



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103098144 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 05

(21) 申请号 201180040420. 7

(22) 申请日 2011. 07. 21

(30) 优先权数据

2010-185638 2010. 08. 20 JP

2010-185637 2010. 08. 20 JP

2010-185636 2010. 08. 20 JP

2010-185635 2010. 08. 20 JP

2010-209651 2010. 09. 17 JP

2010-283809 2010. 12. 20 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 02. 20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2011/066563 2011. 07. 21

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/023378 JA 2012. 02. 23

(73) 专利权人 株式会社藤仓

地址 日本东京都

(72) 发明人 新元孝 吉田昭太郎 官宁

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

代理人 高培培 车文

(51) Int. Cl.

H01B 7/30(2006. 01)

H01B 7/00(2006. 01)

H01F 5/00(2006. 01)

H02K 3/02(2006. 01)

(56) 对比文件

WO 2009004989 A1, 2009. 01. 08,

CN 101202473 A, 2008. 06. 18,

JP 2001280249 A, 2001. 10. 10,

JP 2010093145 A, 2010. 04. 22,

审查员 白燕

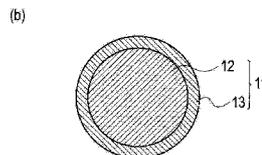
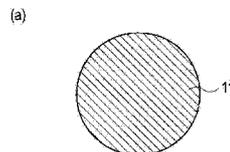
权利要求书2页 说明书30页 附图38页

(54) 发明名称

电线、线圈、电线的设计装置及电动机

(57) 摘要

一种具备由比铜的体积电阻率高的材料构成的导体部(11)的电线,在使用电线的频带中,以所述导体部的交流电阻相对于作为基准的铜线的交流电阻之比小于1的方式规定导体部(11)的体积电阻率。



1. 一种电线,具备由比铜的体积电阻率高的材料构成的导体部,且所述导体部由从黄铜、磷青铜、硅青铜、铜铍合金及铜镍硅合金选择的铜合金、铝以及铜包铝中的任一种构成,其特征在于,

所述电线具有:第一频率,在所述第一频率处所述电线的交流电阻值与由和所述导体部相同的线径及相同的长度构成的铜线的交流电阻值一致;及大于所述第一频率的第二频率,在所述第二频率处所述电线的交流电阻值与所述铜线的交流电阻值一致,

在所述第一频率和所述第二频率之间所述电线的交流电阻值小于所述铜线的交流电阻值,

使用所述电线的频带为 1kHz ~ 1MHz,以将使用所述电线的频率限制在从所述第一频率到所述第二频率的频带中的方式规定所述导体部的体积电阻率,

在设直流电阻值为 R_{dc} (mΩ/cm)、所述第二频率为 f_2 (kHz) 时,所述导体部的体积电阻率除以截面积所得到的每单位长度的所述直流电阻值由

[数学式 1]

$$0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$$

的关系规定,以使所述第二频率为使用所述电线的频率的上限值以上。

2. 根据权利要求 1 所述的电线,其特征在于,

使用所述电线的频率包括从使用于所述电线的交流电流的基本波的频率到 20 次的高次谐波的频率。

3. 根据权利要求 1 所述的电线,其特征在于,

所述导体部的线径为 0.05mm ~ 0.6mm。

4. 一种线圈,使用电线作为线材,其特征在于,

所述电线具备由比铜的体积电阻率高的材料构成的导体部,且所述导体部由从黄铜、磷青铜、硅青铜、铜铍合金及铜镍硅合金选择的铜合金、铝以及铜包铝中的任一种构成,

所述线圈具有:第一频率,在所述第一频率处所述电线的交流电阻值与由和所述导体部相同的线径及相同的长度构成的铜线的交流电阻值一致;及大于所述第一频率的第二频率,在所述第二频率处所述电线的交流电阻值与所述铜线的交流电阻值一致,

在所述第一频率和所述第二频率之间所述电线的交流电阻值小于所述铜线的交流电阻值,

使用所述线圈的频带为 1kHz ~ 1MHz,以将使用所述线圈的频率限制在从所述第一频率到所述第二频率的频带中的方式规定所述导体部的体积电阻率,

在设直流电阻值为 R_{dc} (mΩ/cm)、所述第二频率为 f_2 (kHz) 时,所述导体部的体积电阻率除以截面积所得到的每单位长度的所述直流电阻值由

[数学式 2]

$$0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$$

的关系规定,以使所述第二频率为使用所述线圈的频率的上限值以上。

5. 根据权利要求 4 所述的线圈,其特征在于,

使用所述线圈的频率包括从使用于所述线圈的交流电流的基本波的频率到 20 次的高次谐波的频率。

6. 根据权利要求 4 所述的线圈,其特征在于,
所述导体部的线径为 0.05mm ~ 0.6mm。

电线、线圈、电线的设计装置及电动机

技术领域

[0001] 本发明涉及电线、线圈、电线的设计装置及电动机。

背景技术

[0002] 在通上高频电流的设备（变压器、马达、电抗器、感应加热装置及磁头装置等）的绕组及供电线缆中，在通过该高频电流而产生的磁场的的作用下，导体内产生涡流损耗，其结果是，交流电阻（高频电阻）增大（集肤效应及邻近效应增大），而引起发热及消耗电力增大。作为抑制集肤效应及邻近效应的增大的对策，一般通过线的细径化和采用对各线材进行了绝缘覆盖而成的绞合线来实现（例如，参照专利文献 1～5）。

[0003] 作为绕组等所使用的电线的一种，已知有例如在铝线（以下，称为“A1 线”）的表面上覆盖了薄壁的铜层而成的铜包铝线（以下，称为“CCA 线”）。然而，在使用高频电线的特定的频带中，难以将高频电线的交流电阻相比相同线径等的铜线（以下，称为“Cu 线”）的交流电阻一概地减少。

[0004] 在先技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献 1：日本特开 2009-129550 号公报

[0007] 专利文献 2：日本特开昭 62-76216 号公报

[0008] 专利文献 3：日本特开 2005-108654 号公报

[0009] 专利文献 4：国际公开第 2006/046358 号

[0010] 专利文献 5：日本特开 2002-150633 号公报

发明内容

[0011] 鉴于上述问题点，本发明的目的提供一种与作为基准的 Cu 线相比能够使涡流产生的损失与其相等或比其小，且能够减少交流电阻的电线、线圈、电线的设计装置及电动机。

[0012] 根据本发明的一方式，提供一种电线，具备由比铜的体积电阻率高的材料构成的导体部，以在使用电线的频带中导体部的交流电阻相对于作为基准的 Cu 线的交流电阻之比小于 1 的方式规定导体部的体积电阻率。

[0013] 在本发明的一方式中，作为基准的 Cu 线可以具有与导体部相同的线径。

[0014] 在本发明的一方式中，可以是，导体部的体积电阻率除以截面积所得到的每单位长度的直流电阻值如下规定，即，在第一频率及比该第一频率大的第二频率中，第二频率为使用电线的频带的上限值以上，其中，电线的交流电阻与作为基准的 Cu 线的交流电阻分别在第一频率及第二频率处一致，且在第一频率和第二频率之间电线的交流电阻比作为基准的 Cu 线的交流电阻小。

[0015] 在本发明的一方式中，设直流电阻值为 R_{dc} ，第二频率为 f_2 ，直流电阻值可以由 $0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$ 的关系规定。

[0016] 在本发明的一方式中,导体部可以由从黄铜、磷青铜、硅青铜、铜铍合金及铜镍硅合金选择的铜合金、以及铜包铝中的任一种构成。

[0017] 在本发明的一方式中,使用电线的频带可以包括从基准频率到 20 次的高次谐波的频率。

[0018] 在本发明的一方式中,使用电线的频带可以为 10kHz ~ 1MHz。

[0019] 根据本发明的另一方式,提供一种线圈,使用电线作为线材,电线具备由比铜的体积电阻率高的材料构成的导体部,以在使用电线的频带中导体部的交流电阻相对于作为基准的 Cu 线的交流电阻之比小于 1 的方式规定导体部的体积电阻率。

[0020] 在本发明的另一方式中,作为基准的 Cu 线可以具有与导体部相同的线径。

[0021] 在本发明的另一方式中,可以是,导体部的体积电阻率除以截面积所得到的每单位长度的直流电阻值如下规定,即,在第一频率及比该第一频率大的第二频率中,第二频率为使用电线的频带的上限值以上,其中,电线的交流电阻与作为基准的 Cu 线的交流电阻分别在第一频率及第二频率处一致,且在第一频率和第二频率之间电线的交流电阻比作为基准的 Cu 线的交流电阻小。

[0022] 在本发明的另一方式中,设直流电阻值为 R_{dc} ,第二频率为 f_2 ,直流电阻值可以由 $0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$ 的关系规定。

[0023] 在本发明的另一方式中,导体部可以由从黄铜、磷青铜、硅青铜、铜铍合金及铜镍硅合金选择的铜合金、以及铜包铝中的任一种构成。

[0024] 在本发明的另一方式中,使用电线的频带可以包括从基准频率到 20 次的高次谐波的频率。

[0025] 在本发明的另一方式中,使用电线的频带可以为 10kHz ~ 1MHz。

[0026] 根据本发明的又一方式,提供一种电线的设计装置,电线由比铜的体积电阻率高的材料构成,电线的设计装置的特征在于,具备:电阻计算部,分别计算使用电线的频带中的作为电线的候补的导体部的交流电阻、及作为基准的 Cu 线的交流电阻;比计算部,计算导体部的由邻近效应产生的交流电阻相对于作为基准的 Cu 线的由邻近效应产生的交流电阻之比;及判定部,在比小于 1 时,判定为候补能够适用于电线。

[0027] 根据本发明的再一方式,提供一种电动机,其特征在于,具备:呈圆心状配置的多个铁心;电线卷绕于多个铁心而成的多个线圈,电线具备由铝线、铝或铝合金构成的中心导体和覆盖中心导体的由铜构成的覆盖层;通过向多个线圈施加交流电流而进行旋转的转子,通过逆变器方式控制向线圈施加的交流电流的频率,以将该频率限制在第一频率和比该第一频率高的第二频率之间,其中,在第一频率和第二频率处线圈的交流电阻比由作为基准的铜线卷绕的线圈的交流电阻小。

附图说明

[0028] 图 1 中,图 1(a) 是表示本发明的第一实施方式的电线的一例的剖视图。图 1(b) 是表示本发明的第一实施方式的电线的另一例的剖视图。

[0029] 图 2 是用于说明本发明的第一实施方式的集肤效应的示意图。

[0030] 图 3 是用于说明本发明的第一实施方式的邻近效应的示意图。

[0031] 图 4 是用于说明本发明的第一实施方式的邻近效应的另一概略图。

- [0032] 图 5 是双层结构的导线的剖视图。
- [0033] 图 6 是表示电流流过的导线表面的电磁场的概略图。
- [0034] 图 7 是施加外部磁场时的双层结构的导线的剖视图。
- [0035] 图 8 是表示施加外部磁场时的导线表面的电磁场的概略图。
- [0036] 图 9 是表示本发明的第一实施方式各电线及比较例的 Cu 线的频率与交流电阻的关系的坐标图。
- [0037] 图 10 是表示将本发明的第一实施方式的黄铜线及比较例的 Cu 线作为线材使用的磁场产生线圈的制作条件的表。
- [0038] 图 11 是表示将本发明的第一实施方式的黄铜线及比较例的 Cu 线作为线材使用的磁场产生线圈的频率与交流电阻的关系的坐标图。
- [0039] 图 12 是表示将本发明的第一实施方式的黄铜线及比较例的 Cu 线作为线材使用的磁场产生线圈的频率与交流电阻的关系的表。
- [0040] 图 13 是表示本发明的第一实施方式的黄铜线及 Cu 线的频率与交流电阻的关系的坐标图。
- [0041] 图 14 是表示本发明的第一实施方式的邻近效应成分和集肤效应成分的频率与交流电阻的关系的坐标图。
- [0042] 图 15 是表示本发明的第一实施方式的各种材料的交流电阻及 Cu 线的交流电阻比的计算结果的表。
- [0043] 图 16 是表示本发明的第一实施方式的电线的设计装置的一例的概略图。
- [0044] 图 17 是用于说明本发明的第一实施方式的电线的设计方法及制造方法的一例的流程图。
- [0045] 图 18 是表示本发明的第二实施方式的电线的一例的剖视图。
- [0046] 图 19 是表示本发明的第二实施方式的 CCA 线及 Cu 线中的频率与交流电阻的关系的坐标图。
- [0047] 图 20 是表示高频变压器的一次绕组电流波形的坐标图。
- [0048] 图 21 是用于说明基准频率及高次谐波成分的坐标图。
- [0049] 图 22 是表示 CCA 绕组和铜绕组的损失的表。
- [0050] 图 23 是表示本发明的第二实施方式的电线的设计装置的一例的概略图。
- [0051] 图 24 是用于说明本发明的第二实施方式的电线的设计方法的一例的流程图。
- [0052] 图 25 是表示本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机的一例的概略图。
- [0053] 图 26 是表示将比较例的 Cu 线使用于线圈的情况下的工作频率 20Hz 时的电流响应的坐标图。
- [0054] 图 27 是表示将比较例的 Cu 线使用于线圈的情况下的工作频率 50Hz 时的电流响应的坐标图。
- [0055] 图 28 是表示使图 26 与图 27 重叠后的响应的坐标图。
- [0056] 图 29 是表示图 26 的电流的频谱的坐标图。
- [0057] 图 30 是表示比较例的半径为 0.8mm 的 Cu 线的集肤效应产生的高频电阻的坐标图。
- [0058] 图 31 是表示比较例的半径为 0.8mm 的 Cu 线的邻近效应产生的高频损失 ($H_0=1A/$

mm) 的坐标图。

[0059] 图 32 是表示利用比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻静特性的坐标图。

[0060] 图 33 是表示利用比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻动特性的坐标图。

[0061] 图 34 是表示利用本发明的第二实施方式的第一实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻静特性 (其 1) 的坐标图。

[0062] 图 35 是表示利用本发明的第二实施方式的第一实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻静特性 (其 2) 的坐标图。

[0063] 图 36 是表示利用本发明的第二实施方式的第一实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻动特性 (其 1) 的坐标图。

[0064] 图 37 是表示利用本发明的第二实施方式的第一实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻动特性 (其 2) 的坐标图。

[0065] 图 38 是表示在本发明的第二实施方式的第一实施例中相对于不同的 α 值而 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带的表。

[0066] 图 39 是表示在本发明的第二实施方式的第一实施例中相对于不同的半径 r 值而 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带的表。

[0067] 图 40 是表示本发明的第二实施方式的第二实施例的电动机的一例的概略图。

[0068] 图 41 是表示半径为 1.0mm 的本发明的第二实施方式的第二实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线的集肤效应产生的高频电阻的坐标图。

[0069] 图 42 是表示半径为 1.0mm 的本发明的第二实施方式的第二实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线的邻近效应产生的高频损失 ($H_0=1A/mm$) 的坐标图。

[0070] 图 43 是表示利用本发明的第二实施方式的第二实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻静特性 (其 1) 的坐标图。

[0071] 图 44 是表示利用本发明的第二实施方式的第二实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻静特性 (其 2) 的坐标图。

[0072] 图 45 是表示利用本发明的第二实施方式的第二实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻动特性 (其 1) 的坐标图。

[0073] 图 46 是表示利用本发明的第二实施方式的第二实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻动特性 (其 2) 的坐标图。

[0074] 图 47 是表示在本发明的第二实施方式的第二实施例中相对于不同的 α 值而 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带的表。

[0075] 图 48 是表示在本发明的第二实施方式的第二实施例中相对于不同的半径 r 值而 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带的表。

