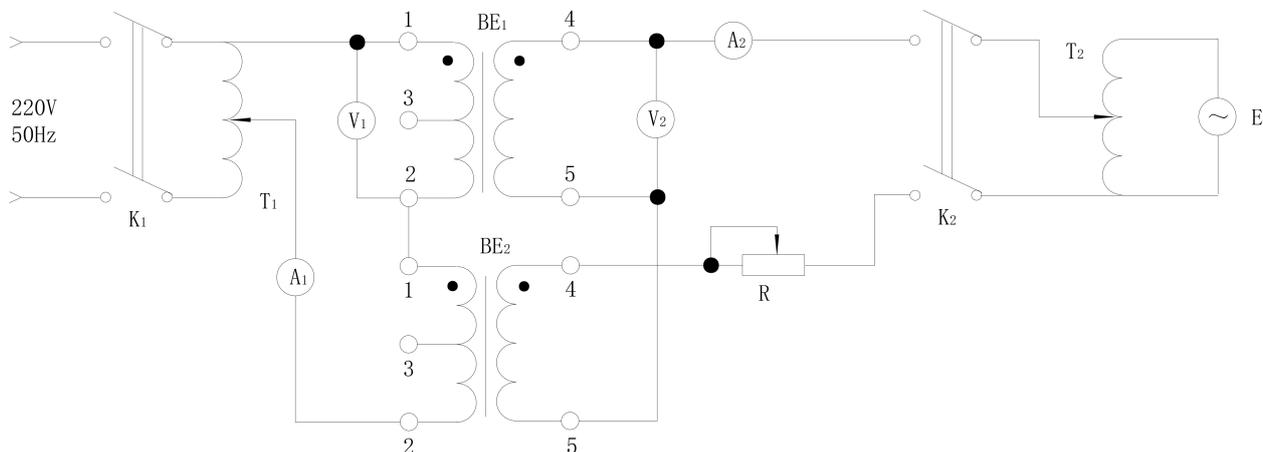
V ——牵引线圈1-2移频电压；

I ——牵引线圈1-2移频电流。

6.4.5.4 牵引线圈经 50 Hz 电源磁化阻抗 (以 BE1-600/25 为例)

6.4.5.4.1 试验电路

试验电路应符合图18的规定。



- 220 V、50 Hz——信号源，要求能输出所需电流；
- K₁、K₂——闸刀开关，双刀单掷，250 V、15 A；
- T₁——调压器，250 V、3 kVA；
- V₁、V₂——数字真有效值表；
- BE₁——合格变压器；
- E——25 Hz电源，经滤波器失真度应小于5%；
- R——变阻器，2.2 Ω/220 W无感电阻；
- T₂——25 Hz调压器，250 V、3 kVA；
- A₁、A₂——交流电流表，0 A~5 A；
- BE₂——被测变压器。

图 18 牵引线圈经 50Hz 电源磁化阻抗试验电路

6.4.5.4.2 试验步骤与计算方法

在图18电路中，闭合开关K₁，调节调压器T₁，使交流电压表V₁的示值为15 V的规定值；断开开关K₁，闭合开关K₂，调节调压器T₂，使交流电压表V₂的示值为7.5 V；再合上K₁，记下V₁、V₂和A₁、A₂的值，A₁、A₂的值如有摆动取其较大值，按公式（8）进行计算。

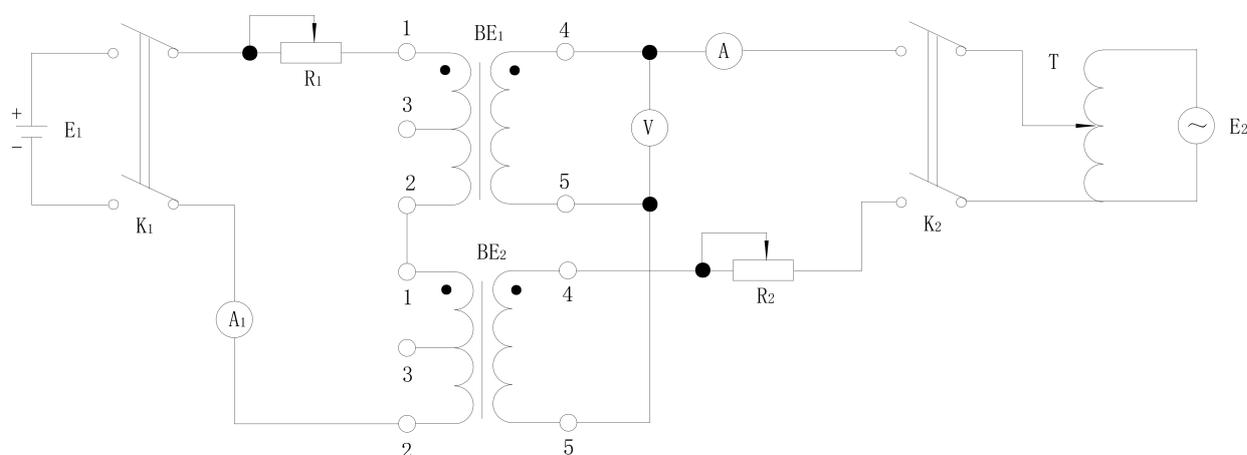
$$Z_4 = \frac{V_2 \times N^2}{A_2} \dots \dots \dots (1)$$

- 式中：
- Z₄ ——牵引线圈经50 Hz电源磁化阻抗；
 - V₂ ——信号线圈4-5电压；
 - N ——变压器匝比，N=1：3；
 - A₂ ——信号线圈4-5电流。

6.4.5.5 牵引线圈经直流电源磁化阻抗 (以 BE1-600/25 为例)

6.4.5.5.1 试验电路

试验电路应符合图19的规定。



E₁——直流电源，12 V、20 A；

T——调压器，250 V、3 kVA；

R₁——变阻器，1.1 Ω/110 W无感电阻；

V——数字真有效值表；

A₁——交流电流表，0 A~5 A；

A₂——交流电流表，0 A~5 A；

BE₂——被测变压器。

E₂——25 Hz电源，经滤波器失真度应小于5%；

K₁、K₂——闸刀开关，双刀单掷，250 V、15 A；

R₂——变阻器，2.2 Ω/220 W无感电阻；

A₁——交流电流表，0 A~5 A；

BE₁——合格变压器；

图 19 牵引线圈经直流电源磁化阻抗试验电路

6.4.5.5.2 试验步骤与计算方法

在图19电路中，闭合开关K₁，调节E₁，使直流电流A₁的数值为10 A；断开开关K₁，闭合开关K₂，调节调压器T，使交流电压表V₂的数值为1.2 V；再闭合开关K₁，记下V₂和A₁、A₂的值，A₁、A₂的值如有摆动取其较大值，按公式（9）进行计算。

$$Z_5 = \frac{V_2 \times N^2}{A_2} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

