[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01R 31/00 (2006.01)
G01R 31/06 (2006.01)
G01R 31/02 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200310124633.5

[45] 授权公告日 2006 年 12 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1291233C

[22] 申请日 2003.12.10
[21] 申请号 200310124633.5
[30] 优先权
[32] 2002.12.10 [33] FR [31] 02/15590
[32] 2003. 2. 7 [33] FR [31] 03/01499
[73] 专利权人 阿雷瓦 T&D 股份有限公司
地址 法国佩雷
[72] 发明人 S·赖德
审查员 胡 斌

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 傅 康 王忠忠

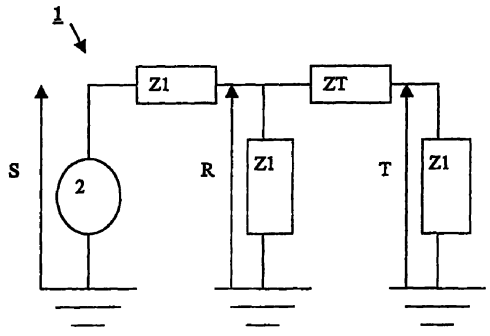
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称

变压器绕组故障诊断方法

[57] 摘要

本发明涉及一种利用频率响应分析(FRA)对变压器绕组故障进行诊断的方法。所述方法包括如下步骤：在所述绕组上测量阻抗作为频率的函数，所述测量结果表示为第一电压增益(k)的形式；将所述的阻抗测量结果与以第二电压增益(k′)的形式表示的参考测量值相比较，所述的比较包括计算三个第一参数的步骤，所述的三个第一参数中的每一个都是相关系数(ρ_1，ρ_2，ρ_3)，所述相关系数是覆盖三个不同的频率范围在所述第一和第二增益(k，k′)之间的相关系数。所述方法进一步包括确定至少一个第四参数的相对变量(CR_k，CR_f，CR_n)的步骤，所述的第四参数是所述变压器的物理量特性，通过比较所述第一和第二增益(k，k′)得出所述相对变量。



1、一种诊断变压器绕组故障的方法，所述方法包括以下步骤：

－在所述绕组上测量阻抗作为频率的函数，所述的测量结果表示为第一电压增益的形式；

－将所述的阻抗测量结果与以第二电压增益的形式表示的参考测量值相比较，所述的比较包括计算三个第一参数，所述的三个第一参数中的每一个都是相关系数，所述相关系数是覆盖三个不同的频率范围在所述第一和第二增益之间的相关系数；

－确定至少一个第四参数的相对变量，所述的第四参数是所述变压器的物理量特性，通过比较所述第一和第二增益得出所述相对变量；

－将至少一个诊断编码与所述三个第一参数的每个和所述第四参数的所述相对变量相关联；和

确定故障的存在并且通过比较每个诊断编码和参考编码来识别所述故障。

2、如权利要求1所述的方法，其中所述的第四参数是选自于最小增益，基本谐振频率，以及存在于预定的频率之上的谐振频率的数量。

3、如权利要求2所述的方法，其中所述的最小增益为低于10千赫的频率确定。

4、如权利要求1所述的方法，其中所述的三个不同频率范围分别是：[1千赫到10千赫]，[10千赫到100千赫]，以及[100千赫到1兆赫]。

5、如项权利要求1所述的方法，包括确定至少一个第五参数以及一个第六参数的相对变量的步骤，所述第五和第六参数是所述变压器的特性，通过比较所述的第一和第二增益来获得所述的相对变量。