[0076] 图 49 是表示本发明的第二实施方式的第三实施例的电动机的一例的概略图。

[0077] 图 50 是表示半径为 1.2mm 的本发明的第二实施方式的第三实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线的集肤效应产生的高频电阻的坐标图。

[0078] 图 51 是表示半径为 1.2mm 的本发明的第二实施方式的第三实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线的邻近效应产生的高频损失 ($H_0=1A/mm$) 的坐标图。

[0079] 图 52 是表示利用本发明的第二实施方式的第三实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻静特性 (其 1) 的坐标图。

[0080] 图 53 是表示利用本发明的第二实施方式的第三实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻静特性（其 2）的坐标图。

[0081] 图 54 是表示利用本发明的第二实施方式的第三实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻动特性（其 1）的坐标图。

[0082] 图 55 是表示利用本发明的第二实施方式的第三实施例的 CCA 线、Al 线及比较例的 Cu 线卷绕的线圈的高频电阻动特性（其 2）的坐标图。

[0083] 图 56 是表示在本发明的第二实施方式的第三实施例中相对于不同的 α 值而 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带的表。

[0084] 图 57 是表示在本发明的第二实施方式的第三实施例中相对于不同的半径 r 值而 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带的表。

[0085] 图 58 中, 图 58(a) 是表示本发明的第三实施方式的电线的一例的剖视图。图 58(b) 是表示本发明的第三实施方式的电线的另一例的剖视图。

[0086] 图 59 是表示本发明的第三实施方式的黄铜线及 Cu 线中的频率与交流电阻的关系的坐标图。

[0087] 图 60 是表示分配本发明的第三实施方式的电线的材料及线径而测定的基准直流电阻及第二频率的表。

[0088] 图 61 是表示本发明的第三实施方式的基准直流电阻与第二频率的关系的坐标图。

[0089] 图 62 是表示黄铜绕组和铜绕组的损失的表。

[0090] 图 63 是表示本发明的第三实施方式的电线的设计装置的一例的概略图。

[0091] 图 64 是用于说明本发明的第三实施方式的电线的设计方法及制造方法的一例的流程图。

[0092] 图 65 是表示本发明的第四实施方式的高频电线的一例的剖视图。

[0093] 图 66 是表示比较例的 Cu 线的磁场强度分布的坐标图。

[0094] 图 67 是表示比较例的 Cu 线的电流密度分布的坐标图。

[0095] 图 68 是表示本发明的第四实施方式的高频电线的材料的体积电阻率的表。

[0096] 图 69 是表示比较例的 Cu 线的磁场强度分布的另一坐标图。

[0097] 图 70 是表示比较例的 Cu 线的损失分布的坐标图。

[0098] 图 71 是表示本发明的第四实施方式的硅青铜线的磁场强度分布的坐标图。

[0099] 图 72 是表示本发明的第四实施方式的硅青铜线的损失分布的坐标图。

[0100] 图 73 是表示本发明的第四实施方式的黄铜线的磁场强度分布的坐标图。

[0101] 图 74 是表示本发明的第四实施方式的黄铜线的损失分布的坐标图。

[0102] 图 75 是表示本发明的第四实施方式的磷青铜线的磁场强度分布的坐标图。

[0103] 图 76 是表示本发明的第四实施方式的磷青铜线的损失分布的坐标图。

[0104] 图 77 是表示本发明的第四实施方式的黄铜线、磷青铜线及硅青铜线和比较例的 Cu 线的频率与交流电阻（邻近效应成分）的关系的坐标图。

具体实施方式

[0105] 接下来, 参照附图, 说明本发明的实施方式。在以下的附图的记载中, 对于同一或

类似的部分标注同一或类似的符号。但是,附图是示意性的图,应注意的是,厚度与平面尺寸的关系、各层的厚度的比率等与现实的情况有所不同。因此,具体的厚度或尺寸应参考以下的说明进行判断。而且,在附图相互之间,当然包括相互的尺寸的关系或比率不同的部分。

[0106] 另外,以下所示的实施方式例示了用于将本发明的技术思想具体化的装置或方法,本发明的技术思想、结构部件的材质、形状、结构、配置等并未限定为下述的情况。本发明的技术思想在权利要求书的范围内能够施加各种变更。

[0107] (第一实施方式)

[0108] <电线的结构>

[0109] 本发明的第一实施方式的电线如图 1(a) 所示,是在特定的频带中使用的电线,具备由比铜的体积电阻率高的材料构成的导体部 11。在本发明的第一实施方式的电线中,以特定的频带处的导体部 11 的邻近效应产生的交流电阻相对于作为基准的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻的比小于 1 的方式,规定导体部 11 的体积电阻率。

[0110] 在此,“特定的频带”表示作为使用该电线(产品)的范围而规定(设定)的频带。“特定的频带”的上限值、下限值及范围根据各个产品的规格而适当设定,并未特别限定。“特定的频带”例如可以是几 kHz ~ 100kHz 左右、或 10kHz ~ 1MHz 左右,在 IH 烹调器的情况下,可以是 20kHz ~ 60kHz 左右。若是直接使用日本、美国、欧洲的商用电源频率的产品,则可以为 50Hz ~ 60Hz 左右。而且,“作为基准的 Cu 线”被预先规定(设定),既可以与导体部 11 为相同的线径,也可以为不同的线径。

[0111] 导体部 11 的直径优选为 0.05mm ~ 0.6mm 左右,但并未特别限定。作为导体部 11 的材料,可以使用黄铜、磷青铜、硅青铜、铜铍合金、及铜镍硅合金等铜合金。黄铜是包括铜(Cu)及锌(Zn)的合金(Cu-Zn),也可以包含铜和锌以外的少量的元素。硅青铜是包括铜、锡(Sn)及硅(Si)的合金(Cu-Sn-Si),也可以包括铜、锡及硅以外的少量的元素。磷青铜是包括铜、锡及磷(P)的合金(Cu-Sn-P),也可以包括铜、锡及磷以外的少量的元素。

[0112] 所述铜合金线例如进行了 1 原则退火处理,也可以进行锡、铜或铬(Cr)等的镀敷处理。而且,导体部 11 除了圆筒状之外,还可以具有平角状等的各种形状。

[0113] 另外,本发明的第一实施方式的电线如图 1(b) 所示,是 CCA 线,具备由铝(Al)或铝合金构成的中心导体 12 和覆盖中心导体 12 的由铜(Cu)构成的覆盖层 13 作为导体部 11。

[0114] CCA 线整体的直径优选为 0.05mm ~ 0.6mm 左右。覆盖层 13 的截面积相对于将中心导体 12 及覆盖层 13 相加的电线整体的截面积为 15% 以下,优选为 3% ~ 15% 左右,更优选为 3% ~ 10% 左右,进一步优选为 3% ~ 5% 左右。覆盖层 13 相对于电线整体的截面积之比越小,越能够减少交流电阻。作为中心导体 12,能够使用例如电气用铝(EC 铝)或 Al-Mg-Si 系合金(JIS6000 号段)的铝合金,但铝合金比 EC 铝的体积电阻率大,因此更优选。

[0115] 通常,变压器或电抗器等的绕组使用由聚氨脂、聚酯、聚酯酰亚胺、聚酰胺酰亚胺或聚酰亚胺等对 Cu 线进行绝缘覆盖而成的结构。在同轴线缆中,由于为高频电流信号而考察集肤效应特性,使用例如 CCA 线。

[0116] 如图 2 所示,在导体中,由于导体内的磁通而导体内流过涡流,该涡流作为集肤效应而使交流电阻增大。而且,如图 3 及图 4 所示,由于外部磁通而导体内流过涡流,该涡流

作为邻近效应而使交流电阻增大。

[0117] 设直流电阻成分为 R_{dc} , 集肤效应产生的交流电阻为 R_s , 邻近效应产生的交流电阻 (邻近效应成分) 为 R_p , 交流电阻 R_{ac} 由下式 (1) 表示。

$$[0118] \quad R_{ac} = (1+k_s)R_{dc} + R_p$$

$$[0119] \quad = R_s + R_p \cdots (1)$$

[0120] 在此, k_s 表示集肤效应系数。

[0121] 首先, 说明本发明的第一实施方式的集肤效应产生的交流电阻 R_s 的计算方法的一例。如图 5 所示, 考虑沿着 z 方向均匀分布的双层结构的圆筒状导线。将导线的内层、外层的导电率分别假定为 σ_1 、 σ_2 , 设电流沿着导线的 z 方向流动。

[0122] 在以下的定式化中, 各电磁场使用复数表现, 设时间因子为 $e^{j\omega t}$ 。其中, ω 表示角频率。

[0123] 由于电流, 生成电场的 z 方向分量 E_z , 这满足以下的波动方程式 (2)。

[0124] [数学式 1]

$$[0125] \quad \frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} - j\omega\mu_0\sigma E_z = 0 \quad \cdots (2)$$

[0126] 其中, μ_0 表示真空中的磁导率。而且, 磁场 H_θ 仅具有 θ 方向成分, 如下提供。

[0127] [数学式 2]

$$[0128] \quad H_\theta = \frac{1}{j\omega\mu_0} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad \cdots (3)$$

[0129] 在此,

[0130] [数学式 3]

$$[0131] \quad k_1^2 = -j\omega\mu_0\sigma_1 \quad \cdots (4)$$

$$[0132] \quad k_2^2 = -j\omega\mu_0\sigma_2 \quad \cdots (5)$$

[0133] 时, 波动方程式 (2) 的解可以如下得到。

[0134] [数学式 4]

$$[0135] \quad E_{z1} = A J_0(k_1 r), (r < b) \dots (6)$$

$$[0136] \quad E_{z2} = B J_0(k_2 r) + C M_0(k_2 r), (b \leq r \leq a) \dots (7)$$

[0137] 其中, $J_\nu(z)$ 表示第一种 Bessel 函数,

$$[0138] \quad M_\nu(z) \equiv \frac{1}{2} \pi j H_\nu^{(1)}(z)$$

$$[0139] \quad H_\nu^{(1)}$$

[0140] 表示第一种 Hankel 函数。

[0141] 根据 $r=b$ 且 E_z 、 H_θ 连续的边界条件,

[0142] [数学式 5]

$$[0143] \quad B = B_1 A \dots (8)$$

[0144] $C=C_1A \dots (9)$

[0145] 成立。其中，

[0146] [数学式 6]

$$[0147] \quad B_1 = \frac{J_0(k_1b)M_0'(k_2b) - \frac{k_1}{k_2}J_0'(k_1b)M_0(k_2b)}{J_0(k_2b)M_0'(k_2b) - J_0'(k_2b)M_0(k_2b)} \dots (10)$$

$$[0148] \quad C_1 = \frac{\frac{k_1}{k_2}J_0'(k_1b)J_0(k_2b) - J_0(k_1b)J_0'(k_2b)}{J_0(k_2b)M_0'(k_2b) - J_0'(k_2b)M_0(k_2b)} \dots (11)$$

[0149] 。在此，

$$J_0'(x) = dJ_0(x)/dx$$

[0150]

$$M_0'(x) = dM_0(x)/dx$$

[0151]

[0152] 另外，由式 (3)，能得到下式 (12)。

[0153] 根据

[0154] [数学式 7]

$$[0155] \quad H_\theta = \frac{k_2}{j\omega\mu_0} [BJ_0'(k_2r) + CM_0'(k_2r)]. \quad (b \leq r \leq a) \dots (12)$$

[0156] 由安培法则，流过导线的全电流 I 如下得到。

[0157] [数学式 8]

[0158]

$$I = \oint H_\theta|_{r=a} dl = 2\pi a H_\theta|_{r=a}$$

[0159]

$$= \frac{2\pi a k_2}{j\omega\mu_0} [BJ_0'(k_2a) + CM_0'(k_2a)] \dots (13)$$

[0160] 其中，

[0161] \oint

[0162] 表示沿横剖面上的导线的外周的线积分。将式 (8)、(9) 代入式 (13) 时，能得到下式 (14)。

[0163] [数学式 9]

$$[0164] \quad A = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{I}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \dots (14)$$

[0165] 另一方面，向图 6 所示的导线流入的功率流由 Poynting 矢量如下式 (15) 那样计算。

[0166] [数学式 10]

[0167]

$$\bar{P}_s = - \oint \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S} = - \frac{1}{2} \oint \mathbf{E} \times \mathbf{H}^* \cdot d\mathbf{S} = - \frac{1}{2} \oint (-\mathbf{a}_r) (E_z H_\theta^*)|_{r=a} \cdot \mathbf{a}_r dS$$

[0168]

$$= \pi a \cdot i \cdot (E_z H_\theta^*)|_{r=a} \quad \dots (15)$$

[0169] 在此,

[0170] \oint

[0171] 表示图 6 中的导线的圆筒状的表面积分,

[0172] dS

[0173] 表示朝向法线方向的矢量面素。

[0174] \mathbf{P} [0175] 是 Poynting 矢量, \mathbf{a}_r 是 r 方向的单位矢量。

[0176] 将式 (7)、(12) 代入式 (15) 时,能得到下式 (16)。

[0177] [数学式 11]

$$\bar{P}_s = \frac{j\omega\mu_0 l |I|^2}{4\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \quad \dots (16)$$

[0179] 在此,通过

$$\bar{P}_s = \frac{1}{2} (R + j\omega L) |I|^2$$

[0181] ,能得到下式 (17)。

[0182] [数学式 12]

$$R + j\omega L = \frac{j\omega\mu_0 l}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \quad \dots (17)$$

[0184] 因此,由集肤效应产生的每单位长度的交流电阻如下提供。

[0185] [数学式 13]

[0186]

$$R_s = \Re \left[\frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \right] \quad \dots (18)$$

[0187] 其中,

[0188]

 \Re
[0189] 表示实数部,设频率为 0 时的值是直流电阻 R_{dc} 。[0190] 在导线为单层结构时,通过 $\sigma_1 = \sigma_2$ 、式 (10) 及式 (11),

[0191] 成为

[0192] [数学式 14]

[0193] $B_1 = 1 \dots (19)$ [0194] $C_1 = 0 \dots (20)$

[0195] 成立,式 (18) 成为

[0196] [数学式 15]

[0197]

$$R_s = \Re \left[\frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{J_0(k_2 a)}{J_0'(k_2 a)} \right] \dots (21)$$

[0198] 接下来,说明本发明的第一实施方式的邻近效应成分 R_p 的计算方法的一例。如图 7 所示,设 x 方向的单位矢量为 a_x ,在导线的外部 x 方向的高频磁场 H_e 如下施加。

[0199] [数学式 16]

$$H_e = a_x H_0 \dots (22)$$

[0201] 在此,导入满足 $H = \nabla \times A$ 的磁动势

[0202] [数学式 17]

$$A = a_z A_z(r, \theta) \dots (23)$$

[0204] 时,外部势能

[0205] [数学式 18]

$$A_{ze} = H_0 r \sin \theta \dots (24)$$

[0207] 提供式 (22) 的磁场。

[0208] 磁动势满足如下的波动方程式 (25)。

[0209] [数学式 19]

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_z}{\partial \theta^2} - j\omega\mu_0\sigma A_z = 0 \dots (25)$$