Z₅ ——牵引线圈经直流电源磁化阻抗；

V₂ ——信号线圈4-5电压；

N ——变压器匝比，N=1: 3；

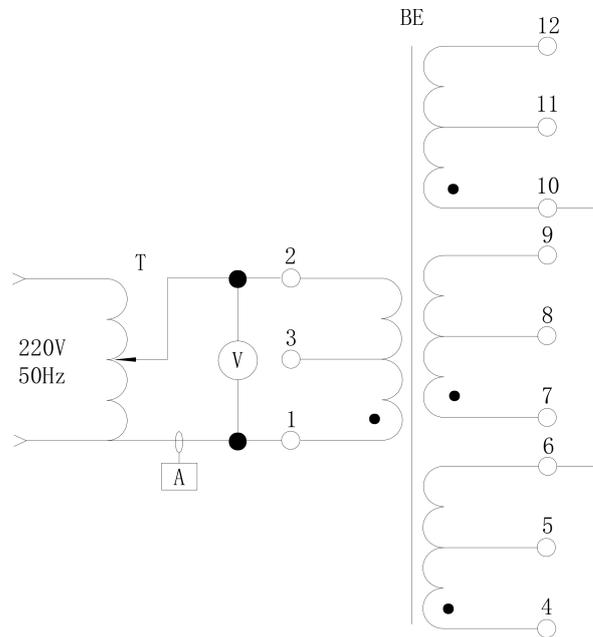
A₂ ——信号线圈4-5电流。

6.4.6 BE型ZPW-2000系列变压器

6.4.6.1 牵引线圈50 Hz电压

6.4.6.1.1 试验电路

试验电路应符合图20的规定。



220 V、50Hz——信号源，输出所需电流； T——调压器，250 V、15 kVA；
 V——数字真有效值表； A——钳形表或互感器，0 A~1 00 A；
 BE——被测变压器。

图 20 牵引线圈 50 Hz 电压试验电路

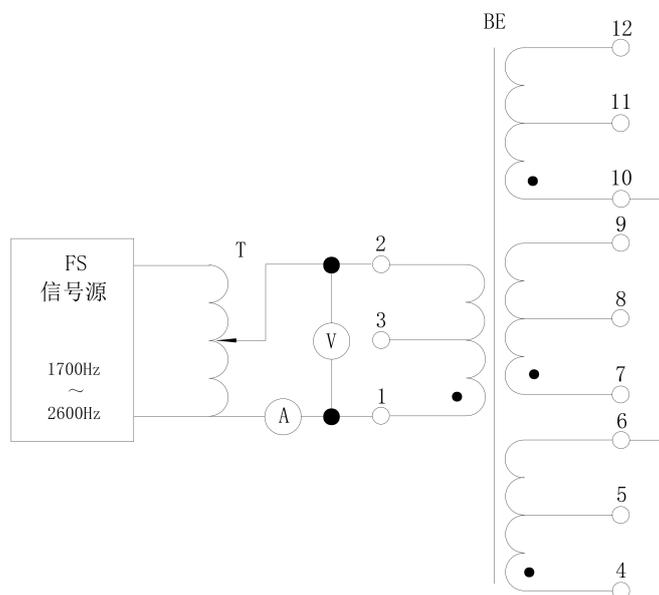
6.4.6.1.2 试验步骤与计算方法

在图20电路中，调节调压器T，使电流表A值为规定值，读取电压表V的值。

6.4.6.2 牵引线圈未经磁化的移频阻抗

6.4.6.2.1 试验电路

试验电路应符合图21的规定。



FS——信号源，1 700 Hz~2 600 Hz移频； T——调压器，250 V、3 kVA；
V、A——数字真有效值表； BE——被测变压器。

图 21 牵引线圈未经磁化的移频阻抗试验电路

6.4.6.2.2 试验步骤与计算方法

在图21电路中，调节调压器T，使电压表V读数为0.6 V~8 V，同时分别对应读取电流表A的示值*I*，按公式（10）进行计算。

$$Z_6 = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Z_6 ——牵引线圈未经磁化的移频阻抗；

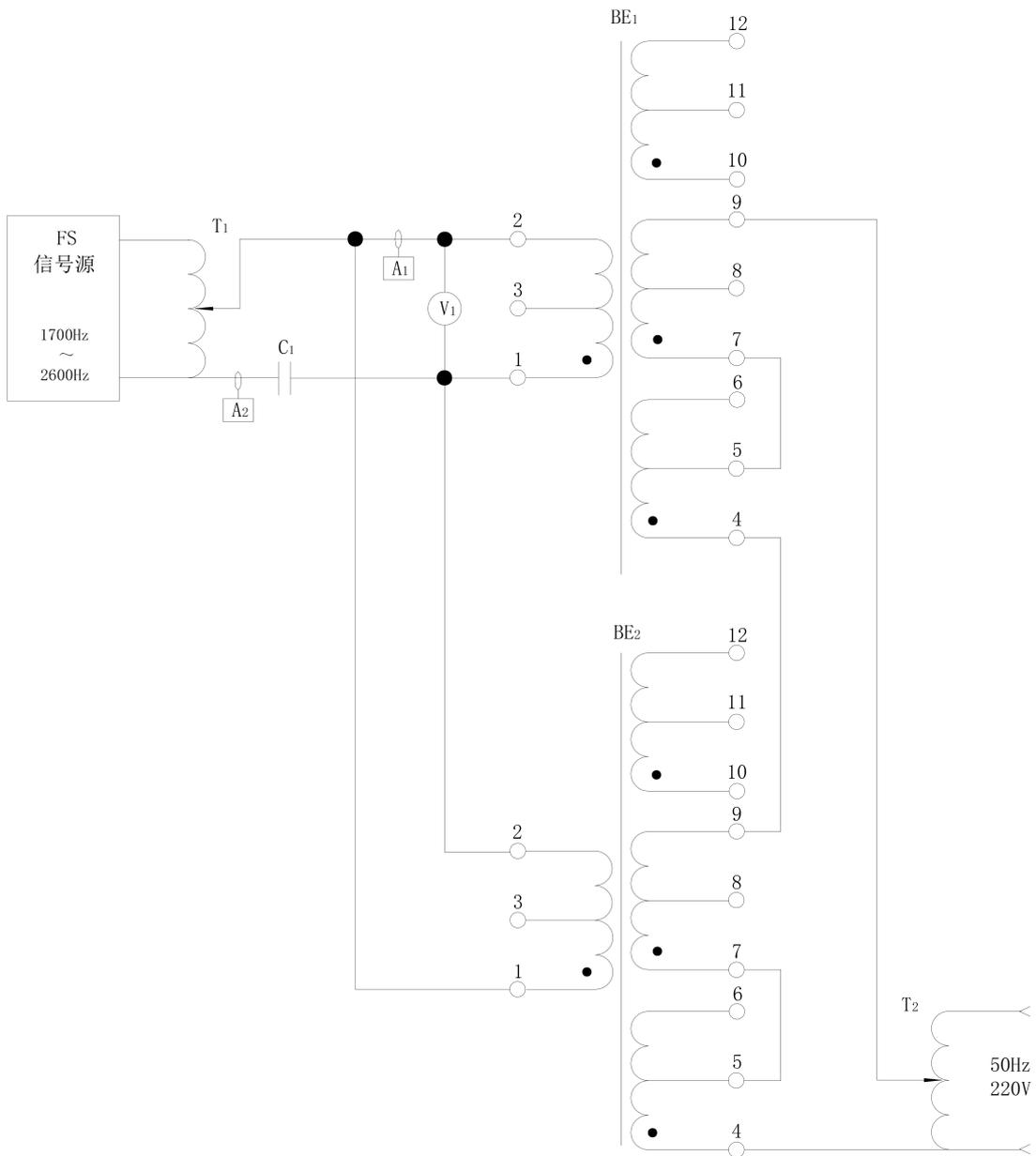
V ——牵引线圈1-2移频电压；

I ——牵引线圈1-2移频电流。

6.4.6.3 牵引线圈经 50 Hz 电源磁化的移频阻抗

6.4.6.3.1 试验电路

试验电路应符合图22的规定。



- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| FS——信号源，1 700 Hz~2 600 Hz移频； | 220 V、50 Hz——信号源，要求能输出所需电流； |
| T ₁ ——调压器，250 V、3 kVA； | T ₂ ——调压器，250 V、15 kVA； |
| V ₁ ——选频表； | C——电容，1 μF、500 V； |
| A ₂ ——移频电流钳或数字真有效值表； | A ₁ ——钳形表或互感器，0 A~100 A； |
| BE ₁ ——被测变压器； | BE ₂ ——合格变压器。 |

图 22 经 50 Hz 电流磁化的情况下移频阻抗试验电路

6.4.6.3.2 试验步骤与计算方法

在图22电路中，调节T₂调压器，使A₁为规定值，在牵引线圈加0.6 V~8 V的ZPW-2000系列的标准载频信号电压时，同时分别对应读电流表A₂示值I₂ (A)，按公式 (11) 进行计算。

$$Z_7 = 2 \times \frac{V_1}{I_1} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