6、如权利要求5所述的方法，其中所述第四参数是最小增益，所述第五参数是基本谐振频率，以及所述的第六参数是存在于预定的频率之上的谐振频率的数量。

7、如权利要求1所述的方法，其中所述的诊断编码的每个表明每一个所述的参数是否属于预定值域。

8、如项权利要求1所述的方法，其中所述参考编码被存储在检索表中。

9、如权利要求1所述的方法，其中所述的三个不同频率范围的一个覆盖从1千赫到10千赫的范围。

10、如权利要求1所述的方法，其中所述的三个不同频率范围的一个覆盖从10千赫到100千赫的范围。

11、如权利要求1所述的方法，其中所述的三个不同频率范围的一个覆盖从100千赫到1兆赫的范围。

12、如权利要求5所述的方法，其中所述的第四参数是最小增益。

13、如权利要求5所述的方法，其中所述的第五参数是基本谐振频率。

14、如权利要求5所述的方法，其中所述的第六参数是存在于预定的频率之上的谐振频率的数量。

变压器绕组故障诊断方法

技术领域

本发明涉及利用频率响应分析（FRA）对变压器绕组进行故障诊断的方法。本发明特别适合于电力变压器。

背景技术

电力变压器（例如具有几百千伏（KV）的初级电压并传输几兆伏安（MVA）到几百兆伏安范围的功率的变压器）在互连电力传输网络或者“电力网（grids）”的系统中是非常昂贵的设备。由于配电网络被中断导致的变压器损坏或者故障能带来严重的经济后果，因此，非常有必要尽可能长时间的保持这样的变压器的运行。

另外，故障，比如短路，还能够有引发爆炸或者火灾的危险。

因此能够确定与变压器绕组相关的故障的存在是具有重要意义的。

该问题的一个已知的解决方案是利用FRA。所述技术是在一个宽频范围上测量变压器绕组的阻抗，并将测量结果与一组参考测量值进行比较。为了测量阻抗作为频率的函数，利用正弦波信号进行频率扫描是合理的。

因而，图1是电路1的原理图，电路1用于在对应于要被测量的变压器绕组阻抗的阻抗上进行频率分析。

电路1包括:

网路分析器2;

三个等值测试阻抗Z1；以及

一个对应于变压器绕组被测阻抗的阻抗ZT。

网络分析器 2 产生测量信号 S。测量信号 S 是频率扫描正弦波信号。作为例子，阻抗 Z1 是测量电缆的阻抗，并且它们的值通常等于 50 欧姆（Ω）。R 是 ZT 的第一端与接地点之间的被测信号。T 是 ZT 的第二端与接地点之间的被测信号。然后网络分析器 2 确定电压增益 k 作为频率函数，用下列运算关系定义:

$$k=20\log_{10}\left(\frac{T}{R}\right)$$

增益k中蕴含着用于分析阻抗ZT的所需信息，等于：

$$k=20\log_{10}\left(\frac{Z1}{Z1+ST}\right)$$

当阻抗Z1等于50欧姆的时候，上式得出：

$$k=20\log_{10}\left(\frac{50}{50+ZT}\right)$$

要在一个很宽的频率范围上测量阻抗，所述范围能从几赫兹（Hz）到大约10兆赫（MHz）。

必须在参考绕组上进行相同的测量。参考绕组或者是在假定没有故障的另一相，或者就是在之前没有发生故障时进行测量的同一绕组，或者是相同的变压器的绕组。上述测量同样产生增益k'作为频率的函数并且对应于参考绕组。