[0211] 其中, μ_0 表示真空中的磁导率。

[0212] 式 (25) 的解能够如下得到。

[0213] [数学式 20]

$$A_{z1} = D J_1(k_1 r) \sin \theta, (r < b) \dots (26)$$

$$A_{z2} = [E J_1(k_2 r) + F M_1(k_2 r)] \sin \theta, (b \leq r \leq a) \dots (27)$$

$$A_{z3} = \left(G r + \frac{H}{r} \right) \sin \theta. (a < r) \dots (28)$$

[0217] 根据在各边界处磁场的切线成分 (H_θ) 与磁通密度的法线成分 ($\mu_0 H_r$) 连续的边界条件,而

[0218] [数学式 21]

$$D = \frac{2H_0}{k_2 [E_1 J_0(k_2 a) + F_1 M_0(k_2 a)]} \dots (29)$$

$$E = E_1 D \dots (30)$$

$$F = F_1 D \dots (31)$$

$$G = H_0 \dots (32)$$

$$[0223] \quad H = a^2 H_0 \frac{E_1 J_2(k_2 a) + F_1 M_2(k_2 a)}{E_1 J_0(k_2 a) + F_1 M_0(k_2 a)} \quad \dots (33)$$

[0224] 成立。其中，

[0225] [数学式 22]

$$[0226] \quad E_1 = \frac{J_1(k_1 b) M_1'(k_2 b) - \frac{k_1}{k_2} J_1'(k_1 b) M_1(k_2 b)}{J_1(k_2 b) M_1'(k_2 b) - J_1'(k_2 b) M_1(k_2 b)} \quad \dots (34)$$

$$[0227] \quad F_1 = \frac{\frac{k_1}{k_2} J_1'(k_1 b) J_1(k_2 b) - J_1(k_1 b) J_1'(k_2 b)}{J_1(k_2 b) M_1'(k_2 b) - J_1'(k_2 b) M_1(k_2 b)} \quad \dots (35)$$

[0228] 。在此，

$$[0229] \quad J_1'(x) = dJ_1(x)/dx$$

$$[0230] \quad M_1'(x) = dM_1(x)/dx$$

[0231] 另外，磁场 H_θ 如下得到。

[0232] [数学式 23]

$$[0233] \quad H_\theta = -k_2 [E J_1'(k_2 r) + F M_1'(k_2 r)] \sin \theta. \quad (b \leq r \leq a) \quad \dots (36)$$

[0234] 另外，电场 E_z 如下得到。

[0235] [数学式 24]

$$[0236] \quad E_z = \frac{k_2^2}{\sigma_2} [E J_1(k_2 r) + F M_1(k_2 r)] \sin \theta. \quad (b \leq r \leq a) \quad \dots (37)$$

[0237] 从图 8 所示的导线表面进入导线内部的功率流如下式 (38) 那样计算。

[0238] [数学式 25]

[0239]

$$\bar{P}_p = - \oint \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{2} a l \int_0^{2\pi} E_z H_\theta^* |_{r=a} d\theta \quad \dots (38)$$

[0240] 其中，

[0241] \mathbf{P}

[0242] 表示 Poynting 矢量，

[0243] \oint

[0244] 表示图 8 的导线表面的面积量。

[0245] 将式 (36)、(37) 向式 (38) 代入时，得到下式 (39)。

[0246] [数学式 26]

$$[0247] \quad \bar{P}_p = -\frac{2\pi l k_2 a T Q^*}{\sigma_2 |R|^2} |H_0|^2 \dots (39)$$

[0248] 其中,

[0249] [数学式 27]

$$[0250] \quad T = E_1 J_1(k_2 a) + F_1 M_1(k_2 a) \dots (40)$$

$$[0251] \quad Q = E_1 J'_1(k_2 a) + F_1 M'_1(k_2 a) \dots$$

$$[0252] \quad R = E_1 J_0(k_2 a) + F_1 M_0(k_2 a) \dots (42)$$

[0253] 。导线的损失 P_L 如下求出。

[0254] [数学式 28]

[0255]

$$P_L = \Re[\bar{P}_p] = -\frac{2\pi l}{\sigma_2} |H_0|^2 \Re \left[k_2 a \frac{T Q^*}{|R|^2} \right] \dots (43)$$

[0256] 在导线为单层结构时,通过 $\sigma_1 = \sigma_2$ 、式 (34) 及式 (35),而成为

[0257] [数学式 29]

$$[0258] \quad E_1 = 1 \dots (44)$$

$$[0259] \quad F_1 = 0 \dots (45)$$

[0260] ,式 (43) 成为下式 (46)。

[0261] [数学式 30]

[0262]

$$P_L = \Re[\bar{P}_p] = -\frac{2\pi l}{\sigma_2} |H_0|^2 \Re \left[k_2 a \frac{J_1(k_2 a) J'_1(k_2 a)}{|J_0(k_2 a)|^2} \right] \dots (46)$$

[0263] 如变压器、电抗器等那样,利用一条导线来卷绕线圈等时,外部磁场由在导线中流动的电流产生。这种情况下,如下式 (47) 那样,外部磁场的强度 $|H_0|$ 与电流的大小 $|I|$ 成比例。

[0264] [数学式 31]

$$[0265] \quad |H_0| = \alpha |I| \dots (47)$$

[0266] 其中, α 为比例系数,依赖于导线的卷绕方式。通过将其向式 (43) 代入,由邻近效应产生的每单位长度的电阻 R_p 如下提供。

[0267] [数学式 32]

[0268]

$$R_p = \frac{2P_L}{|I|^2 l} = -\frac{4\pi}{\sigma_2} \alpha^2 \Re \left[k_2 a \frac{T Q^*}{|R|^2} \right] \dots (48)$$

[0269] 如图 9 所示,本发明的第一实施方式的黄铜线、磷青铜线、硅青铜线及比较例的 Cu 线的外部磁场强度 H 为 1 (A/mm) 的邻近效应产生的交流电阻使用上式 (48) 通过计算求出。从图 9 可知,在规定的频带中,黄铜线、磷青铜线、硅青铜线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻减小。

[0270] 如图 10 所示,关于本发明的第一实施方式的黄铜线及比较例的 Cu 线,使用 55 根

直径 0.4mm、长度 6.6m 的线材，以 17 圈形成绞合线结构，制作 IH 烹调器用的磁场产生线圈，对于它们进行了特性确认试验。试验结果如图 11 及图 12 所示。可知，IH 烹调器通常使用 20kHz ~ 60kHz 左右的高频电流，但在包含 20kHz ~ 60kHz 左右的频带中，黄铜线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小。

[0271] 如图 13 所示，分别具有 0.4mm 的线径的黄铜线及作为比较例的 Cu 线的外部磁场强度 H 为 1A/mm 的交流电阻使用上式 (1)、(18) 及 (48) 通过计算求出。如图 13 所示可知，黄铜线在被规定为第一频率 f_1 及第二频率 f_2 之间的频带中，与具有相同线径的 Cu 线相比，交流电阻减小。即，在比第一频率 f_1 低的低频侧，黄铜线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻大。在第一频率 f_1 处，黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致，在比第一频率 f_1 高的高频侧，涡流损耗为支配性的，因此黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻的大小反转。在从第一频率 f_1 到第二频率 f_2 的频带中，Cu 线的交流电阻比黄铜线的交流电阻大。在第二频率 f_2 处，黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻再次一致，在比第二频率 f_2 高的高频侧，黄铜线的邻近效应的影响比 Cu 线大，黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻的大小反转。

[0272] 图 14 表示直径 0.4mm 的黄铜线的外部磁场强度 H 为 1A/mm 的集肤效应成分 R_s 与直流电阻 R_{dc} 之和及邻近效应成分 R_p 的计算结果。直流电阻 R_{dc} 是在式 (1) 中设频率为 0 时的值。如图 9、图 11 ~ 图 13 所示，尽管黄铜线等具有比铜高的体积电阻率，但在规定的频带中，成为比 Cu 线低的交流电阻，这一现象的理由是因为存在如图 14 所示交流电阻较大地依赖于邻近效应且当体积电阻率高时邻近效应减小的频带。

[0273] 图 15 表示对于各导体材料，100kHz、外部磁场强度 H 为 1A/mm 的邻近效应产生的交流电阻与作为基准的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻之比 (R_p 比) 使用上式 (48) 计算的结果。在图 15 中，作为导体材料，以如下材料为对象：图 1(a) 所示的导体部 11 为铜线 (Cu 线)，图 1(b) 所示的中心导体 12 由铝构成，覆盖层 13 的截面积为电线整体的截面积的 5% (5%CCA)，图 1(b) 所示的中心导体 12 由铝构成，覆盖层 13 的截面积为电线整体的截面积的 10% (10%CCA)，图 1(b) 所示的中心导体 12 由铝构成，覆盖层 13 的截面积为电线整体的截面积的 15% (15%CCA)，图 1(b) 所示的中心导体 12 由合金铝构成，覆盖层 13 的截面积为电线整体的截面积的 5% (5%CCA (合金 Al))，以及图 1(a) 所示的导体部 11 分别由黄铜、硅青铜及磷青铜构成。关于 CCA 线的体积电阻率，设为以双层的截面积比而换算求出的等价体积电阻率。从图 15 可知，除了线径与 Cu 线的线径相同的情况之外，当线径比 Cu 线大时也存在 R_p 比小于 1 的条件。

[0274] 因此，在本发明的第一实施方式中，着眼于该 R_p 比。即，在本发明的第一实施方式的电线中，在使用电线的特定的频率处，以图 1(a) 及图 1(b) 所示的导体部 11 的邻近效应产生的交流电阻相对于作为基准的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻之比 (R_p 比) 小于 1 的方式，规定导体部 11 的体积电阻率。作为基准的 Cu 线既可以与图 1(a) 及图 1(b) 所示的导体部 11 为相同线径，也可以为不同的线径，能够适当设定。

[0275] 根据本发明的第一实施方式的电线，在特定的频带中使用时，与作为基准的 Cu 线相比，能够使交流电阻为同等或减少。

[0276] < 电线的设计装置 >

[0277] 如图 16 所示，本发明的第一实施方式的电线的设计装置具备中央处理装置 (CPU) 110、存储装置 111、输入装置 112 及输出装置 113。

[0278] CPU110 逻辑性地具备电阻计算部 101、比计算部 102 及判定部 103 作为硬件资源即模块（逻辑电路）。

[0279] 电阻计算部 101 从存储装置 111 读出作为能够制作的电线的候补的包含导体部 11 的材料、形状及线径等的线种类的信息、及使用电线的特定的频带，使用上式 (48)，计算特定的频带的作为电线的候补的导体部 11 的邻近效应产生的交流电阻值。而且，电阻计算部 101 从存储装置 111 读出与使用电线的特定的频带及作为基准的 Cu 线相关的信息，使用上式 (48)，计算特定的频带的作为基准的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值。导体部 11 及 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值可以在特定的频带的范围内的多个频率处进行计算，只要在特定的频带的范围内的至少一个频率（例如，特定的频带的上限值）处进行计算即可。而且，作为基准的 Cu 线既可以与作为候补的导体部 11 为相同线径，也可以为不同线径，能够适当设定。

[0280] 比计算部 102 基于通过电阻计算部 101 计算出的导体部 11 及 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值，计算作为候补的导体部 11 的邻近效应产生的交流电阻值相对于同一频率的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值之比 (R_p 比)。

[0281] 判定部 103 基于由比计算部 102 计算出的 R_p 比，判定候补是否能够适用于电线。例如，判定部 103 判定 R_p 比是否小于 1，在判定为 R_p 比小于 1 时，判定为能够将候补适用于电线。

[0282] 存储装置 111 保存与求出邻近效应产生的交流电阻的式 (48) 相关的信息、多个作为候补的导体部 11 的信息、在适用电线的各设备中使用的特定的频带、通过电阻计算部 101 计算的导体部 11 及 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值、通过比计算部 102 计算的 R_p 比、以及判定部 103 产生的判定结果等。

[0283] 作为存储装置 111，可以采用例如半导体存储器、磁盘或光盘等。存储装置 111 能够作为对在 CPU110 中执行的程序进行存储的存储装置等发挥功能（程序的详细情况在后面叙述）。存储装置 111 也能够作为暂时存储在 CPU110 的程序执行处理中利用的数据等、或作为作业区域而利用的暂时性的数据存储器等发挥功能。

[0284] 作为输入装置 112，可以使用例如触摸面板、键盘、鼠标、OCR 等识别装置、或扫描仪、相机等图像输入装置、或麦克风等声音输入装置等。作为输出装置 113，可以使用液晶显示器 (LCD)、有机场致发光 (EL) 显示器、CRT 显示器等显示装置、或喷墨打印机、激光打印机等印刷装置等。

[0285] < 高频电线的制造方法 >

[0286] 使用图 17 的流程图，说明包括使用了本发明的第一实施方式的电线的设计装置的设计方法在内的高频电线的制造方法的一例。需要说明的是，在此对 CCA 线的制造方法进行说明，当然并未特别限定。

[0287] (1) 在步骤 S101 中，电阻计算部 101 从存储装置 111 读出与作为电线的候补的导体部 11 相关的信息、及使用电线的特定的频带，使用上式 (48)，计算特定的频带的导体部 11 的邻近效应产生的交流电阻值。而且，电阻计算部 101 使用上式 (48)，计算作为基准的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值。计算的导体部 11 及 Cu 的邻近效应产生的交流电阻值存储在存储装置 111 中。需要说明的是，导体部 11 及 Cu 的邻近效应产生的交流电阻值既可以预先存储在存储装置 111 中，也可以从输入装置 112 输入。而且，导体部 11 及 Cu 的邻

近效应产生的交流电阻值也可以取代使用理论式进行计算的情况而进行实测。

[0288] (2) 在步骤 S102 中, 比计算部 102 基于通过电阻计算部 101 计算的导体部 11 及 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值, 计算导体部 11 的邻近效应产生的交流电阻值相对于 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻值之比 (R_p 比)。

[0289] (3) 在步骤 S103 中, 判定部 103 判定通过比计算部 102 计算的 R_p 比是否小于 1。其结果是, 在 R_p 比小于 1 时, 判定为能够将候补适用于电线。判定结果存储在存储装置 111 中。

[0290] (4) 在步骤 S104 中, 利用通过判定部 103 判定为能够适用的候补的材料、形状及线径等来制造电线。例如 CCA 线的情况下, 准备由直径 9.5mm ~ 12.0mm 左右的铝或铝合金构成的中心导体 12。在中心导体 12 的表面, 将 0.1mm ~ 0.4mm 左右的厚度的铜带以纵添方式添加并同时 TIG 焊接或等离子焊接等, 由此向中心导体 12 的表面覆盖覆盖层 13。接下来, 将覆盖了覆盖层 13 的中心导体 12 通过表皮光轧成形为直径 9.3mm ~ 12.3mm 左右, 由此制作出由覆盖有覆盖层 13 的中心导体 12 构成的母材。接下来, 使母材通过 25 ~ 26 通路程度的多段的拉丝模而进行拉丝。通过穿过多段的拉丝模, 最终使电线的直径成为与决定的线径相同的线径。

[0291] 根据包括使用了本发明的第一实施方式的电线的设计装置的设计方法在内的高频电线的制造方法, 基于使用求出邻近效应产生的交流电阻的式 (48) 而计算的 R_p 比, 能够决定线种类。其结果是, 能够对应于使用高频电线的特定的频带, 设计出与作为基准的 Cu 线相比, 涡流产生的损失小且能够减少交流电阻的高频电线的线径。

[0292] 需要说明的是, 可以在图 17 所示的步骤 S102 中, 对于多个候补, 分别计算邻近效应产生的交流电阻值, 在步骤 S102 中, 按照多个候补分别计算 R_p 比, 在步骤 S103 中, 判定是否能够分别适用多个候补。在步骤 S104 中, 在能够适用的候补存在多个时, 只要适当地选择其中的一个候补的线种类即可。

[0293] < 电线设计程序 >

[0294] 图 17 所示的一连串的步骤, 即: (1) 分别计算特定的频带的作为电线的候补的导体部 11 的邻近效应产生的交流电阻、及特定的频带的作为基准的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻的步骤; (2) 计算导体部的邻近效应产生的交流电阻相对于作为基准的 Cu 线的邻近效应产生的交流电阻之比的步骤; (3) 基于比判定是否能够将候补适用于电线的步骤等, 能够通过图 17 等价的算法的程序, 对图 16 所示的电线的设计装置进行控制而执行。