Z_{17} ——半牵引线圈经50 Hz电源磁化的移频阻抗；

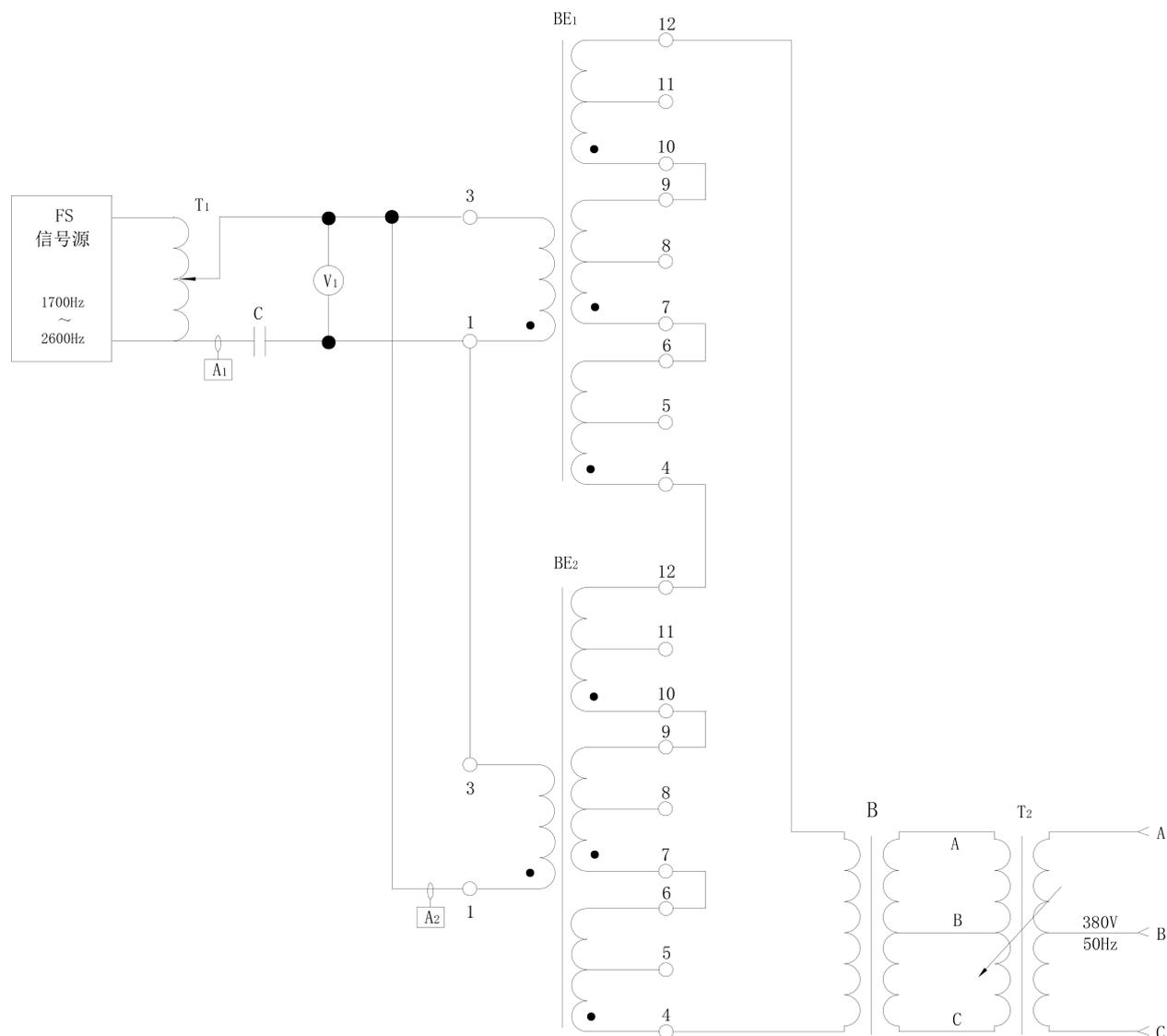
V_1 ——牵引线圈1-3移频电压；

I_1 ——牵引线圈1-3移频电流。

6.4.6.4 牵引线圈经50 Hz大电流磁化的移频阻抗

6.4.6.4.1 试验电路

试验电路应符合图23的规定。



FS——信号源，1 700 Hz~2 600 Hz移频；

T_1 ——调压器，250 V、3 kVA；

B——大电流变压器，100 kVA；

A_1 ——移频电流钳或数字真有效值表；

BE_1 ——被测变压器；

380 V、50 Hz——信号源，要求能输出所需电流；

T_2 ——三相感应调压器，100 kVA；

V_1 ——移频测试表；

A_2 ——钳形表或互感器，0 A~1000 A；

BE_2 ——合格变压器。

图 23 经 50Hz 电流磁化的情况下半圈移频阻抗试验电路

6.4.6.4.2 试验步骤与计算方法

在图23电路中，调节T₂调压器，使A₂为规定值，在牵引线圈加0.6 V~8 V的ZPW-2000A的标准载频信号电压时，同时分别对应读电流表A₁示值I₁ (A)，按公式 (12) 进行计算。

$$Z_8 = 2 \times \frac{V_1}{I_1} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