那么第一解决方案是用肉眼检查差别，所述差别是在代表作为频率函数的k和k'的曲线之间所存在的差别。所述解决方案仍然存在着一定的问题。

由专家用肉眼进行的检查有很高的主观因素并且缺乏透明度。

第二解决方案是计算适合于显示出两种曲线之间的差别的统计指标。比如，可以用在不同的频率范围上计算出的相关系数来组成这些统计指标。

不过，这些统计指标的应用也会产生一些问题。

因此，不能够识别某些故障；适用于比如被接地的变压器的磁路或者引发绕组升温的环流。

类似地，统计指标的这些应用能够导致混淆某些故障；例如将变压器外壳的不良接地与绕组的损坏相混淆。

发明内容

本发明试图提供一种诊断变压器绕组故障的方法，一方面既提高可被检测的故障数量，一方面又可将不同的故障进行区分。

为达到上述目的，本发明提供了一种诊断变压器绕组故障的方法，所述方法包括以下步骤：

在所述的绕组上测量阻抗作为频率的函数，所述的测量结果表示为第一电压增益的形式；

将所述的阻抗测量结果与以第二电压增益的形式表示的参考测量

值相比较，所述的比较包括计算三个第一参数的步骤，所述的三个第一参数中的每一个都是相关系数，所述相关系数是覆盖三个不同的频率范围在所述第一和第二增益之间的相关系数；

所述方法，其特征在于，其包括确定至少一个第四参数的相对变量的步骤，所述的第四参数表示所述变压器的物理量特性，通过比较所述第一和第二增益得出所述相对变量。

采用本发明，将三个相关系数与至少一个第四参数的相对变量相结合，从而可以识别那些只通过相关系数的值不能检测到的某些故障。依靠所述第四参数的相对变量值，也可能排除那些在不同的可能故障之间进行确定时产生的疑惑。

有利地，所述的第四参数选自于最小增益，基本谐振频率，以及存在于预定的频率之上的谐振频率的数量。

有利地，所述的最小增益是为低于10千赫（KHz）的频率确定的。

最小增益定义为参照图1所描绘的作为测量频率函数的电压增益k所取得的最小值；所确定的最小增益是小于10千赫的频率的最小增益。在较高的频率处所述增益也可能取得最小值，但是这个最小值与识别故障具有较小的相关性。

有利地，所述的三个不同频率范围分别是：【1千赫到10千赫，【10千赫到100千赫】，以及【100千赫到1兆赫】。

已证实了在低于1千赫的时候所计算得出的相关系数具有较小的相关性，并且在超过1兆赫的时候计算得出的相关系数则会给出不可靠的信息。

在优选的实施例之中，所述方法包括确定至少一个第五参数以及一个第六参数的相对变量的步骤，所述的第五和第六参数是所述变压器的特性，通过比较所述的第一和第二增益来获得所述的相对变量。

在这个执行过程中，所述第四参数是最小增益，所述第五参数是基本谐振频率，以及所述的第六参数是存在于预定的频率之上的谐振频率的数量。

在更优选的方式中，所述的方法包括确定多个诊断编码的步骤，每一个所述的编码表明每一个所述的参数是否属于预定的值域。

在这个实施例中，所述的方法包括确定故障存在的步骤，以及识

别所述故障作为所述的多个诊断编码的函数的步骤。

有利地，通过将所述的多个编码与存储在检索表中的编码进行比较，来进行所述的确定故障存在并识别所述故障的步骤。

附图说明

本发明其它的特性和有益效果将在下面对本发明实施例进行的描述中体现出来，对本发明实施例的说明完全是通过非限定的说明给出的。在下面的附图中：

图1是用于进行阻抗频率响应特性分析的电路图；

图2是三相变压器的示意图；

图3表示各自的增益作为三相变压器其中两相的两个高压绕组的频率函数。

具体实施方式

在前面已经关于现有技术的状况对图1进行了说明。接下来要说明的FRA测量都采用如图1所示种类的分析电路来采集。

图2是三相变压器3的示意图。

三相变压器3包括：

一个磁路4；

一个外壳5；

三个低压绕组6；以及

三个高压绕组7。

每一对高低压绕组对应于变压器的一相，并且与磁路4的各个磁芯9相联系。后面在提到变压器的三相时分别称作A、B和C。

通过连接部分8将磁路4和外壳5连接在一起，并且两者都被接地。

可以分别对高压和低压进行三个阻抗的检测。

因此，如果怀疑故障发生在变压器的其中一个高压绕组上，就要测量所述绕组的增益作为频率函数，并要在另一个高频绕组上面进行同样的测量，这之后比较所述两绕组各自的增益。可以看出也可以利用第三高压绕组进行第三次测量。