[0295] 该程序只要存储在构成本发明的电线的设计装置的计算机系统的存储装置 111 中即可。而且, 该程序保存在计算机能够读取的记录介质, 通过将记录介质向存储装置 111 等读入, 而能够执行本发明的第一实施方式的一连串的步骤。

[0296] 在此, “计算机能够读取的记录介质”是指例如半导体存储器、磁盘、光盘等能够记录程序那样的介质等。例如, 电线的设计装置的主体能够对记录介质的读取装置进行内置或外部连接。而且, 可以经由无线通信网等信息处理网络, 而存储在该存储装置 111 中。

[0297] (第二实施方式)

[0298] < 电线的结构 >

[0299] 本发明的第二实施方式的电线是在特定的频带中使用的电线, 如图 18 所示, 是 CCA 线, 具备由铝 (Al) 或铝合金构成的中心导体 21 和覆盖中心导体 21 的由铜 (Cu) 构成的

覆盖层 22。本发明的第二实施方式的电线被规定在电线的交流电阻和具有与电线相同线径的 Cu 线的交流电阻分别一致的第一频率及第二频率之间,且特定的频带限制在电线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小的频带内。

[0300] 电线整体的直径优选为 0.05mm ~ 0.6mm 左右。覆盖层 22 的截面积相对于将中心导体 21 及覆盖层 22 相加的电线整体的截面积为 15% 以下,优选为 3% ~ 15% 左右,更优选为 3% ~ 10% 左右,进一步优选为 3% ~ 5% 左右。覆盖层 22 相对于电线整体的截面积的比越小,越能够减少高频电阻。

[0301] 作为中心导体 21,可以使用例如电气用铝(EC 铝)或 Al-Mg-Si 系合金(JIS6000 号段)的铝合金,但铝合金比 EC 铝的体积电阻率大,因此更优选。

[0302] 使用上述的理论式进行模拟,通过计算求出本发明的第二实施方式的 CCA 线的交流电阻及 Cu 线的交流电阻。其结果是发现了如下特性:CCA 线在特定的频带中,通过邻近效应,与具有相同线径的 Cu 线相比,涡流损耗减小,结果是交流电阻减小。

[0303] 图 19 对于具有 1.8mm、0.4mm、0.2mm 的线径的 CCA 线及 Cu 线,表示频率与交流电阻的关系。在分别具有 1.8mm 的线径的 Cu 线及 CCA 线的情况下,在比 1kHz 左右的第一频率 f_{11} (图示省略)低的低频侧,CCA 线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻大。在第一频率 f_{11} 处,CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致,在比第一频率 f_{11} 高的高频侧,涡流损耗为支配性,CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻的大小反转。在从第一频率 f_{11} 到 10kHz 左右的第二频率 f_{12} 为止的频带 B1 中,Cu 线的交流电阻比 CCA 线的交流电阻大。在第二频率 f_{12} 处,CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻再次一致,在比第二频率 f_{12} 高的高频侧,CCA 线的邻近效应的影响比 Cu 线增大,CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻的大小反转。

[0304] 在分别具有 0.4mm 的线径的 Cu 线及 CCA 线的情况下,在第一频率 f_{21} 及第二频率 f_{22} 处,CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致,在第一频率 f_{21} 与第二频率 f_{22} 之间的频带 B2 中,Cu 线的交流电阻比 CCA 线的交流电阻大。

[0305] 在分别具有 0.2mm 的线径的 Cu 线及 CCA 线的情况下,在第一频率 f_{31} 及第二频率 f_{32} 处,CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致,在第一频率 f_{31} 与第二频率 f_{32} 之间的频带 B3 中,Cu 线的交流电阻比 CCA 线的交流电阻大。

[0306] 另外,如图 19 所示,发现了如下特性:随着将 CCA 线及 Cu 线的线径减细为 1.8mm、0.4mm、0.2mm,而第一频率 f_{11} 及第二频率 f_{12} 向高频侧移动,结果是被规定在第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 之间的频带 B1、B2、B3 向高频侧移动。即便磁场的强度增加,第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 也几乎不变,但第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 向低频侧移动。

[0307] 另外,在内置于开关电源的高频变压器的绕组中,如图 20 所示,相当歪斜的波形的电流流过。这是因为如图 21 所示,交流电流的频率除了基本波的频率(基准频率)之外,还含有较多的高次的高次谐波成分。因此,由高频变压器产生的损失(铜损)成为直流成分、基准频率及高次的高次谐波成分之和。例如图 22 所示,本发明的第二实施方式的直径 0.2mm 的 CCA 绕组的损失为 8.0W,比较例的直径 0.6mm 的铜绕组的损失为 14.5W。

[0308] 由此,优选作为对于 CCA 线而使用的交流电流的频带,以从基准频率到高次的高次谐波成分为止限制在由第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 规定的频带 B1、B2、B3 内的方式,设计 CCA 线的线径、材料及截面积比等。将高次的高次谐波成分考虑到何种程度只要根据 CCA 线的用途而适当决定即可。例如,既可以考虑从基准频率到 10 次的高

次谐波成分,也可以考虑从基准频率到 20 次的高次谐波成分。

[0309] 根据本发明的第二实施方式的 CCA 线材,在特定的频带中使用时,与具有相同线径的 Cu 线相比,能够使涡流产生的损失为同等或减小,从而能够减少交流电阻。

[0310] < 电线的设计装置 >

[0311] 如图 23 所示,本发明的第二实施方式的电线的设计装置具备中央处理装置 (CPU) 210、存储装置 211、输入装置 212 及输出装置 213。

[0312] CPU210 逻辑性地具备交流电阻计算部 201、频率提取部 202 及线径提取部 203 作为硬件资源即模块 (逻辑电路)。

[0313] 交流电阻计算部 201 从存储装置 211 读出为了计算作为对象的 CCA 线及 Cu 线的交流电阻所需的信息,如图 19 所示,根据多个频率,按照多个线径,计算 CCA 线的交流电阻及具有与 CCA 线相同的线径的 Cu 线的交流电阻。

[0314] 频率提取部 202 基于通过交流电阻计算部 201 计算的 CCA 线的交流电阻及具有与 CCA 线相同的线径的 Cu 线的交流电阻,如图 19 所示,按照多个线径,提取 CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致且相互之间的 CCA 线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} (f_{11} 图示省略)。

[0315] 在此,作为第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 提取的频率也可以不是 CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻严格一致的点。例如,可以提取 CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻的大小即将调换之前 (低频侧) 或刚调换之后 (高频侧) 的频率,也可以根据 CCA 线的交流电阻及 Cu 线的交流电阻的计算结果而求出各自的近似曲线,并提取这些近似曲线交叉的频率。

[0316] 线径提取部 203 从存储装置 211 读出使用 CCA 线的特定的频带,基于通过频率提取部 202 提取的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} ,提取多个线径中的、被规定在提取的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 之间的频带 B1、B2、B3 限制在使用 CCA 线的特定的频带内那样的第一频率及第二频率所对应的 CCA 线的线径 (例如第一频率 f_{21} 及第二频率 f_{22} 所对应的线径 0.4mm)。作为使用 CCA 线的特定的频带,例如,可以包含图 21 所示的基准频率及 10 次以下的高次谐波频率,也可以包含基准频率及 20 次以下的高次谐波频率。

[0317] 图 23 所示的存储装置 211 保存为了计算具有各种线径的 CCA 线及 Cu 线的交流电阻所需的信息、使用各 CCA 线的特定的频带、通过交流电阻计算部 201 计算的交流电阻、通过频率提取部 202 提取的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 、以及通过线径提取部 203 提取的 CCA 线的线径。作为存储装置 211,可以采用例如半导体存储器、磁盘或光盘等。存储装置 211 能够作为对在 CPU210 中执行的程序进行存储的程序存储装置等而发挥功能 (程序的详细情况在后面叙述)。存储装置 211 也能够作为暂时存储在 CPU210 的程序执行处理中利用的数据等,或作为作业区域而利用的暂时性的数据存储器等而发挥功能。

[0318] 作为图 23 所示的输入装置 212,可以使用例如触摸面板、键盘、鼠标、OCR 等识别装置、或扫描仪、相机等图像输入装置、或麦克风等声音输入装置等。作为输出装置 213,可以使用液晶显示器 (LCD)、有机场致发光 (EL) 显示器、CRT 显示器等显示装置、或喷墨打印机,激光打印机等印刷装置等。

[0319] <CCA 线的制造方法>

[0320] 使用图 24 的流程图,说明包括使用了本发明的第二实施方式的电线的设计装置的电线的设计方法在内的 CCA 线材的制造方法的一例。

[0321] (1) 在步骤 S201 中,交流电阻计算部 201 按照多个频率,按照多个线径,计算 CCA 线的交流电阻及具有与 CCA 线相同的线径的 Cu 线的交流电阻。该计算结果保存在存储装置 211 中。作为计算对象的 CCA 线的材料及截面积比等能够适当设定。需要说明的是,CCA 线的交流电阻及 Cu 线的交流电阻也可以取代计算而进行实测。

[0322] (2) 在步骤 S202 中,如图 19 所示,频率提取部 202 按照多个线径,提取 CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致且相互之间的 CCA 线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} (f_{11} 图示省略)。作为计算对象的线径的范围及频率的范围在作为 CCA 线能够使用的范围内能够适当设定。该提取的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 保存在存储装置 211 中。

[0323] (3) 在步骤 S203 中,线径提取部 203 提取多个线径中的、被规定在提取的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 之间的频带 B1、B2、B3 限制在使用 CCA 线的特定的频带内那样的第一频率及第二频率所对应的 CCA 线的线径(例如第一频率 f_{11} 及第二频率 f_{12} 所对应的线径 1.8mm)。该提取的线径保存在存储装置 211 中。

[0324] (4) 在步骤 S204 中,制造出具有保存在存储装置 211 内的线径的 CCA 线材。即,准备直径 9.5mm ~ 12.0mm 左右的由铝或铝合金构成的中心导体 21。向中心导体 21 的表面将 0.1mm ~ 0.4mm 左右的厚度的铜带以纵添方式添加并同时 TIG 焊接或等离子焊接等,由此向中心导体 21 的表面覆盖覆盖层 22。接着,将覆盖有覆盖层 22 的中心导体 21 通过表皮光轧成形为直径 9.3mm ~ 12.3mm 左右,由此制作出由覆盖有覆盖层 22 的中心导体 21 构成的母材。接下来,使母材通过 25 ~ 26 通路程度的多段的拉丝模而进行拉丝。通过穿过多段的拉丝模,最终将电线的直径形成为与保存于存储装置 211 的线径相同的线径。

[0325] 根据包括使用了本发明的第二实施方式的电线的设计装置的设计方法的 CCA 线材的制造方法,对应于使用 CCA 线的特定的频带,能够设计出与相同线径的 Cu 线相比使涡流产生的损失为同等或减小而能够减少交流电阻的 CCA 线的线径。

[0326] <设计程序>

[0327] 图 24 所示的一连串的步骤,即:(1) 对应于多个频率,按照多个线径,计算 CCA 线的交流电阻及具有与 CCA 线相同的线径的 Cu 线的交流电阻的步骤;(2) 按照多个线径,提取 CCA 线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致且相互之间的 CCA 线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻减小的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 的步骤;及(3) 提取多个线径中的、被规定在提取的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 之间的频带 B1、B2、B3 限制在使用 CCA 线的特定的频带内那样的第一频率 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} 及第二频率 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} 所对应的线径的步骤等;能够通过图 24 等价的算法的程序,控制图 23 所示的电线的设计装置而执行。

[0328] 该程序只要存储在构成本发明的电线的设计装置的计算机系统的存储装置 211 中即可。而且,该程序保存在计算机能够读取的记录介质中,通过将记录介质向存储装置 211 等读入,而能够执行本发明的第二实施方式的一连串的步骤。

[0329] 在此,“计算机能够读取的记录介质”表示例如半导体存储器、磁盘、光盘等能够记

录程序的介质等。例如,电线的设计装置的主体能够对记录介质的读取装置进行内置或外部连接。而且,经由无线通信网等信息处理网络,能够存储在该存储装置 211 中。

[0330] < 电动机 >

[0331] 接下来,说明本发明的第二实施方式的电动机。使用逆变器装置等来调整转速或转矩的电动机为高效率,在铁道车辆或电力机动车的驱动、家电领域中用于逆变器空调装置等大范围领域中。

[0332] 电动机的线圈通过将导线多重卷绕而构成。在电动机中,铜 (Cu) 的电阻率比铝 (Al) 低且能够焊接,因此以往的线圈通常使用 Cu 线。

[0333] 然而,这种电动机的转速可变,多在高转速下使用。电动机的驱动电流对应于转速而频率变高。而且,逆变器装置通过对直流电压适当地进行接通/切断控制而产生高频率。因此,驱动电流中,除了基本频率成分之外,还具有比其更高的高频成分。

[0334] 随着频率升高,通过集肤效应和邻近效应,线圈的电阻升高。集肤效应产生的电阻始终是 Al 线比 Cu 线大,但邻近效应产生的电阻有时 Cu 线比 Al 线大。因此,在利用 Cu 线来卷绕线圈时,有时由于邻近效应而高频电阻增大,由此引起的损失增大。尤其是在工作频率升高的情况下或使用逆变器装置进行驱动的情况下等,该损失变得显著。

[0335] 在此,线圈具有各种形状,当形状不同时,导线的高频电阻的集肤效应与邻近效应的比例不同。集肤效应根据构成线圈的导线的剖面形状和导线的根数及导线的长度来决定,但邻近效应也依赖于线圈的卷绕方式。在导线接近地卷绕或匝数多时,邻近效应增强。构成线圈的导线的每单位长度的高频电阻可以如下式 (49) 那样表示。

$$[0336] \quad R_{ac} = R_s + \alpha^2 P_p \dots (49)$$

[0337] 其中, R_s (单位为 Ω/m) 是集肤效应产生的每单位长度的高频电阻, P_p (单位为 $\Omega \cdot m$) 是邻近效应产生的每单位长度的高频损失, α (单位为 $1/m$) 是依赖于线圈的的形状的形状因子 (结构因子)。 α 是基本不依赖于频率的常数,随着线圈的绕组紧密地卷绕而增大,而且随着卷绕的导线变长而增大。虽然 α 依赖于需要的电动机的输出等,但进行变化。

[0338] R_s 和 P_p 分别由下式 (50)、(51) 提供。

[0339] [数学式 33]

[0340]

$$R_s = \Re \left[\frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \right] \dots (50)$$

[0341]

$$P_p = -\frac{4\pi}{\sigma_2} \Re \left[k_2 a \frac{TQ^*}{|R|^2} \right] \dots (51)$$

[0342] < 第一实施例 >

[0343] 如图 25 所示,本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机 (三相交流同步马达) 具备:呈圆心状配置的多个铁心 221;由 Al 线或 CCA 线构成的电线 222 卷绕在多个铁心 221 上而成的多个线圈 223;通过对多个线圈 223 施加电流而旋转的转子 224。通过多个铁心 221、多个线圈 223 及线圈保持部 20 等构成定子。

[0344] 本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机是 12 线圈,线圈保持部 20 的内径

a 为 150mm, 线圈保持部 20 的外径 b 为 200mm, 铁心 221 的长度 h 为 40mm, 铁心 221 的外周侧的一端的直径 e 为 30mm, 铁心 221 的另一端的直径 f 为 20mm。各极利用半径 r 为 0.8mm 的电线 222 呈圆筒状地向铁芯 21 卷绕 10 次, 全长 l 约为 3.1m。在图 25 中, 仅示出了 u 相的线圈 223, 但省略了图示的 v 相及 w 相的线圈也具有与线圈 223 同样的结构。