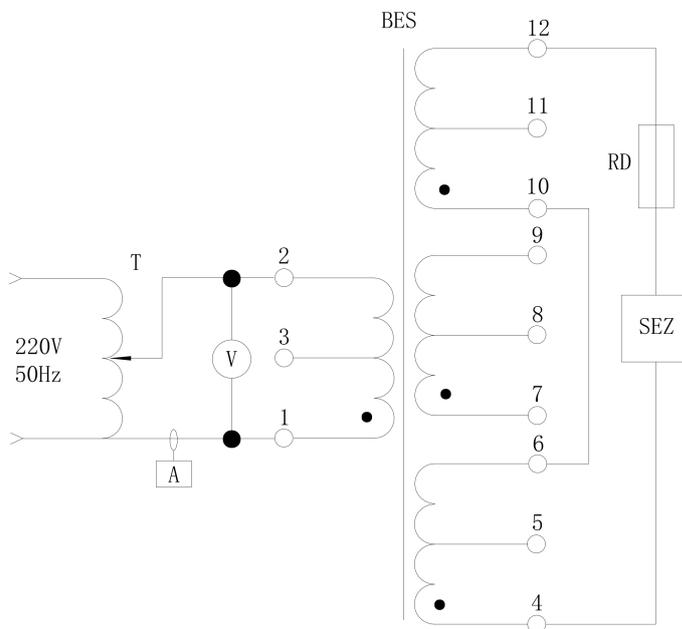
- Z₁₈ ——半牵引线圈经50 Hz电源磁化的移频阻抗；
- V₁ ——牵引线圈1-3移频电压；
- I₁ ——牵引线圈1-3移频电流。

6.4.7 BES 型 ZPW-2000 系列变压器

6.4.7.1 牵引线圈 50 Hz 电压

6.4.7.1.1 试验电路

试验电路应符合图24的规定。



- 220 V、50Hz——信号源，输出所需电流；
- T——调压器，250 V、15 kVA；
- V——数字真有效值表；
- A——钳形表或互感器，0 A~1 00 A；
- RD——熔断器或断路器；
- SEZ——适配器；
- BES——被测变压器。

图 24 牵引线圈 50 Hz 电压试验电路

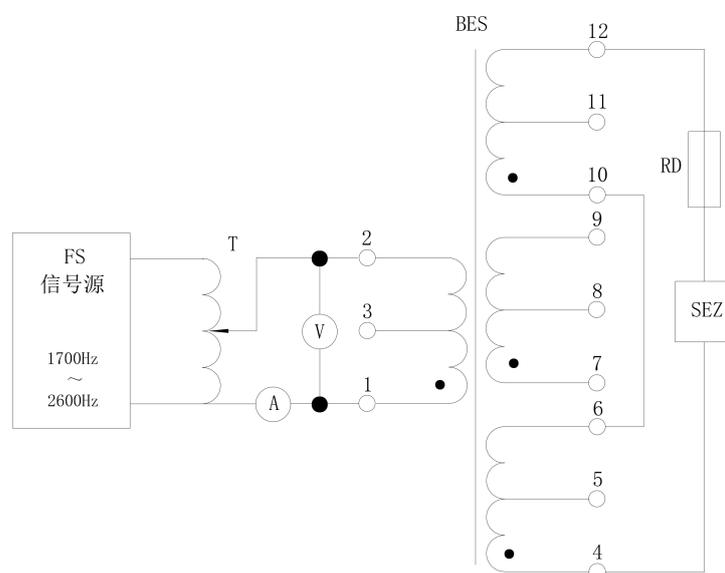
6.4.7.1.2 试验步骤与计算方法

在图24电路中，调节调压器T，使电流表A值为规定值，读取电压表V的值。

6.4.7.2 牵引线圈未经磁化的移频阻抗

6.4.7.2.1 试验电路

试验电路应符合图25的规定。



FS——信号源，1 700 Hz~2 600 Hz移频； T——调压器，250 V、3 kVA；
 V、A——数字真有效值表； RD——熔断器或断路器；
 SEZ——适配器； BES——被测变压器。