还可以将被怀疑为发生故障的绕组上采集的测量值和在所述同一绕组上之前所采集的测量值进行比较。也可以将被怀疑的绕组上采集的测量值与另一相同结构的变压器中的等效绕组上采集的测量值进行

比较。

作为实施例，图3表示如图2所示种类的三相变压器中分别为C相和A相的两个高压绕组各自的增益k和k'。

对于在10赫兹到1兆赫之间变化的频率示出增益k和k'。

怀疑故障存在于相应于增益k的C相高频绕组上。

为了确定故障的存在，假如有的话，以及为了诊断该故障，本发明所述的方法包括计算六个参数。

最初的三个参数是在下面三个频率范围上计算出来的在k和k'之间的相关系数ρ_1、ρ_2以及ρ_3：【1千赫到10千赫】，【10千赫到100千赫】，以及【100千赫到1兆赫】。

对于两个n维的数组X（x_1，x_2，...，x_n）和Y（y_1，y_2，...，y_n），相关系数ρ由以下等式进行定义：

$$\rho=\sum_{i=1}^{n}x_i y_i/\sqrt{\sum_{i=1}^{n}x_i^2\sum_{i=1}^{n}y_i^2}$$

第四参数定义为低频时最小增益的相对变量CR_k，所述低频即小于10千赫的频率值。因此，如果k_m是要被分析的阻抗的最小增益，k'_m是参考阻抗的最小增益，那么最小增益的相对变量CR_k的系数用下式进行定义：

$$CR_k=\frac{k_m}{k'_m}$$

第五参数定义为基本谐振频率的相对变量CR_f。基本谐振频率是增益k和k'中每个的第一谐振频率。如果将增益k和k'各自的基本谐振频率写成f和f'，那么参数CR_f用下面的等式定义：

$$CR_f=\frac{f}{f'}$$

第六参数定义为位于100千赫到1兆赫频率范围内的谐振频率数量的相对变量。如果将位于100千赫到1兆赫频率范围内的增益k和k'中的谐振频率的数量分别写成n和n'，那么参数CR_n用下面的等式定义：

$$CR_n=\frac{n}{n'}$$

将增益k的每一个测量结果与参考增益k'的测量值进行比较，这样对应于下面这个具有六个参数的数组{ρ_1，ρ_2，ρ_3，CR_k，CR_f，CR_n}。

这些参数或者利用计算工具，或者利用借助于MSExcel®或者其它

的电子数据表的算子来进行计算。

这样，通过计算所述适用于如图3所示的曲线的参数，得出下列值：

$\rho_1 = 0.7483$

$\rho_2 = 0.9797$

$\rho_3 = 0.8577$

$CR_k = 0.98717$

$CR_f = 1$

$CR_n = 1.8333$

其后，将每一个值与一个编码相关。在下面的表1之中总结了这些编码。

表1

参数	值	编码
ρ（对于所有的频率范围有效）	正常范围	0
	>0.7000	1
	<0.7000	2
CR_f	<正常范围	9
	被消除的频率	8
	正常范围	0
	正常范围到1.25	1
	1.25到1.5	2
	1.5到5	3
	>5	4
CR_k	>正常范围	9
	正常范围	0
	>0.8	1
	0.2到0.8	2
	<0.2	3
CR_n	正常范围	0
	>正常范围	1

这样，6个编码可以与每个六个一组的数组{ρ_1，ρ_2，ρ_3，CR_k，CR_f，CR_n}相关联。

术语“正常范围”意味着参数落入认定为是“正常”的变量范围之内。

所述变量的正常范围依赖于被用作参考测量的绕组。表2总结出当同一绕组用作分析测量和参考测量的时候的正常变量。

表2

参数	正常范围
ρ（对所有的频率范围有效）	[0.9950到1.0000]
CR_f	[0.9000到1.1000]
CR_k	$[\frac{k_m'-6}{k_m'}到\frac{k_m'+6}{k_m'}]$
CR_n	1.2000