[0345] 转子 224 由永久磁铁构成。转子 224 由向线圈 223 施加的交流电流产生的周围的旋转磁场所吸引而旋转。

[0346] 本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机使用可变电电压可变频率 (VVVF) 型的逆变器装置, 利用逆变器方式来调整驱动电流的频率, 由此控制电动机的转速。逆变器装置例如是使用了 6 个开关元件的三相输出逆变器, 使用开关元件而近似性地产生三相交流。

[0347] 在此, 向线圈 223 施加的交流电流的频率由逆变器方式控制, 以将该频率限制在线圈 223 的交流电阻比利用具有与线圈 223 相同形状的 Cu 线卷绕的线圈的交流电阻小的第一频率及比该第一频率高的第二频率之间。

[0348] 另外, 驱动电流具有例如振幅具有基本频率成分的 1/3 以上的高频成分, 且具有功率具有基本频率成分的 1/9 以上的高频成分。

[0349] 图 26 及图 27 表示在图 25 所示的电动机中, 工作频率分别为 20Hz 和 50Hz 时的电流波形。图 28 将图 27 的时间轴延长至 2.5 倍而使其与图 26 重叠。根据图 26, 电流具有 0.05 的基本周期, 使用切去可变电电压而产生高频的逆变器方式, 因此正弦波波形存在多个急剧变化的部位。在图 27 中, 基本周期成为 0.02s, 但从图 28 可知, 正弦波波形的结构不依赖于频率而大致恒定。

[0350] 图 29 表示图 26 的频谱。如图 29 所示可知, 除了 20Hz 的基本频率之外, 还具有多个高频成分。由于所述高频成分的存在而高频电阻升高, 邻近效应产生的损失变得更为显著。

[0351] 作为比较例, 利用半径 r 为 0.8mm 且长度 l 为 3.1m 的 Cu 线卷绕线圈时的集肤效应产生的每单位长度的高频电阻 R_s 如图 30 所示, 外部磁场 H_0 为 $H_0=1A/mm$ 时的邻近效应产生的每单位长度的损失 P_p 如图 31 所示。

[0352] 另外, 利用相同的 Cu 线卷绕的线圈呈现图 32 所示的高频电阻的静特性。在此, 静特性是指正弦波的电流流过电动机时的特性。这种情况下, 式 (49) 的结构因子 α 为 $\alpha=3.9mm^{-1}$ 。

[0353] 另一方面, 在图 26 的驱动电流的情况下, 线圈的高频电阻根据图 29 的波谱, 如下式 (52) 那样计算。

[0354] [数学式 34]

$$[0355] \quad R_{ac}^d = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} I^2(\omega_n) R_{ac}(\omega_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} I^2(\omega_n)}, \quad \omega_n = 2\pi f_n \quad \dots (52)$$

[0356] 其中, f_n 是 n 次高频成分的频率。

[0357] 图 26 的驱动电流由逆变器装置产生, 假定为即使频率发生变化而构成正弦波的波形也不相对变化, 当利用式 (52) 计算线圈的高频电阻的动特性时, 能得到图 33 所示的计算结果。在此, 动特性是指图 26 那样的周期性驱动电流流过电动机时的特性。此时的基本频率为驱动电流的周期的倒数。从图 33 可知, 动特性 (dynamic) 与静特性 (static) 相比,

显著增大。

[0358] 另一方面,作为本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机,卷绕线圈 223 的电线 222 使用相同的直径的材料,如图 18 所示,具备由铝 (Al) 或铝合金构成的中心导体 21 和覆盖中心导体 21 的由铜 (Cu) 构成的覆盖层 22,使用了覆盖层 22 的截面积为高频电线整体的截面积的 5% 的 CCA 线(以下,称为“5%CCA 线”)($b=0.78\text{mm}$, $a=0.8\text{mm}$)和 Al 线时的静特性如图 34 及图 35 所示。从图 34 及图 35 可知,在频率 f 为 $0.9\text{kHz} \leq f \leq 27\text{kHz}$ 的范围内,CCA 线和 Al 线的电阻比 Cu 线小。

[0359] 利用相同的 CCA 线和 Al 线卷绕的线圈的高频电阻的动特性如图 36 及图 37 所示。从图 36 及图 37 可知,在频率 f 为 $65\text{Hz} \leq f \leq 1173\text{Hz}$ 的范围内,CCA 线和 Al 线的电阻比 Cu 线小。这种情况下,设第一频率为 65Hz,第二频率为 1173Hz,在 $65\text{Hz} \leq f \leq 1173\text{Hz}$ 的范围内,对驱动电流的频率进行控制,由此能够得到与 Cu 线同等或比 Cu 线小的高频电阻。CCA 线及 Al 线分别成为与 Cu 线同等或比 Cu 线小的高频电阻的第一频率及第二频率既可以基于线圈 223 的形状,使用式 (49) ~ (52) 等来计算求出,也可以实测求出。

[0360] 在本发明的第二实施方式的第一实施例中,说明了具有圆形剖面的电线 222,但电线 222 的剖面形状也可以是扁平、长方形,若截面积为 2.0mm^2 ,则在 CCA 线时能起到同样的效果。而且,在使用的电动机的绕组的密度或导线的长度发生变化时,即使 α 变化为 $2.2\text{mm}^{-1} \leq \alpha \leq 5.5\text{mm}^{-1}$ 的情况下也能起到同样的效果。

[0361] 图 38 表示在利用相同形状的导线卷绕的线圈中,相对于不同的 α 值的 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带。可知随着 α 增大(例如随着导线紧密或较多地卷绕),CCA 线有利的频带变宽。

[0362] 图 39 表示相对于同一 $\alpha=3.9\text{mm}^{-1}$,相对于具有不同半径 r 的导线的 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带。可知线径越粗,低频下 CCA 线越有利。

[0363] 如此,根据本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机,使用比 Cu 线的导电率低的 Al 线或 CCA 线,通过逆变器方式将驱动电流的频率控制在第一频率及第二频率之间,由此能够使高频电阻与 Cu 线同等或比 Cu 线下降,从而能够减少电动机的损失。

[0364] 此外,由于铝 (Al) 比铜 (Cu) 轻,因此通过使用 Al 线或 CCA 线,能够实现电动机的轻量化。

[0365] 此外,在使用 CCA 线的情况下,如以往那样能够进行焊接,因此不会损害作业性,而能够实现高频电阻的减少和轻量化。而且,CCA 线当表皮深度成为铜层的厚度程度时,集肤效应产生的损失也成为与以往的导线相同的程度。

[0366] < 第二实施例 >

[0367] 如图 40 所示,本发明的第二实施方式的第二实施例的电动机(三相交流同步马达)具备:呈圆心状配置的多个铁心 221;由 Al 线或 CCA 线构成的电线 222 卷绕于多个铁心 221 而成的多个线圈 223;通过向多个线圈 223 施加电流而进行旋转的转子 224。

[0368] 本发明的第二实施方式的第二实施例的电动机为 15 线圈,线圈保持部 20 的内径 a 为 170mm,线圈保持部 20 的外径 b 为 220mm,铁心 221 的长度 h 为 45mm,铁心 221 的外周侧的一端的直径 $e=33\text{mm}$,铁心 221 的另一端的直径 f 为 25mm。各极利用半径 r 为 1.0mm 的电线 222 呈圆筒状地向铁芯 21 卷绕 10 圈,全长 l 为约 4.8m。在图 40 中虽然仅表示了 u 相的线圈 223,但 v 相及 w 相也具有与线圈 223 同样的线圈的结构。

[0369] 本发明的第二实施方式的第二实施例的电动机的另一结构与本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机实质上相同,因此省略重复的说明。

[0370] 作为本发明的第二实施方式的第二实施例的线圈 223,使用半径 r 为 1.0mm 且长度为 4.8m 的 5%CCA 线及 A1 线,作为比较例而使用了 Cu 线。关于 5%CCA 线,设线圈保持部 20 的外径 b 为 0.95mm,线圈保持部 20 的内径 a 为 1mm。这种情况下的集肤效应产生的每单位长度的高频电阻 R_s 如图 41 所示,在外部磁场 H_0 为 $H_0=1A/mm$ 时,邻近效应产生的每单位长度的损失 P_p 如图 42 所示。

[0371] 另外,利用所述导线卷绕的线圈呈现图 43 及图 44 那样的高频电阻静特性。这种情况下,式 (49) 中的结构因子 α 为 $\alpha=2.2mm^{-1}$ 。在图 43 及图 44 中可知,频率 f 为 $0.8kHz \leq f \leq 17kHz$ 时 CCA 线和 A1 线的电阻比 Cu 线小。

[0372] 图 26 的驱动电流由逆变器产生,假定为即使频率变化而构成正弦波的波形也不相对变化时的高频电阻动特性如图 45 及图 46 所示。从图 45 及图 46 可知,频率 f 为 $59Hz \leq f \leq 742Hz$ 时 CCA 线和 A1 线的电阻比 Cu 线小。这种情况下,设第一频率为 59Hz,第二频率为 742Hz,在 $59Hz \leq f \leq 742Hz$ 的范围内对驱动电流的频率进行控制,由此能够得到与 Cu 线同等或比 Cu 线小的高频电阻。

[0373] 在本发明的第二实施方式的第二实施例中,说明了具有圆形剖面的电线 222,但电线 222 的剖面形状也可以是扁平、长方形,若截面积为 $3.1mm^2$,则能起到与 CCA 线时同样的效果。而且,相对于本发明的第二实施方式的第二实施例的电动机,在使用的电动机的绕组的密度或电线 222 的长度发生变化时,即使 α 的值变化为 $1.0mm^{-1} \leq \alpha \leq 4.5mm^{-1}$ 时也能起到同样的效果。

[0374] 图 47 表示在利用相同形状的导线卷绕的线圈中,相对于不同的 α 值的 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带。可知随着 α 的值增大(随着紧密或较多地卷绕),CCA 线有利的频带比 Cu 线变宽。

[0375] 图 48 表示相对于同一 $\alpha=2.2mm^{-1}$,相对于具有不同的半径 r 的导线的 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻减小的频带。可知线径越粗,在低频下 CCA 线越有利。

[0376] < 第三实施例 >

[0377] 如图 49 所示,本发明的第二实施方式的第三实施例的电动机(三相交流同步马达)具备:多个铁心 221;由 A1 线或 CCA 线构成的电线 222 卷绕于多个铁心 221 而成的多个线圈 223;通过向多个线圈 223 施加电流而进行旋转的转子 224。

[0378] 本发明的第二实施方式的第三实施例的电动机为 18 线圈,线圈保持部 20 的内径 a 为 180mm,线圈保持部 20 的外径 b 为 230mm,铁心 221 的长度 h 为 50mm,铁心 221 的外周侧的一端的直径 e 为 36,铁心 221 的另一端的直径 f 为 27mm,各极利用半径 r 为 1.2mm 的电线 222 呈圆筒状地向铁芯 21 卷绕 11 圈,全长 l 为约 7.0m。在图 49 中,虽然仅表示 u 相的线圈,但省略了图示的 v 相及 w 相的线圈也具有与线圈 223 同样的结构。

[0379] 本发明的第二实施方式的第三实施例的电动机的另一结构与本发明的第二实施方式的第一实施例的电动机实质上相同,因此省略重复的说明。

[0380] 作为本发明的第二实施方式的第三实施例的线圈 223,使用半径 r 为 1.2mm 且长度为 7.0m 的 5%CCA 线及 A1 线,作为比较例,使用了 Cu 线。关于 5%CCA 线,线圈保持部 20 的外径 b 为 1.17mm,线圈保持部 20 的内径 a 为 1.2mm。这种情况下的集肤效应产生的每单位

长度的高频电阻 R_g 如图 50 表示, 外部磁场 H_0 为 $H_0=1A/mm$ 时, 邻近效应产生的每单位长度的损失 P_p 如图 51 所示。

[0381] 另外, 利用所述导线卷绕的线圈呈现图 52 及图 53 所示那样的高频电阻的静特性。这种情况下, 式 (49) 中的结构因子 α 为 $\alpha=1.6mm^{-1}$ 。从图 52 及图 53 可知, 频率 f 为 $0.7kHz \leq f \leq 12kHz$ 时 CCA 线和 A1 线的电阻比 Cu 线小。

[0382] 图 26 的驱动电流由逆变器装置产生, 假定为即使频率变化而构成正弦波的波形也不相对变化时的高频电阻动特性如图 54 及图 55 所示。从图 54 及图 55 可知, 频率 f 为 $48Hz \leq f \leq 511Hz$ 时 CCA 线和 A1 线的电阻比 Cu 线小。这种情况下, 设第一频率为 48Hz, 第二频率为 511Hz, 以 $48Hz \leq f \leq 511Hz$ 对驱动电流的频率进行控制, 由此能够得到与 Cu 线同等或比 Cu 线小的高频电阻。

[0383] 在本发明的第二实施方式的第三实施例中, 虽然说明了具有圆形剖面的电线 222, 但电线 222 的剖面形状也可以为扁平、长方形, 若截面积为 $4.5mm^2$, 则起到与 CCA 线时同样的效果。而且, 在本发明的第二实施方式的第三实施例中, 在使用的电动机的绕组的密度或导线的长度发生变化时, 即使在 α 变化为 $0.9mm^{-1} \leq \alpha \leq 3.2mm^{-1}$ 的情况下也具有同样的效果。

[0384] 图 56 表示在利用相同形状的导线卷绕的线圈中, 相对于不同的 α 值的 CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻减小的频带。从图 56 可知, 随着 α 增大 (随着紧密或较多地卷绕), CCA 线有利的频带变宽。

[0385] 图 57 表示 α 的值为 $1.6mm^{-1}$, 在具有不同的半径 r 时, CCA 线比 Cu 线的动特性高频电阻小的频带。从图 57 可知, 线径越粗, 在低频侧, CCA 线越有利。

[0386] 需要说明的是, 在本发明的第二实施方式中, 说明了具有 1.8mm、0.4mm、0.2mm 的线径的 CCA 线及 Cu 线, 但该 3 个线径并未特别限定, 对于具有各种线径的 CCA 线及 Cu 线也可以适用本发明。

[0387] 另外, 作为本发明的第二实施方式的电线而说明了 CCA 线, 但作为本发明的第二实施方式的电线, A1 线也能够同样地适用。

[0388] 另外, 作为本发明的第二实施方式的第一~第三实施例的电动机, 说明了三相交流同步马达的一例, 但本发明的电线也能够适用于使用了各种线圈的电动机, 本发明的电动机能够适用于具有利用 CCA 线或 A1 线卷绕的线圈的各种种类的电动机。

[0389] (第三实施方式)

[0390] <电线的结构>

[0391] 如图 58(a) 所示, 本发明的第三实施方式的电线具备由比铜的体积电阻率高的材料构成的导体部 31。在本发明的第三实施方式的电线中, 导体部 31 的体积电阻率除以截面面积所得到的每单位长度的直流电阻值如下规定, 即, 在第一频率及比该第一频率大的第二频率中, 第二频率为特定的频带的上限值以上, 其中, 电线的交流电阻与具有与电线相同的线径的铜线的交流电阻分别在第一频率及第二频率处一致, 且在第一频率和第二频率之间电线的交流电阻比铜线的交流电阻小。

[0392] 导体部 31 的直径优选为 0.05mm ~ 0.6mm 左右, 但并未特别限定。作为导体部 31 的材料, 可以使用黄铜、磷青铜、硅青铜、铜铍合金、及铜镍硅合金等铜合金。黄铜是含有铜 (Cu) 及锌 (Zn) 的合金 (Cu-Zn), 也可以包含铜和锌以外的少量的元素。硅青铜是包含铜、