图 25 牵引线圈未经磁化的移频阻抗试验电路

6.4.7.2.2 试验步骤与计算方法

在图25电路中，调节调压器T，使电压表V读数为0.6 V~8 V，同时分别对应读取电流表A的示值*I*，按公式（13）进行计算。

$$Z_9 = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

Z_6 ——牵引线圈未经磁化的移频阻抗；

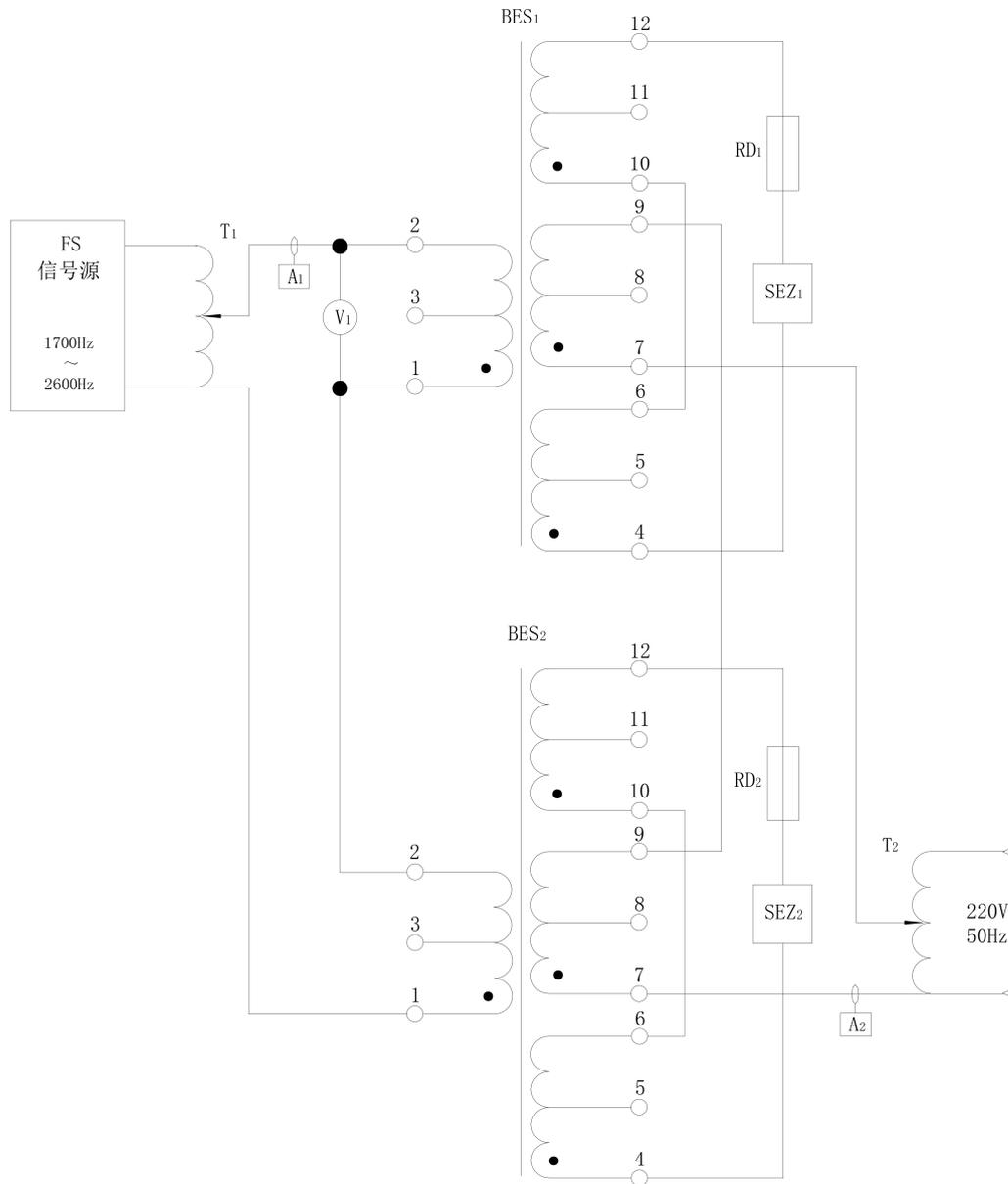
V ——牵引线圈1-2移频电压；

I ——牵引线圈1-2移频电流。

6.4.7.3 牵引线圈经 50 Hz 电源磁化的移频阻抗

6.4.7.3.1 试验电路

试验电路应符合图26的规定。



- | | |
|---|---|
| FS——信号源，1 700 Hz~2 600 Hz移频； | 220 V、50 Hz——信号源，输出所需电流； |
| T ₁ ——调压器，250 V、3 kVA； | T ₂ ——调压器，250 V，15 kVA； |
| V ₁ ——移频测试表； | A ₁ ——移频电流钳或数字真有效值表； |
| A ₂ ——钳形表或互感器，0 A~1 00 A； | RD ₁ 、RD ₂ ——熔断器或断路器； |
| SEZ ₁ 、SEZ ₂ ——适配器； | BES ₁ ——被测变压器； |
| BES ₂ ——合格变压器。 | |

图 26 牵引线圈经 50Hz 电源磁化的移频阻抗试验电路

6.4.7.3.2 试验步骤与计算方法

在图26电路中，先调节调压器T₂，使A₂值（信号线圈电流，其值为牵引电流规定值的1/6）为规定值，然后调节调压器T₁，使电压表V₁读数为0.6 V~8 V，同时分别对应读取电流表A₁示值I₁，按公式（14）进行计算。

$$Z_{10} = \frac{V_1}{I_1} \dots\dots\dots (1)$$

6.4.7.4.2 试验步骤与计算方法

在图27电路中，先调节调压器 T_2 ，使 A_2 为规定值，然后调节调压器 T_1 ，使电压表 V_1 读数为 $0.6\text{ V}\sim 8\text{ V}$ ，同时分别对应读取电流表 A_1 示值 I_1 ，按公式（15）进行计算。

$$Z_1 = 2 \times \frac{V_1}{I_1} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Z_6 ——半牵引线圈经50 Hz电源磁化的移频阻抗；

V_1 ——牵引线圈1-3移频电压；

I_1 ——牵引线圈1-3移频电流。

6.5 绝缘电阻试验

按TB/T 1447—2015的规定进行。

6.6 绝缘耐压试验

按TB/T 1448—2018的规定进行。

此项试验一般只允许进行一次，重复试验的试验电压值为原试验电压值的75%。

6.7 温升试验

按TB/T 1424—1982中规定的电阻法进行。在环境温度为 $+70\text{ }^\circ\text{C}$ ，变压器牵引线圈1、2端流入额定电流的1/2，3端流出额定电流的条件下，反复通电10 min、断电10 min，持续时间2.5 h。

6.8 低温试验

按TB/T 2953—2015的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行电气特性测试及外观检查；
- b) 条件试验：试样应在不包装、不通电、准备使用状态、按正常工作位置放入试验箱中；
- c) 严酷程度： $-40\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ K}$ ，持续时间：4 h；
- d) 中间检测：在条件试验的最后15 min内，进行阻抗及不平衡系数测试；
- e) 最后检测：试验后，按正常的试验大气条件下，恢复2 h，然后进行电气特性测试及外观检查。

6.9 高温试验

按TB/T 2953—2015的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行电气特性测试及外观检查；
- b) 条件试验：试样应在不包装、不通电、准备使用状态、按正常工作位置放入试验箱中；
- c) 严酷程度： $+70\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ K}$ （室外），持续时间：4 h；
- d) 中间检测：在条件试验的最后15 min内，进行阻抗及不平衡系数测试；
- e) 最后检测：试验后，按正常的试验大气条件下，恢复2 h，然后进行电气特性测试及外观检查。