表3总结了用不同的绕组作为参考时的正常变量（如图3所示）。

表3

参数	正常范围
ρ（对所有的频率范围有效）	[0.9750到1.0000]
CR_f	[0.6500到1.1000]
CR_k	$[\frac{k_m'-6}{k_m'}到\frac{k_m'+6}{k_m'}]$
CR_n	1.2000

对于如图3所示的曲线的参数{ρ_1, ρ_2, ρ_3, CR_k, CR_f, CR_n}取值为：101001。

当确定了这六个编码时，本发明进行到将所述六个编码与如表4所示的检索表中所记载的编码相比较的步骤。

表4

故障类型	ρ_1	ρ_2	ρ_3	CR_f	CR_k	CR_n
1）无故障	0	0	0	0	0	0
2）外壳接地不良（高阻抗）	0	0	0-1	0	0	0
3）外壳没接地	0	0	0-1	0-9	0-1	0
4）磁路没接地	0	0	0	0-9	0-1	0
5）闭合环路被接地	0	0	0	0-9	0	0
6）闭合环路处于浮动电位	0	0	0-1	0-9	0	0
7）附加线匝短路（同相）	0-1-2	0	0	3	2-3	0
8）绕组端子之间的故障（分析的绕组受到影响）	0-1-2	0-1-2	0-1-2	8	3	0
9）绕组端子之间的故障（同相的另一绕组受到影响）	0-1-2	0-1-2	0	8	3	0
10）单匝短路	0-1-2	0	0	0	0-1-2	0
11）多匝短路	0-1-2	0-1	0-1	4	2	0
12）单一的相邻相短路	0-1	0	0	2	0	0
13）除了单一的相邻相之外的单相短路	0-1	0	0	1	0	0
14）绕组移位或者内绕组弯折	0-1	0-1	0	0	0	0
15）绕组损坏	0	0	0-1	0	0	0-1
16）绕组移位并损坏	0-1	0-1	0-1	0	0	0-1
17）不良连续	0-1-2	0-1-2	0-1-2	0-1	9	0
18）被测绕组一个端子接地	1-2	0-1	0-1	0	0	0-1
19）除了被测绕组所在相之外的一相的一个端子接地	1-2	0-1-2	0	9-0	0-1-2	0-1
20）与被测绕组同相的另一绕组的一个端子接地	0	0	0-1	0	0	0-1

可以利用运行在Matlab®环境下开发的计算机程序，将计算所得的参数与如表4所示的检索表进行比较。

下面参照图2给出故障说明。

故障2和3对应于外壳5的不良接地。故障3，是没有接地，而故障2，是外壳被高阻抗接地，所述高阻抗是外壳5与接地点之间的阻抗（大于50欧姆）。

故障4对应于磁路没有被接地，也就是，连接8被切断。

故障5和6对应于在分别接地和接至浮动电位生的环流回路。这

些回路会引起变压器升温。

故障 7 对应于存在着在被分析的绕组所在相上发生短路的附加线匝。

故障 8 对应于被分析的绕组端子之间的故障；也就是，完全的绕组短路。

故障 9 对应于与被分析绕组同相的绕组的端子之间的故障。

故障 10 对应于与被分析的绕组同相的绕组的线匝上发生的短路。这种故障会产生变压器升温。

故障 11 对应于与被分析的绕组同相的绕组的多匝线匝上发生的短路。这种故障会产生变压器的升温。

故障 12 对应于短路故障，所述短路故障是在线匝之间，端子之间，或者与附加线匝发生的短路。这显示出故障位于邻近于正在被测量相的那一相上，发生故障的相是单一的相邻相，也就是说，紧邻正在实施测量的相。这样，如果故障发生在中间磁芯上，由于中间相实际上是紧邻左右两相的唯一相，所以分析其它的相会得到所述编码。