锡 (Sn) 及硅 (Si) 的合金 (Cu-Sn-Si), 也可以包含铜、锡及硅以外的少量的元素。磷青铜是包含铜、锡及磷 (P) 的合金 (Cu-Sn-P), 也可以包含铜、锡及磷以外的少量的元素。

[0393] 所述铜合金线例如进行了 1 原则退火处理, 也可以进行锡、铜或铬 (Cr) 等的镀敷处理。而且, 导体部 31 除了圆筒状之外, 也可以是平角等的形状。

[0394] 另外, 如图 58(b) 所示, 本发明的第三实施方式的电线可以是 CCA 线, 具备由铝 (Al) 或铝合金构成的中心导体 32 和覆盖中心导体 32 的由铜 (Cu) 构成的覆盖层 33 作为导体部 31。

[0395] CCA 线整体的直径优选为 0.05mm ~ 0.6mm 左右。覆盖层 33 的截面积相对于将中心导体 32 及覆盖层 33 相加的电线整体的截面积为 15% 以下, 优选为 3% ~ 15% 左右, 更优选为 3% ~ 10% 左右, 进一步优选为 3% ~ 5% 左右。覆盖层 33 相对于电线整体的截面积之比越小, 越能够减少高频电阻。作为中心导体 32, 可以使用例如电气用铝 (EC 铝) 或 Al-Mg-Si 系合金 (JIS6000 号段) 的铝合金, 但铝合金比 EC 铝的体积电阻率大, 因此更优选。

[0396] 使用上述的计算式进行模拟, 通过计算, 求出本发明的第三实施方式的电线的交流电阻及作为比较例的 Cu 线的交流电阻。其结果是发现了如下特性: 本发明的第三实施方式的电线在特定的频带中, 通过邻近效应, 与具有相同线径的 Cu 线相比, 涡流损耗减小, 结果是交流电阻减小。

[0397] 图 13 表示分别具有 0.4mm 的线径的黄铜线及作为比较例的 Cu 线, 外部磁场强度 H 为 1A/mm 的频率与交流电阻的关系。在比第一频率 f1 低的低频侧, 黄铜线的交流电阻大于 Cu 线的交流电阻。在第一频率 f1 处, 黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻一致, 在比第一频率 f1 高的高频侧, 涡流损耗成为支配性, 因此黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻的大小反转。在从第一频率 f1 到第二频率 f2 的频带中, Cu 线的交流电阻大于黄铜线的交流电阻。在第二频率 f2 处, 黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻再次一致, 在比第二频率 f2 高的高频侧, 黄铜线的邻近效应的影响比 Cu 线大, 黄铜线的交流电阻与 Cu 线的交流电阻的大小反转。

[0398] 图 14 表示直径 0.4mm 的黄铜线的外部磁场强度 H 为 1A/mm 的频率、与集肤效应成分 R_s 与直流电阻成分 R_{ac} 之和及邻近效应成分 R_p 的关系。直流电阻 R_{ac} 是频率为 0 时的交流电阻的值。

[0399] 图 59 表示直径 0.4mm 的黄铜线及 Cu 线的外部磁场强度 H 为 1A/mm 及 5A/mm 的各自的频率与交流电阻的关系。如图 59 所示, 邻近效应成分 R_p 比集肤效应成分 R_s 的磁场强度依赖性显著。邻近效应成分 R_p 占据大部分的第二频率 f12、f22 的交流电阻 R_{ac} 即使磁场强度增大, 也与 Cu 线及黄铜线一起成比例地一样增大, 因而第二频率 f12、f22 几乎不变化。另一方面, 直流电阻成分 R_{ac} 的影响大的第一频率 f11、f21 当外部磁场强度增大时, 邻近效应成分 R_p 增大而向低频侧移动。

[0400] 在此, 适用于导体的金属的体积电阻率除以截面积所得到的每单位长度的直流电阻定义为“基准直流电阻”。如图 60 所示, 分配导体的材料和线径, 通过计算而求出基准直流电阻及第二频率。在图 60 中, 表示作为导体的材料, 图 58(a) 所示的导体部 31 为纯铝, 图 58(b) 所示的中心导体 32 由铝构成, 覆盖层 33 的截面积为电线整体的截面积的 5% (5%CCA), 图 58(b) 所示的中心导体 32 由铝构成, 覆盖层 33 的截面积为电线整体的截面积的 10% (10%CCA), 图 58(b) 所示的中心导体 32 由铝构成, 覆盖层 33 的截面积为电线整体

的截面积的 15% (15%CCA), 图 58 (b) 所示的中心导体 32 由合金铝构成, 覆盖层 33 的截面积为电线整体的截面积的 5% (5%CCA (合金 Al)), 以及图 58 (a) 所示的导体部 31 分别由黄铜、硅青铜及磷青铜构成的计算结果。关于 CCA 线的体积电阻率, 设为以双层的截面积比进行换算而求出的等价体积电阻率。对于计算结果进行了递归分析的结果是, 得到了图 61 的实线所示那样的递归直线。即, 设基准直流电阻为 R_{dc} , 第二频率为 f_2 , 发现了存在下式 (53) 的关系。

$$[0401] \quad f_2 = 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \quad \dots (53)$$

[0402] 本发明的第三实施方式的电线使用式 (53), 以具有使用电线的特定的频带的上限值以上的第二频率的方式, 规定了导体部 31 的基准直流电阻值。即, 以成为该基准直流电阻值的方式, 规定了导体部 31 的体积电阻率、截面积、材料、形状及线径等。

[0403] 由于以几 kHz ~ 100kHz 左右的高频电流进行驱动的设备的使用正在扩大, 因此第二频率优选设定为例如 100kHz 左右以上, 因此优选将基准直流电阻设定为 0.55mΩ/cm 左右以上。

[0404] 关于本发明的第三实施方式的黄铜线及比较例的 Cu 线, 如图 10 所示, 使用 55 根直径 0.4mm、长度 6.6m 的线材, 以 17 圈形成为绞合线结构, 制作 IH 烹调器用的磁场产生线圈, 对于它们进行了特性确认试验。试验结果如图 11 及图 12 所示。IH 烹调器通常使用 20kHz ~ 60kHz 左右的高频电流, 但在包含 20kHz ~ 60kHz 左右的频带中, 可知黄铜线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小。

[0405] 另外, 在内置于开关电源的高频变压器的绕组中, 如图 20 所示, 相当歪斜的波形的电流流过。这是因为, 如图 21 所示, 交流电流的频率除了基本波的频率 (基准频率) 之外, 还含有较多的高次的高次谐波成分。因此, 高频变压器产生的损失 (铜损) 成为直流成分、基准频率及高次的高次谐波成分之和。例如图 62 所示, 本发明的第三实施方式的直径 0.2mm 的黄铜绕组的损失为 5.3W, 比较例的直径 0.6mm 的铜绕组的损失为 14.5W。

[0406] 由此, 第二频率优选设定为使用的交流电流的高次的高次谐波成分以上。将高次的高次谐波成分考虑到何种程度只要根据电线的用途而适当决定即可。例如, 既可以考虑从基准频率到 10 次的高次谐波成分, 也可以考虑从基准频率到 20 次的高次谐波成分。

[0407] 根据本发明的第三实施方式的高频电线, 使用式 (53), 以第二频率成为特定的频带的上限值以上的方式规定电线的导体部 31 的基准直流电阻值。其结果是, 在特定的频带中使用时, 与具有相同线径的 Cu 线相比, 能够使涡流产生的损失为同等或减小, 从而能够减少交流电阻。

[0408] 另外, 图 61 表示相对于由实线表示的递归直线分别为 0.7 倍及 1.3 倍的 2 条虚线。在本发明的第三实施方式中, 可以考虑递归直线的 ±30% 左右的变动, 在图 61 所示的 2 条虚线夹持的频带宽度的范围内规定基准直流电阻值。即, 设本发明的第三实施方式的高频电线的基准直流电阻值为 R_{dc} , 第二频率为 f_2 , 可以由

$$[0409] \quad 0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \quad \dots (54)$$

[0410] 的关系来规定。其结果是, 基准直流电阻值能够在实效的范围内具有宽度, 能够提高对基准直流电阻值进行规定的导体部 31 的体积电阻率、截面积、材料、形状及线径等的设计自由度。

[0411] 需要说明的是, 虽然说明了在递归直线的 ±30% 程度的范围内规定的例子, 但

从第二频率成为特定的频带的上限值以上的可靠性的观点等出发,更优选在递归直线的 $\pm 20\%$ 左右的范围内规定基准直流电阻值,更优选在递归直线的 $\pm 10\%$ 左右的范围内规定基准直流电阻值。

[0412] 另外,基准直流电阻值 R_{dc} 可以在设特定的频带的上限值为 f_0 时,以满足

$$[0413] \quad f_0 \leq 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \quad \dots (55)$$

[0414] 的方式进行规定。其结果是,能够将第二频率设定为特定的频带的上限值以上,并能够在满足式 (55) 的关系的范围内规定基准直流电阻值,因此能够提高规定基准直流电阻值的导体部 31 的体积电阻率、截面积、材料、形状及线径等的设计自由度。

[0415] < 电线的设计装置 >

[0416] 如图 63 所示,本发明的第三实施方式的电线的设计装置具备中央处理装置 (CPU) 310、存储装置 311、输入装置 312 及输出装置 313。

[0417] CPU310 逻辑性地具备固有电阻计算部 301、频率设定部 302、目标电阻计算部 303 及线种选择部 304 作为硬件资源即模块 (逻辑电路)。

[0418] 固有电阻计算部 301 从存储装置 311 读出必要的信息,按照由能够制作的电线的材料、形状及线径等的组合构成的线种,计算出固有的基准直流电阻值。需要说明的是,各线种的基准直流电阻值既可以预先存储于存储装置 311,也可以从输入装置 312 输入。

[0419] 频率设定部 302 从存储装置 311 读出使用要设计的电线的特定的频带,将第一频率及比该第一频率大的第二频率中的第二频率设定为特定的频带的上限值以上的值,其中,电线的交流电阻和具有与电线相同的线径的 Cu 线的交流电阻分别在第一频率和第二频率处一致,且在第一频率和第二频率之间电线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小。例如,以第二频率与特定的频带的上限值一致的方式设定第二频率。此时,作为特定的频带的上限值,例如,既可以将第二频率设定为 10 次的高次谐波频率以上,也可以将第二频率设定为 20 次的高次谐波频率以上。

[0420] 目标电阻计算部 303 根据由频率设定部 302 设定的第二频率,使用式 (53) 或式 (54),计算作为目标的基准直流电阻值。而且,目标电阻计算部 303 可以从存储装置 311 读出使用要设计的电线的特定的频带,以满足式 (55) 的关系的方式计算作为目标的基准直流电阻值。

[0421] 线种选择部 304 对应于通过固有电阻计算部 301 及目标电阻计算部 303 分别计算的基准直流电阻值来选择电线的种类。即,线种选择部 304 在多个线种中,选择由固有电阻计算部 301 计算的多个线种固有的基准直流电阻值成为由目标电阻计算部 303 计算的目标的基准直流电阻值以上的线种。

[0422] 存储装置 311 保存为了计算多个线种的基准直流电阻值所需的信息、在适用电线的各设备中使用的特定的频带、与式 (53) 或式 (54) 相关的信息、通过固有电阻计算部 301 计算的基准直流电阻值、通过频率设定部 302 设定的第二频率、通过目标电阻计算部 303 计算的基准直流电阻值、以及通过线种选择部 304 决定的线种等。作为存储装置 311,能够采用例如半导体存储器、磁盘或光盘等。存储装置 311 可以作为对在 CPU310 中执行的程序进行存储的存储装置等发挥功能 (程序的详细情况在后面叙述)。存储装置 311 可以作为暂时存储在 CPU310 的程序执行处理中利用的数据等,或作为作业区域而利用的暂时性的数据存储器等而发挥功能。

[0423] 作为输入装置 312,可以使用例如触摸面板、键盘、鼠标、OCR 等识别装置、或扫描仪、相机等图像输入装置、或麦克风等声音输入装置等。作为输出装置 313,可以使用液晶显示器 (LCD)、有机场致发光 (EL) 显示器、CRT 显示器等显示装置、或喷墨打印机、激光打印机等印刷装置等。

[0424] < 高频电线的制造方法 >

[0425] 使用图 64 的流程图,说明包括使用了本发明的第三实施方式的电线的设计装置的设计方法的高频电线的制造方法的一例。需要说明的是,在此,虽然说明了 CCA 线的制造方法,但当然并未特别限定于此。

[0426] (1) 在步骤 S301 中,固有电阻计算部 301 从存储装置 311 读出必要的信息,按照由高频电线的材料、形状及线径等的组合构成的线种,计算基准直流电阻值。计算的基准直流电阻值存储在存储装置 311 中。需要说明的是,各线种的基准直流电阻值既可以预先存储在存储装置 311 中,也可以从输入装置 312 输入。而且,各线种的基准直流电阻值也可以取代使用理论式进行计算的情况而进行实测。

[0427] (2) 在步骤 S302 中,频率设定部 302 从存储装置 311 读出使用要设计的电线的特定的频带,将第一频率及比该第一频率大的第二频率中的第二频率设定为特定的频带的上限值以上的值,其中,电线的交流电阻和具有与电线相同的线径的 Cu 线的交流电阻分别在第一频率及第二频率处一致,且在第一频率及第二频率之间电线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小。设定的第二频率存储在存储装置 311 中。

[0428] (3) 在步骤 S3 中,目标电阻计算部 303 根据通过频率设定部 302 设定的第二频率,使用式 (53) 或式 (54),计算基准直流电阻值。计算的基准直流电阻值存储在存储装置 311 中。而且,目标电阻计算部 303 可以从存储装置 311 读出使用要设计的电线的特定的频带,以满足式 (55) 的关系的方式计算作为目标的基准直流电阻值。

[0429] (4) 在步骤 S304 中,线种选择部 304 在多个线种中,决定通过固有电阻计算部 301 计算的固有的基准直流电阻值为通过目标电阻计算部 303 计算的基准直流电阻值以上的线种。决定出的线种存储在存储装置 311 中。

[0430] (5) 在步骤 S305 中,制造由通过线种选择部 304 决定的材料、形状及线径等的组合构成的线种的电线。例如在 CCA 线的情况下,准备直径 9.5mm ~ 12.0mm 左右的由铝或铝合金构成的中心导体 32。向中心导体 32 的表面将 0.1mm ~ 0.4mm 左右的厚度的铜带以纵添方式添加并同时 TIG 焊接或等离子焊接等,由此向中心导体 32 的表面覆盖覆盖层 33。接下来,将覆盖有覆盖层 33 的中心导体 32 通过表皮光轧成形为直径 9.3mm ~ 12.3mm 左右,由此制作出由覆盖有覆盖层 33 的中心导体 32 构成的母材。接下来,使母材通过 25 ~ 26 通路程度的多段的拉丝模,由此进行拉丝。通过穿过多段的拉丝模,最终使电线的直径成为与决定的线径相同的线径。

[0431] 根据包含使用了本发明的第三实施方式的电线的设计装置的设计方法的高频电线的制造方法,使用式 (53) 或式 (54),根据计算的基准电阻值,能够决定线种。其结果是,在使用高频电线的特定的频带中,由于第二频率设定得比特定的频带的上限值高,因此能够设计与相同线径的 Cu 线相比能够使涡流产生的损失为同等或减小而能够减少交流电阻的高频电线的线径。