6.10 交变湿热试验

按GB/T 2423.4—2008的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行电气特性测试及外观检查；
- b) 条件试验：试样应在不包装、不通电、准备使用状态、按正常工作位置放入试验箱中；
- c) 严酷程度：高温 $+40\text{ }^\circ\text{C}$ 、循环次数：12；
- d) 降温采用GB/T 2423.4、准备使用中的方法2，降温阶段相对湿度不低于95%；
- e) 中间检测：在低温高湿阶段的最后2 h内进行绝缘电阻的测试；
- f) 恢复条件：在试验用的标准大气条件下恢复2 h；
- g) 最后检测：恢复后立即进行绝缘耐压试验和外观检查。

6.11 振动试验

按TB/T 2846—2015的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行线圈通断及外观检查，结构不应有松动及机械损伤；
- b) 条件试验：不带减震器，试样按使用状态固定在振动台上；
- c) 频率范围：10 Hz~200 Hz；
- d) 加速度幅值：20 m/s²；
- e) 振动方向：分别沿试样的垂直和水平轴线进行；
- f) 试验持续时间：在每一轴线上、频率范围 10 Hz~200 Hz，扫频速度 1 oct/min，扫频循环 5 次；发现共振频率时，在该频率上持续 10 min±0.5 min；
- g) 最后检测：同初始检测。

6.12 锤击试验

应按GB/T 2423.55—2006中试验Ehc的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行电气特性测试及外观检查；
- b) 条件试验：将试样平放于平整的地面上；
- c) 撞击能量：50 J；
- d) 撞击位置：加盖撞击变压器中部；
- e) 撞击次数：3 次；
- f) 最终检测：同初始检测。

6.13 低气压试验

按GB/T 2423.21—2008的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行绝缘电阻测试及外观检查；
- b) 严酷程度：70.1 kPa±2 kPa；持续时间 2 h；
- c) 条件试验：试验时试验箱内温度为正常的试验大气温度，试样在不包装、不通电、准备使用状态和正常工作位置放入试验箱中；压力变化速率：不应大于 10 kPa/min；
- d) 最后检测：经 2 h 试验后，在箱内立即测试变压器。

6.14 长霉试验

按GB/T 2423.16—2008的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行外观检查；
- b) 试验持续时间：连续暴露 28 d；
- c) 最后检测：经 28 d 试验后，取出试样应立刻检查。

6.15 盐雾试验

按GB/T 2423.17—2008的规定进行，并应符合以下规定：

- a) 初始检测：对试样进行外观检查，表面应干净，无污物，无临时性防护层和其它弊病；
- b) 试样放置状态：试样应按正常使用状态进行试验，试样之间不应有接触，也不能与其他金属部件接触；
- c) 试验周期：96 h；
- d) 恢复：试验结束后，应在自来水下冲洗 5 min，然后在蒸馏水中漂洗，洗涤水温不应超过+35 ℃，然后在标准的恢复大气条件下放置 1 h~2 h；
- e) 恢复后试样应及时检查。

6.16 防护试验

按GB/T 4208—2017的规定进行。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品的检验分为出厂检验和型式检验两种。

7.2 出厂检验

7.2.1 每台产品应经制造商技术检验部门检验合格后，并附有产品合格证，方可出厂。

7.2.2 出厂检验项目应符合表 8 的规定。

表 8 出厂检验及型式检验项目

序号	检验项目	出厂检验	型式检验	技术要求 对应条款	检验方法 对应条款
1	外形及安装尺寸	●	●	4.2	6.3
2	一般要求	●	●	5.2	6.3
3	外观及零部件	●	●	5.3	6.3
4	电气特性	●	●	5.4	6.4
5	绝缘电阻	●	●	5.5	6.5
6	绝缘耐压	●	●	5.6	6.6
7	温升	—	●	5.7	6.7
8	低温	—	●	5.8	6.8
9	高温	—	●	5.9	6.9
10	交变湿热	—	●	5.10	6.10
11	振动	—	●	5.11	6.11
12	锤击	—	●	5.12	6.12
13	低气压	—	●	5.13	6.13
14	长霉	—	●	5.14	6.14
15	盐雾	—	●	5.15	6.15
16	防护	—	●	5.16	6.16

注：“●”表示应检验项目，“—”表示不必检验项目。

7.3 型式检验

7.3.1 下列情况之一者应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转场生产的试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，每 3 年~5 年进行一次；
- d) 停产 2 年以上恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；

- f) 质量监督机构提出进行型式检验要求时。
- 7.3.2 型式检验项目应符合表 8 的规定。
- 7.3.3 经过型式检验的产品不应作为合格产品出厂。

8 标志、包装、运输、贮存

- 8.1 每台产品应在明显位置设有产品的标牌，标牌上标明：
- a) 产品名称及型号；
 - b) 牵引电流；
 - c) 信号频率；
 - d) 不平衡度；
 - e) 产品出厂编号；
 - f) 产品接线图；
 - g) 标明同名端；
 - h) 制造日期；
 - i) 制造厂名称；
 - j) 冷却方式。
- 8.2 产品应采用防潮包装，包装时底座向下，再装入包装箱内，包装箱应有防震措施。
- 8.3 包装箱箱面应按 GB/T 191 的有关规定标明“向上”、“怕雨”和“易碎物品”等标志，并标明制造商名称、产品型号及名称、产品数量、包装箱尺寸、重量、堆积码放层数、收发货单位的名称、地址等。
- 8.4 每个包装箱内应附有出厂测试数据、产品合格证和装箱单。
- 8.5 制造商应提供产品说明书。
- 8.6 产品应贮存在通风良好，温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 90%，周围无带酸、碱或其他有害气体的库房中。在运输过程中，不应受到强烈的震动和碰撞。在贮存和运输中均不应受雨雪的淋袭。

附录 A
(资料性)
SE 系列扼流适配器

A.1 外形及安装尺寸

SE系列扼流适配器的外形见图A.1，外形及安装尺寸见表A.1；外形及安装尺寸公差应符合GB/T 1804—2000中最粗v级的规定，安装孔的公差应符合GB/T 1800.2—2020中规定的极限偏差A13的规定。