故障 13 也对应于短路故障，所述短路故障是比如在线匝之间，端子之间，或者在附加线匝上的主电路。然而，它显示出故障不是紧邻正在进行测量的相的唯一相上。这样，如果发现故障位于左手侧磁芯上，那么由于实际上有两相紧邻中间相，而不是只有一个，所以分析中间相将得出所述编码。

故障 14 对应于被分析的绕组被轴向移位，但是绕组并没有局部被过分损坏，否则对应于内部绕组发生弯折。

故障 15 对应于被分析绕组发生局部机械损坏。

故障 16 是故障 14 与 15 的结合。

故障 17 对应于被分析绕组的不良电气连接。这种不良连续可能与不良的测量接触有关。

故障 18 对应于被分析绕组的其中一个端子被接地。

故障 19 对应于属于被分析绕组之外的相的绕组的其中一个端子被接地。

故障 20 对应于除了被分析绕组之外的绕组的其中一个端子被接地，所述的其它绕组仍属同一相。

故障 18、19 和 20 更多的指示进行测量中的故障。

这样，通过将与如图 3 所示的曲线相关的编码 101001 与表 4 中所列的故障类型相对照，可以推导出 16 或者 18 类型的故障是存在的。可利用再次进行测量并确定是否存在类型 16 的故障，也就是，看绕组是否损坏或者被移位，来消除类型 18 的测量问题。