[0432] < 电线设计程序 >

[0433] 图 64 所示的一连串的步骤,即:(1)按照由高频电线的材料、形状及线径等的组合构成的线种,计算每单位长度的直流电阻值的步骤;(2)将第一频率及比该第一频率大的第二频率中的第二频率设定为特定的频带的上限值以上的值的步骤,其中,电线的交流电阻和具有与电线相同的线径的 Cu 线的交流电阻分别在第一频率及第二频率处一致,且在第一频率及第二频率之间电线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小;(3)根据第二频率,计算基准直流电阻值的步骤;(4)对应于基准直流电阻值来决定电线的种类的步骤等,能够通过图 64 等价的算法的程序,控制图 63 所示的电线的设计装置而执行。

[0434] 该程序只要存储在构成本发明的电线的设计装置的计算机系统的存储装置 311 中即可。而且,该程序保存在计算机能够读取的记录介质中,通过将记录介质向存储装置 311 等读入,而能够执行本发明的第三实施方式的一连串的步骤。

[0435] 在此,“计算机能够读取的记录介质”是指例如半导体存储器、磁盘、光盘等能够记录程序那样的介质等。例如,电线的设计装置的主体可以对记录介质的读取装置进行内置或外部连接。而且,可以经由无线通信网等信息处理网络,存储在该存储装置 311 中。

[0436] 需要说明的是,式 (53) 或式 (54) 说明基准直流电阻 R_{dc} 与第二频率 f_2 的关系式的一例,并说明了使用该关系式计算基准直流电阻的情况,但基准直流电阻 R_{dc} 与第二频率 f_2 的关系并不严格地限定为式 (53) 或式 (54),也可以使用其他的理论式来计算基准直流电阻。

[0437] (第四实施方式)

[0438] <高频电线的结构>

[0439] 本发明的第四实施方式的高频电线是在 10kHz ~ 1MHz 左右的频带中使用的电线,如图 65 所示,设比铜的体积电阻率高的铜合金为导体部 41。

[0440] 高频电线的直径优选为 0.05mm ~ 0.6mm 左右,但并未特别限定。铜合金层 1 由例如黄铜、磷青铜或硅青铜等构成。黄铜是包含铜 (Cu) 及锌 (Zn) 的合金 (Cu-Zn),也可以包含铜和锌以外的少量的元素。硅青铜是包含铜、锡 (Sn) 及硅 (Si) 的合金 (Cu-Sn-Si),也可以包含铜、锡及硅以外的少量的元素。磷青铜是包含铜、锡及磷 (P) 的合金 (Cu-Sn-P),也可以包含铜、锡及磷以外的少量的元素。

[0441] 通常,变压器或电抗器等的绕组使用利用聚氨脂、聚酯、聚酯酰亚胺、聚酰胺酰亚胺或聚酰亚胺等对 Cu 线进行绝缘覆盖的结构。在同轴线缆中,由于为高频电流信号,考察集肤效应特性,例如使用在 A1 线的外侧以薄壁覆盖了铜层的 CCA 线。

[0442] 近年来,伴随着高频变压器、高速马达、电抗器、感应加热装置、磁头装置及非接触供电装置等通上几 kHz ~ 几百 kHz 左右的高频电流的设备的用途正在扩大,在这种设备使用的高频电线中,在交流损失减少的目的下,通常使用绕组的细径化或绞合线。然而,在连接用的焊接处理中,绝缘皮膜的除去作业变得困难,且由于线材根数增加,细径化存在限度。相对于此,根据本发明的第四实施方式的高频电线,即使不形成为绞合线,也能对于用于抑制交流电阻的增大的细径化电线提供进一步的抑止效果。

[0443] 在高频电线及使用其作为线材的高频线圈中,外部磁场存在避开高频电线的倾向,但在小于几百 kHz 左右的比较低的频带中,外部磁场无法完全避开高频电线而一样地进入高频电线的内部,引发出邻近效应产生的涡流。此时,高频电线的材料的导电率越高(即,体积电阻率越小),涡流越增大,结果是得到了交流电阻越增大这样的见解。

[0444] 此外,在几十 MHz 程度以上的比较高的频带中,如图 4 所示,外部磁场难以进入高频电线的内部。此时,高频电线的材料的导电率越高(即,体积电阻率越小)而磁场越显著偏向高频电线的表层附近,表层附近的电流越增强。因此,频率越高,由于邻近效应而涡流产生的损失越增大,得到了交流电阻越增大这样的见解。

[0445] 图 66 及图 67 分别表示向半径 0.2mm 的 Cu 线在外部磁场为 1A/mm 时施加 10kHz、100kHz 及 1MHz 时的 Cu 线的沿着 y 轴(剖面方向)的磁场强度分布及电流密度分布。在图 66 中可知,频率越高,Cu 线的表层附近的磁场强度越强。从图 67 可知,频率越高,Cu 线的表层附近的电流密度越高,涡流越增大。

[0446] 因此,在本发明的第四实施方式中,将比铜的体积电阻率大的铜合金适用于高频电线。如图 68 所示,在 20℃ 下,黄铜、磷青铜及硅青铜的各自的体积电阻率比铜高。而且,虽然纯铝也比铜的体积电阻率高,但 Al 线的表面由氧化皮膜覆盖,其除去困难。相对于此,在黄铜、磷青铜及硅青铜等铜合金中,不会产生这种问题,在这一点上有利。

[0447] 如以上说明那样,根据本发明的第四实施方式的高频电线,通过将黄铜、磷青铜或硅青铜等比铜的体积电阻率高的铜合金形成为导体部 41,而在规定的频带中,与使用了 Cu 线的情况相比,涡流产生的损失小,能够减少交流电阻。

[0448] < 第一实施例 >

[0449] 作为第一实施例,说明本发明的第四实施方式的高频电线的磁场强度分布及损失分布的测定结果。图 69 及图 70 作为比较例,分别表示外部磁场强度为 1A/mm,向半径 0.2mm 的 Cu 线施加了 100kHz 时的 Cu 线的沿着 y 轴的磁场强度分布及损失分布。图 71 及图 72 分别表示作为本发明的第四实施方式的高频电线,外部磁场强度为 1A/mm,对半径 0.2mm 的硅青铜线施加 100kHz 时的硅青铜线的沿着 y 轴的磁场强度分布及损失分布。将图 71 与图 69 进行对比可知,硅青铜线的表层附近的磁场强度比 Cu 线的情况弱。而且,将图 72 和图 70 进行对比可知,硅青铜线的涡流产生的损失比 Cu 线的情况减小。

[0450] 另外,图 73 及图 74 分别表示作为本发明的第四实施方式的高频电线,外部磁场强度为 1A/mm,向半径 0.2mm 的黄铜线施加了 100kHz 时的黄铜线的沿着 y 轴的磁场强度分布及损失分布。将图 73 与图 69 进行对比可知,黄铜线的表层附近的磁场强度比 Cu 线的情况弱。而且,将图 74 与图 70 进行对比可知,黄铜线的涡流产生的损失比 Cu 线的情况减小。

[0451] 另外,图 75 及图 76 分别表示作为本发明的第四实施方式的高频电线,外部磁场强度为 1A/mm,向半径 0.2mm 的磷青铜线施加 100kHz 时的磷青铜线的沿着 y 轴的磁场强度分布及损失分布。将图 75 与图 69 进行对比可知,磷青铜线的表层附近的磁场强度比 Cu 线的情况弱。而且,将图 76 与图 70 进行对比可知,磷青铜线的涡流产生的损失比 Cu 线的情况小。

[0452] < 第二实施例 >

[0453] 作为第二实施例,图 77 表示外部磁场强度 H 为 1 (A/mm) 而计算的本发明的第四实施方式的黄铜线、磷青铜线、硅青铜线及比较例的 Cu 线的交流电阻(邻近效应成分)。从图 77 可知,在规定的频带中,黄铜线、磷青铜线、硅青铜线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小。

[0454] < 第三实施例 >

[0455] 作为第三实施例,关于本发明的第四实施方式的高频电线即黄铜线、磷青铜线、硅青铜线及比较例的 Cu 线,使用 14 根直径 0.4mm 的线材,分别以 80 圈制作了电抗器。电抗

器的交流电阻由每 1 根的单位长度表示的测定结果如图 9 所示。在图 9 中可知,黄铜线、磷青铜线、硅青铜线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小。而且,与图 77 所示的线材的情况相比可知,电抗器时的交流电阻的抑制效果更大。

[0456] < 第四实施例 >

[0457] 作为第四实施例,关于本发明的第四实施方式的黄铜线及比较例的 Cu 线,如图 10 所示,使用 55 根直径 0.4mm、长度 6.6m 的线材,以 17 圈形成为绞合线结构,制作出 IH 烹调器用的磁场产生线圈,对于它们进行了特性确认试验。试验结果如图 11 及图 12 所示。IH 烹调器通常使用 20kHz ~ 60kHz 左右的高频电流,但在包含 20kHz ~ 60kHz 左右的频带中,可知黄铜线的交流电阻比 Cu 线的交流电阻小。

[0458] < 高频电线的制造方法 >

[0459] 接下来,说明本发明的第四实施方式的高频电线的制造方法的一例。需要说明的是,以下所示的制造方法是一例,并未特别限定。本发明的第四实施方式的高频电线能够通过各种制造方法来制造。

[0460] (1) 准备由直径 9.5mm ~ 12.0mm 左右的黄铜、磷青铜或硅青铜等比铜的体积电阻率高的铜合金构件。

[0461] (2) 接下来,使该铜合金构件通过 20 通路程度的多段的拉丝模,由此进行拉丝。通过穿过多段的拉丝模,最终将高频电线的直径形成为 0.05mm ~ 0.6mm 左右。其结果是,完成将图 65 所示的铜合金形成为导体部 41 的高频电线。

[0462] (其他的实施方式)

[0463] 如上所述,本发明由实施方式记载,但不应该理解为形成该公开的一部分的论述及附图限定了本发明。根据该公开,本领域技术人员可明确各种替代实施方式、实施例及运用技术。

[0464] 作为本发明的第一~第四实施方式的电线(高频电线),说明了线材(单线),但也可以作为将该线材捆扎多根而成的集合线或捻合多根而成的绞合线使用,在集合线和绞合线的情况下,也能够更有效地抑制交流电阻。

[0465] 另外,式(1)~式(52)说明了交流电阻 R_{ac} 、集肤效应产生的交流电阻 R_s 、及邻近效应产生的交流电阻 R_p 的理论式的一例,但交流电阻 R_{ac} 、集肤效应产生的交流电阻 R_s 、及邻近效应产生的交流电阻 R_p 的计算方法并未特别限定于此。而且,交流电阻 R_{ac} 、集肤效应产生的交流电阻 R_s 、及邻近效应产生的交流电阻 R_p 当然也可以取代使用理论式进行计算的情况而实际进行测定。

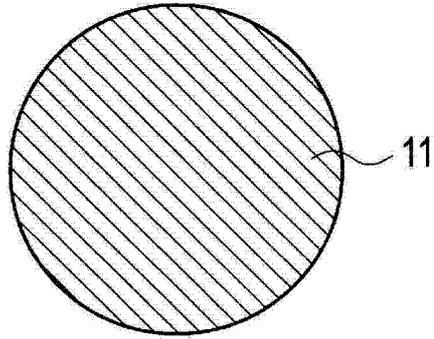
[0466] 另外,本发明的第一~第四实施方式的高频电线当然也可以使用作为其表面由聚氨脂等绝缘覆盖层覆盖的漆包线。

[0467] 如此,本发明当然包括在此未记载的各种实施方式等。因此,本发明的技术范围根据上述的说明,仅由妥当的权利要求书的范围的发明特定事项来决定。

[0468] 工业实用性

[0469] 本发明的电线能够利用在包括高频变压器、马达、电抗器、扼流线圈、感应加热装置、磁头、高频供电线缆、DC 电源单元、开关电源、AC 适配器、涡流检测方式等的位移传感器·探伤传感器、IH 电炉、非接触供电装置或高频电流产生装置等各种装置的制造业的电子设备产业中。

(a)



(b)