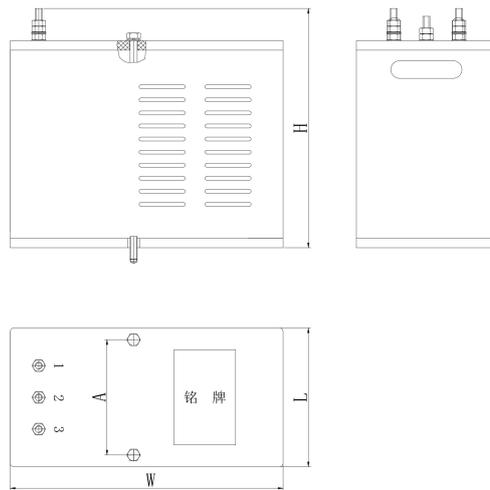


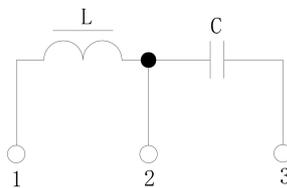
图 A.1 SE 系列扼流适配器的外形图

表 A.1 SE 系列扼流适配器外形及安装尺寸

型号	外形尺寸 长 (L) × 宽 (W) × 高 (H) mm	安装尺寸 A mm	备注
SE1	118×230×210	100 2- $\phi 6.5$	$\leq 1\ 000\ A$
SE2	153×300×230	133 2- $\phi 7$	$> 1\ 000\ A$

A.2 电气特性

SE系列扼流适配器接线见图A.2，电气特性见表A.2。



L——电感；C——电容。

图 A.2 SE 系列扼流适配器接线图

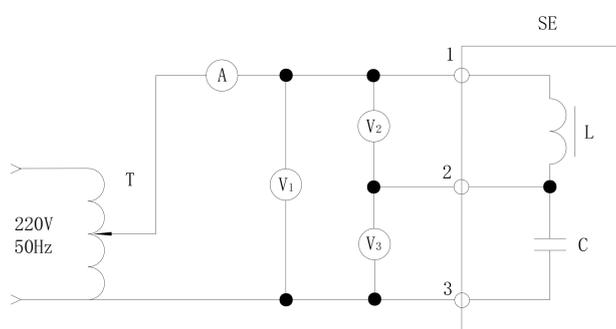
表 A.2 SE 系列扼流适配器电气特性

类型		SE1	SE2
品质因数 Q 大于		20	30
电感线圈饱和电流不小于	A	3	9
50 Hz谐振阻抗不大于	Ω	5.6	2.3

A.3 电气试验

A.3.1 试验电路

试验电路见图A.3。



T——调压器，250V、500 VA； A——交流电流表； V₁、V₂、V₃——数字真有效值表；
L、C——电感、电容； SE——被测扼流适配器。

图 A.3 SE 系列扼流适配器试验电路

A.3.2 试验步骤与计算方法

在图A.3电路中，调整调压器T，使交流电流表A值为表A.2中电感线圈饱和电流的规定值 I ，记下 V_1 、 V_2 、 V_3 的值，按公式 (A.1) 及公式 (A.2) 进行计算。

$$Q = \frac{V}{V_1} \dots \dots \dots (A.1)$$

式中：

Q ——品质因数；

V —— V_2 、 V_3 中小的电压；

V_1 ——适配器电压。

$$Z = \frac{V_1}{I} \dots \dots \dots (A.2)$$

式中：

Z ——谐振阻抗；

I ——电感线圈饱和电流；

V_1 ——适配器电压。

附录 B
(资料性)
SEZ 系列扼流适配器

B.1 外形及安装尺寸

SEZ系列扼流适配器的外形见图B.1，外形及安装尺寸见表B.1；外形及安装尺寸公差应符合GB/T 1804—2000中最粗v级的规定，安装孔的公差应符合GB/T 1800.2—2020中规定的极限偏差A13的规定。

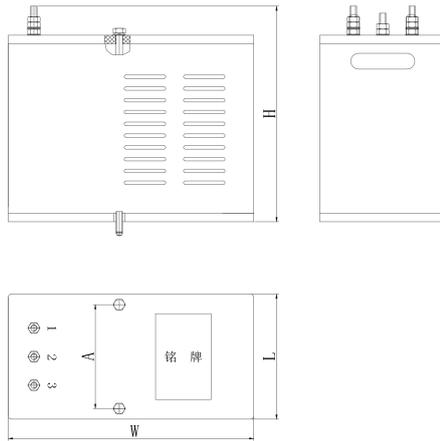


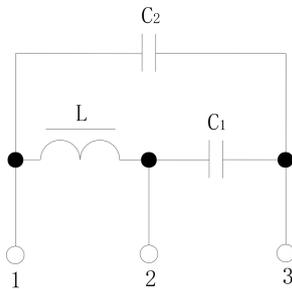
图 B.1 SEZ 系列扼流适配器的外形图

表 B.1 SEZ 系列扼流适配器外形及安装尺寸

型号	外形尺寸 长 (L) × 宽 (W) × 高 (H) mm	安装尺寸 A mm	备注
SEZ1	118×230×210	100	800 A
SEZ2		2- ϕ 6.5	1 000 A

B.2 电气特性

SEZ系列扼流适配器接线见图B.2，其电气特性见表B.2。



L ——电感； C_1 、 C_2 ——电容。

图 B.2 SEZ 系列适配器接线图

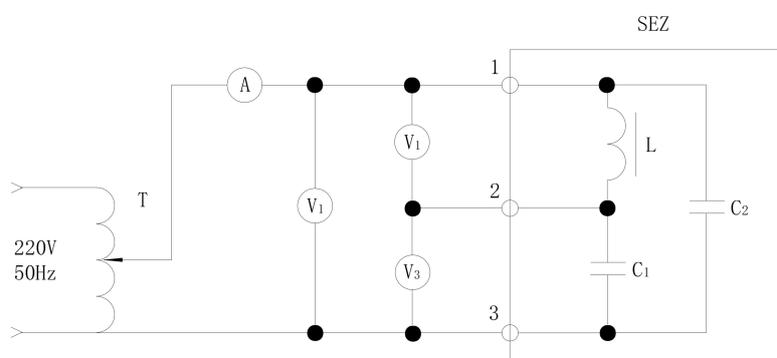
表 B.2 SEZ 系列扼流适配器电气特性

类型		SEZ1	SEZ2
品质因数 Q 大于		22	22
电感线圈饱和电流不小于	A	2	3
谐振阻抗不大于	Ω	7.5	7.5

B.3 电气试验

B.3.1 试验电路

试验电路见图B.3。



T——调压器，250 V、500 VA； A——交流电流表； V_1 、 V_2 、 V_3 ——数字真有效值表；
L、 C_1 、 C_2 ——电感、电容； SEZ——被测扼流适配器。