自然地，本发明并不被限定在上面所描述的实施例之中。

特别地，采用软件方式执行的计算参数并在检索表中进行搜索的步骤也可以由操作人员来执行。

同样地，所给出的编码值只是为了说明，它们可以用适用于其它软件工具的其它值替代。

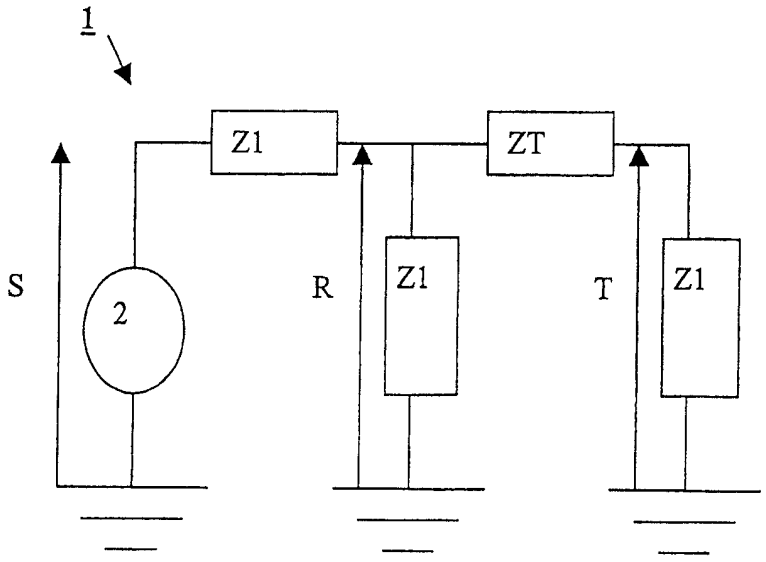


图 1

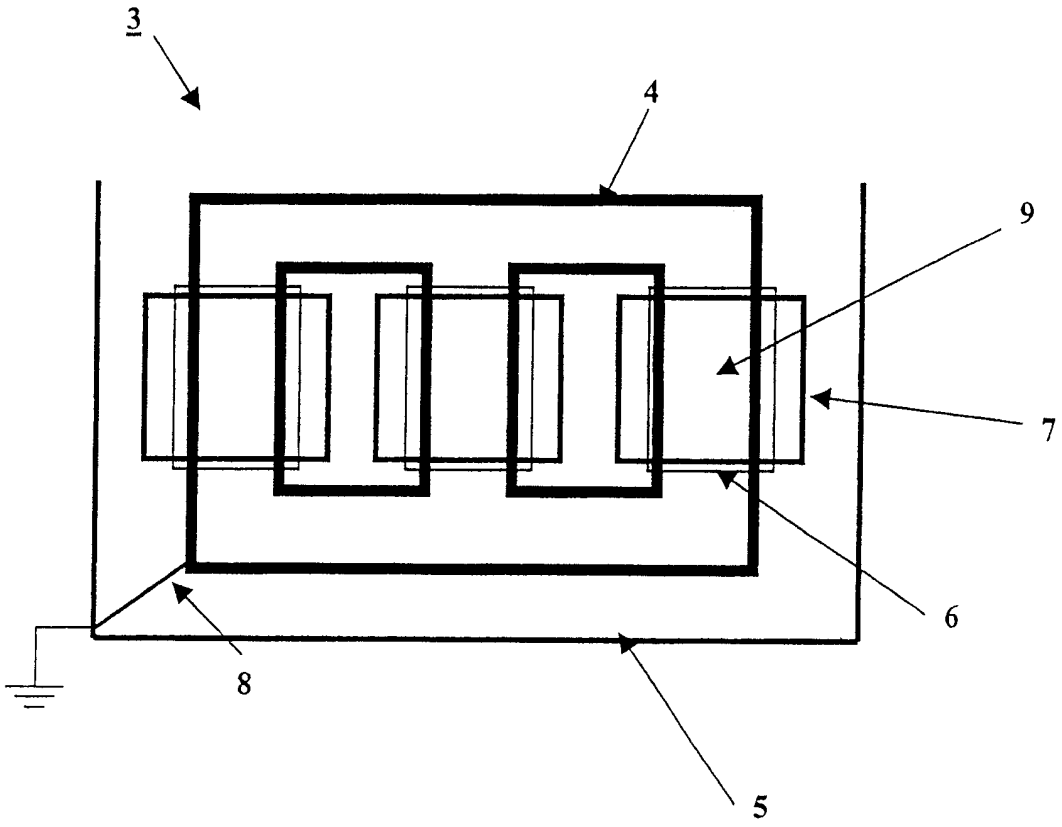


图 2

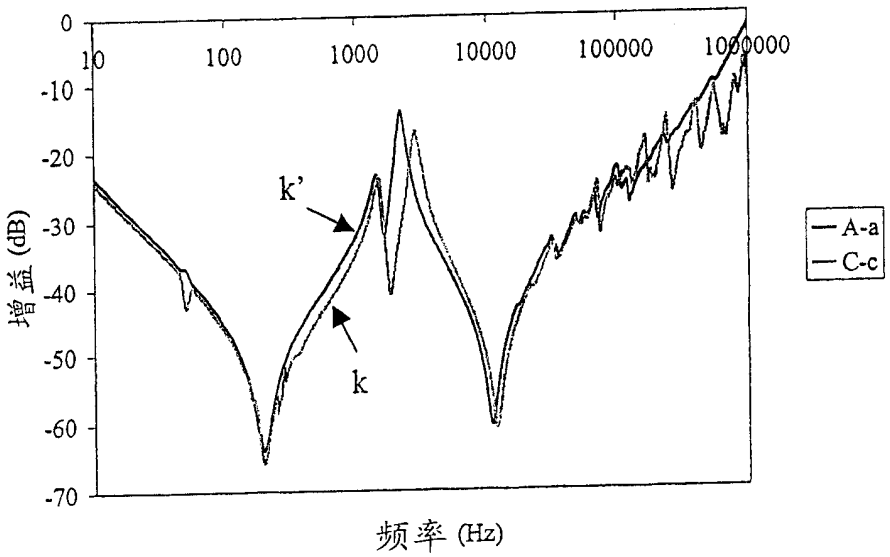

0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
10
100
1000
10000
100000
1000000
增益 (dB)
频率 (Hz)
k'
k
A-a
C-c

图 3