图 B.3 SEZ 系列扼流适配器试验电路

B.3.2 试验步骤与计算方法

在图B.3电路中，调整调压器T，使交流电流表A值为表B.2中电感线圈饱和电流的规定值 I ，记下 V_1 、 V_2 、 V_3 的值，按公式 (B.1) 及公式 (B.2) 进行计算。

$$Q = \frac{V}{V_1} \dots \dots \dots (B.1)$$

式中：

Q ——品质因数；

V —— V_2 、 V_3 中小的电压；

V_1 ——适配器电压。

$$Z = \frac{V_1}{I} \dots \dots \dots (B.2)$$

式中：

Z ——谐振阻抗；

I ——电感线圈饱和电流；

V_1 ——适配器电压。

附录 C
(资料性)
TE 系列扼流调谐器

C.1 外形及安装尺寸

TE系列扼流调谐器的外形见图C.1，外形及安装尺寸见表C.1；外形及安装尺寸公差应符合GB/T 1804—2000中最粗v级的规定，安装孔的公差应符合GB/T 1800.2—2020中规定的极限偏差A13的规定。

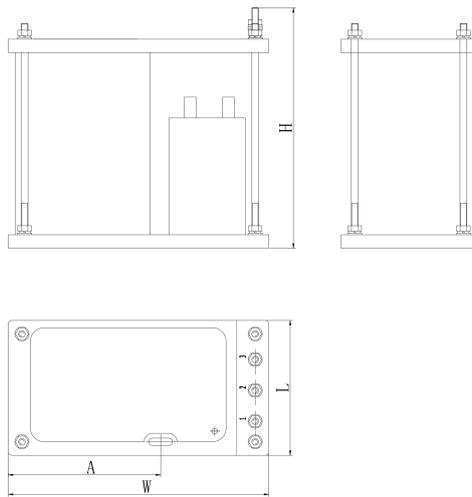


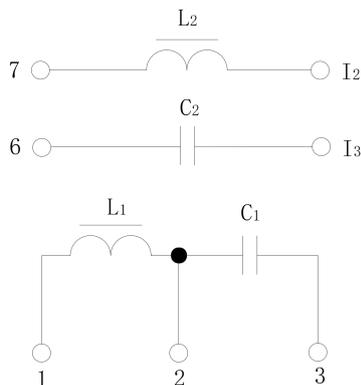
图 C.1 TE 系列扼流调谐器的外形图

表 C.1 TE 系列扼流调谐器外形及安装尺寸

型号	外形尺寸 长 (L) × 宽 (W) × 高 (H) mm	安装尺寸 A mm	备注
TE1	230×120×140	125 φ8	8 00 A
TE2	290×140×220	170 φ9	1 000 A
TE3			>1 000 A

C.2 电气特性

TE系列扼流适配器接线见图C.2，电气特性见表C.2。



L₁、L₂——电感；C₁、C₂——电容。

图 C.2 TE 系列扼流调谐器接线图

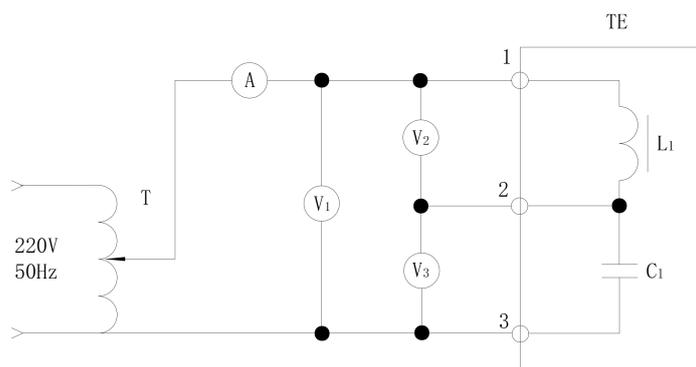
表 C.2 TE 系列扼流调谐器电气特性

类型		TE1、TE2	TE3
品质因数Q大于		20	20
电感线圈饱和电流不小于	A	3	7
50 Hz谐振阻抗不大于	Ω	7	7
电感L ₂ 阻抗（50 Hz）不小于	Ω	157	
电容C ₂	μF	1	

C.3 电气试验

C.3.1 50 Hz谐振阻抗试验电路

试验电路见图C.3。



T——调压器，250V、500 VA； A——交流电流表； V₁、V₂、V₃——数字真有效值表；
L₁、C₁——电感、电容。

图 C.3 50 Hz 谐振阻抗试验电路

C.3.2 试验步骤与计算方法

在图E.3电路中，调整调压器T，使交流电流表A值为表E.2中电感线圈饱和电流的规定值 I，记下 V₁、V₂、V₃的值，按公式（C.1）及公式（C.2）进行计算。

$$Q = \frac{V}{V_1} \dots \dots \dots (C.1)$$

式中：

- Q——品质因数；
- V——V₂、V₃中小的电压；
- V₁——适配器电压。

$$Z = \frac{V_1}{I} \dots \dots \dots (C.2)$$

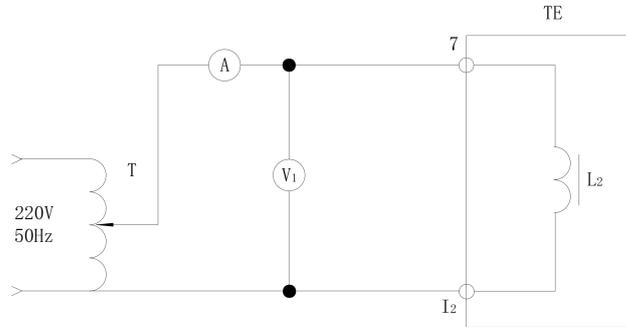
式中：

- Z——谐振阻抗；
- I——电感线圈饱和电流；

V_1 ——适配器电压。

C.3.3 电感 L_2 阻抗试验电路

试验电路见图C.4。



T——调压器，250V、500 VA； A——交流电流表； V——数字真有效值表；
 L_2 ——电感。

图 C.4 电感 L_2 阻抗试验电路

C.3.4 试验步骤与计算方法

在图C.4电路中，调整调压器T，使交流电流表A值为0.2 A，记下V的值，按公式（C.3）进行计算。

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

- Z——电感线圈50 Hz阻抗；
- I——电感线圈通过的电流；
- V——电感线圈上的电压。

参 考 文 献

- [1] GB 1094.11—2007 电力变压器 第11部分：干式变压器
 - [2] GB/T 1094.12—2013 电力变压器 第12部分：干式电力变压器负载导则
 - [3] GB/T 2693—2001 电子设备用固定电容器 第1部分：总规范
 - [4] GB/T 19212.1—2016 变压器、电抗器、电源装置及其组合的安全 第1部分：通用要求和试验
-