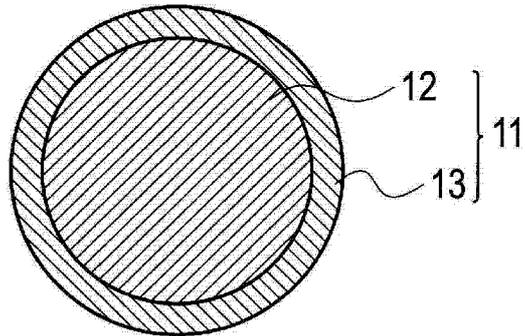


图 1

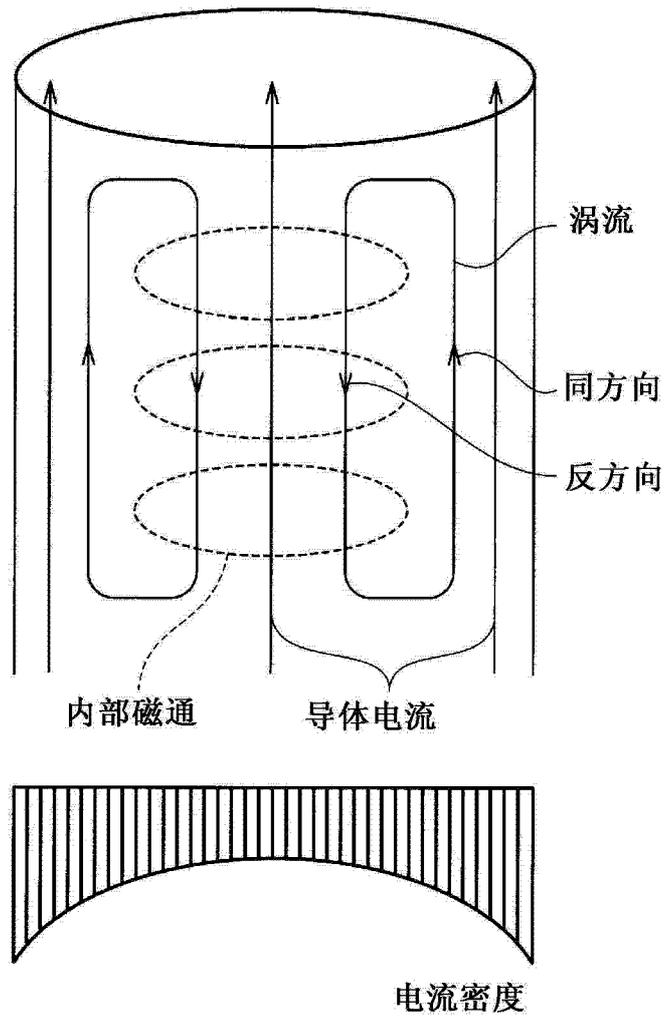


图 2

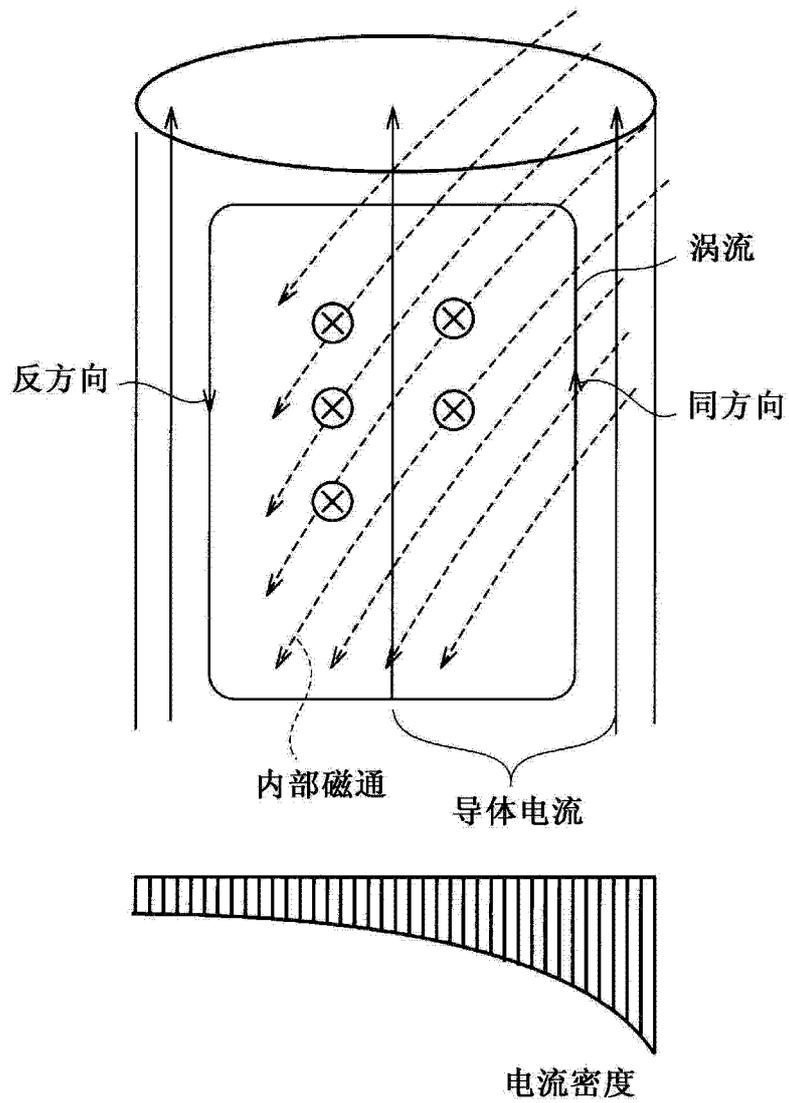


图 3

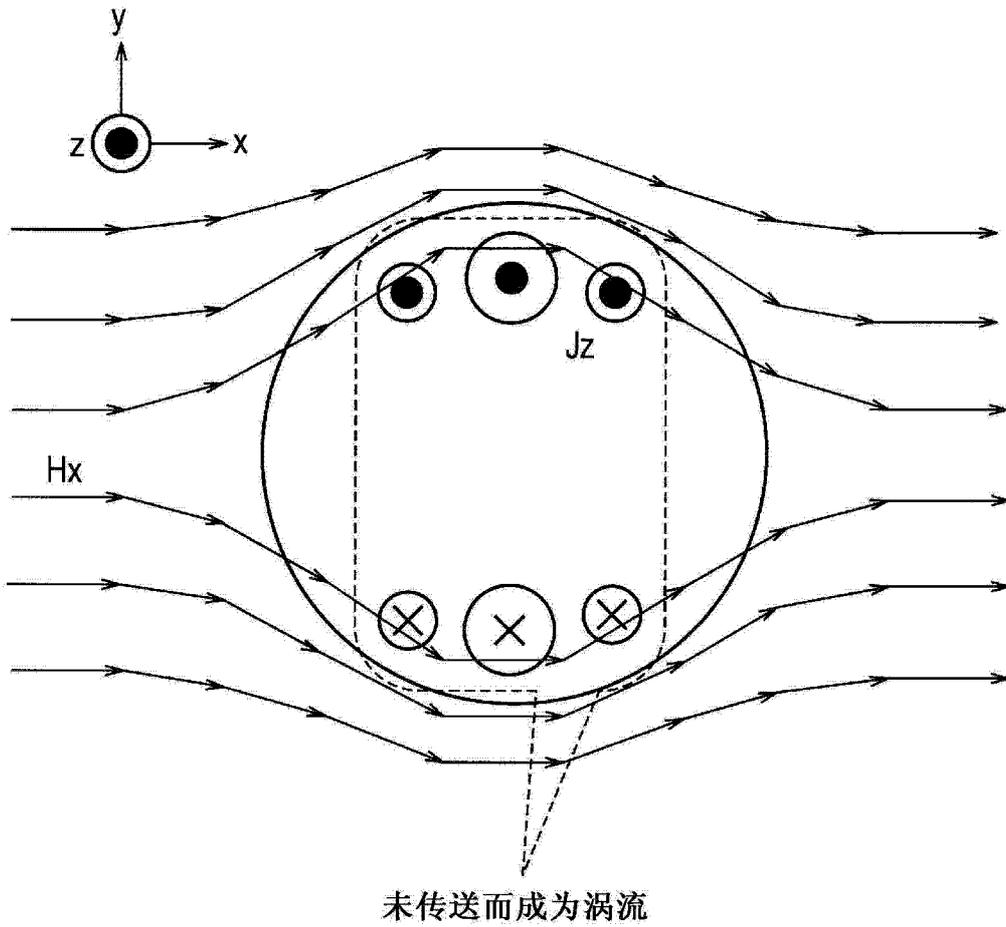


图 4

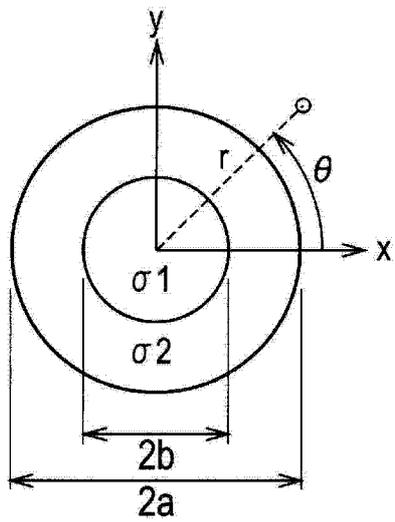


图 5

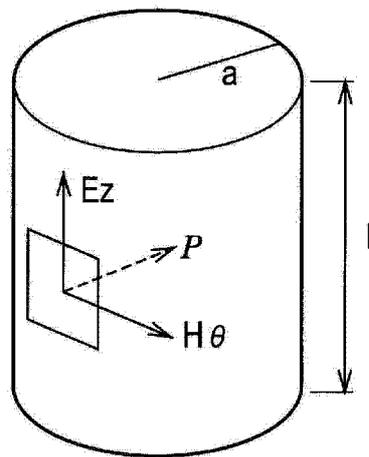


图 6

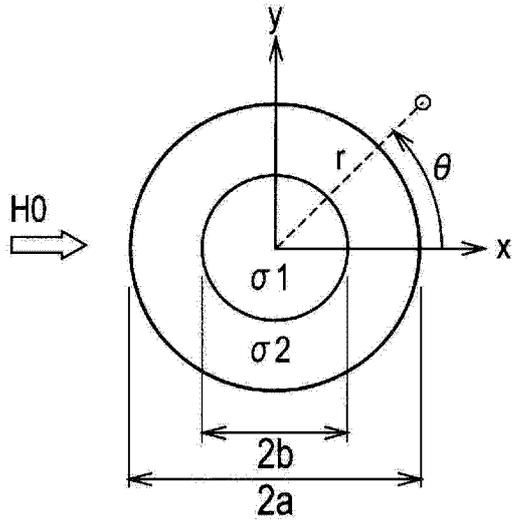


图 7

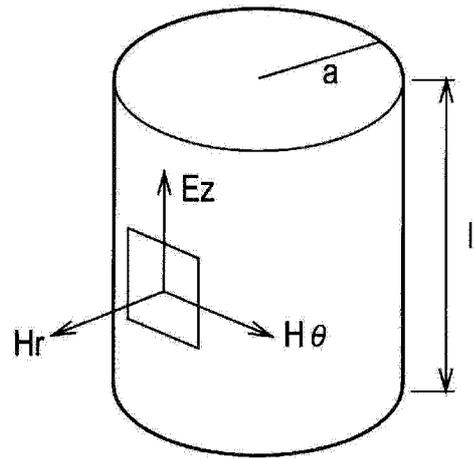


图 8

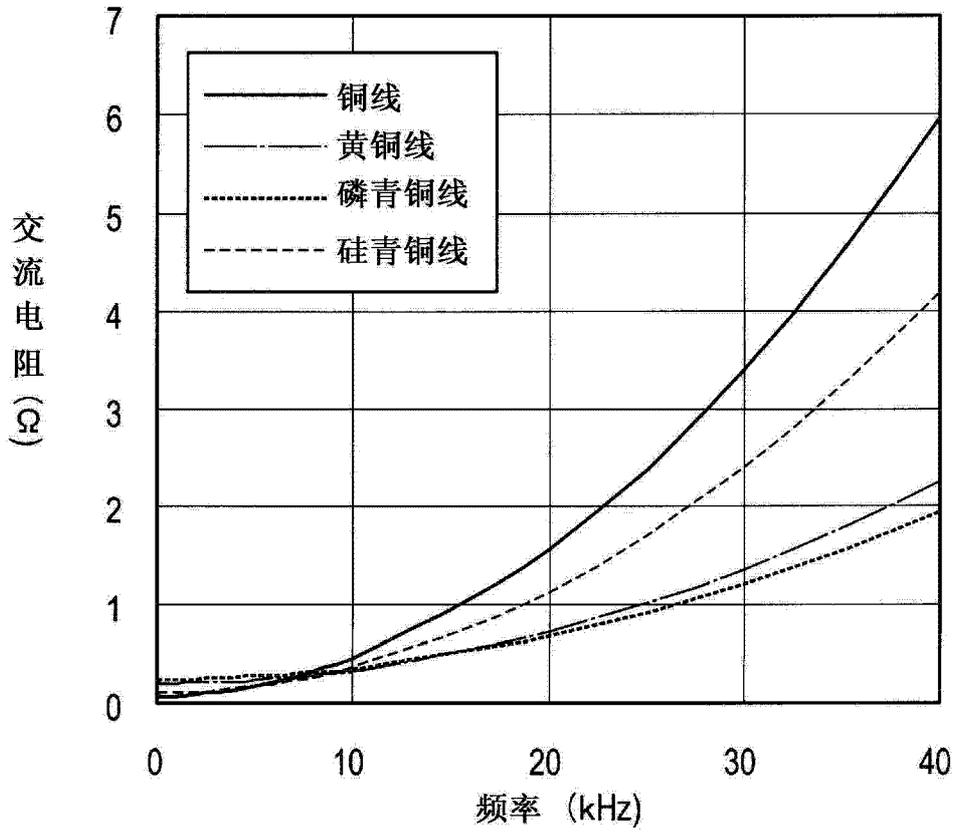


图 9

线材直径 (mm)	0.4
根数	55
匝数	17
长度 (m)	6.6

图 10

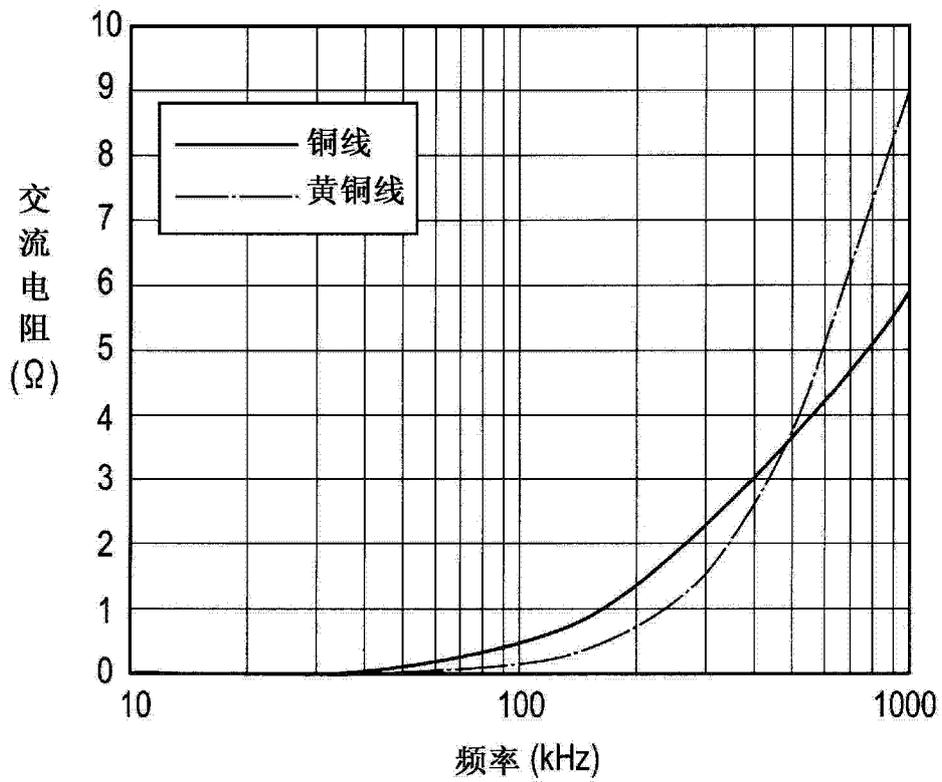


图 11

频率	10kHz	20kHz	50kHz	100kHz	200kHz
铜线 (Ω)	0.0596	0.0864	0.195	0.506	1.37
黄铜线 (Ω)	0.0496	0.0551	0.0938	0.230	0.755

图 12

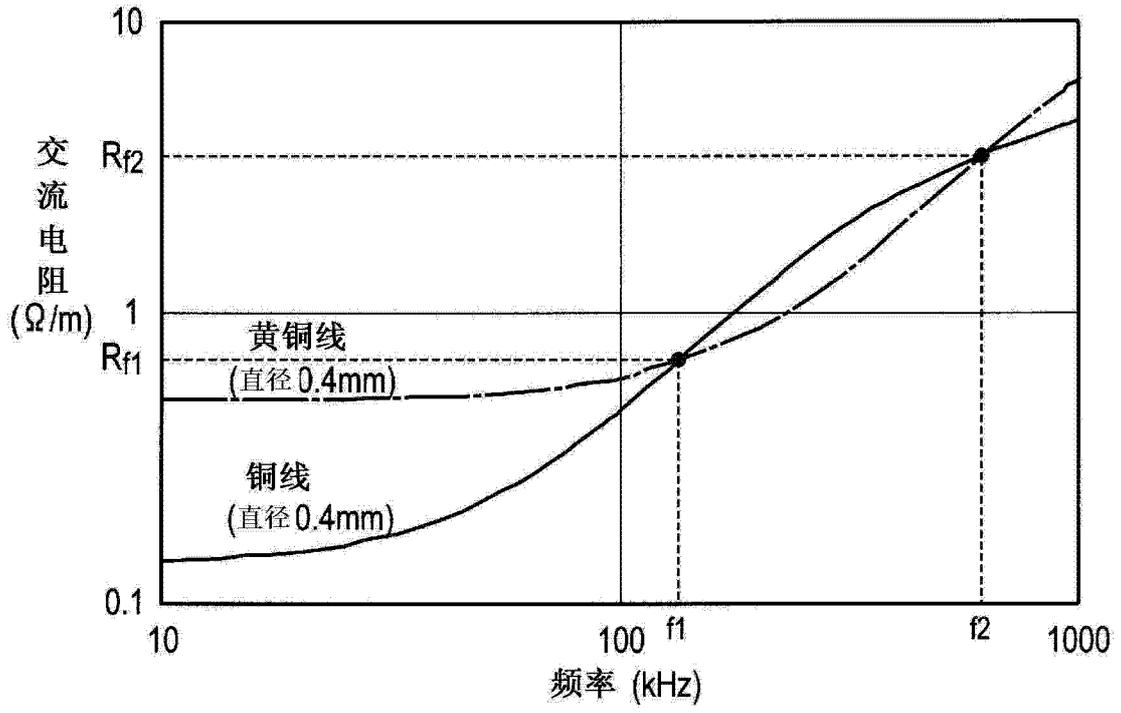


图 13

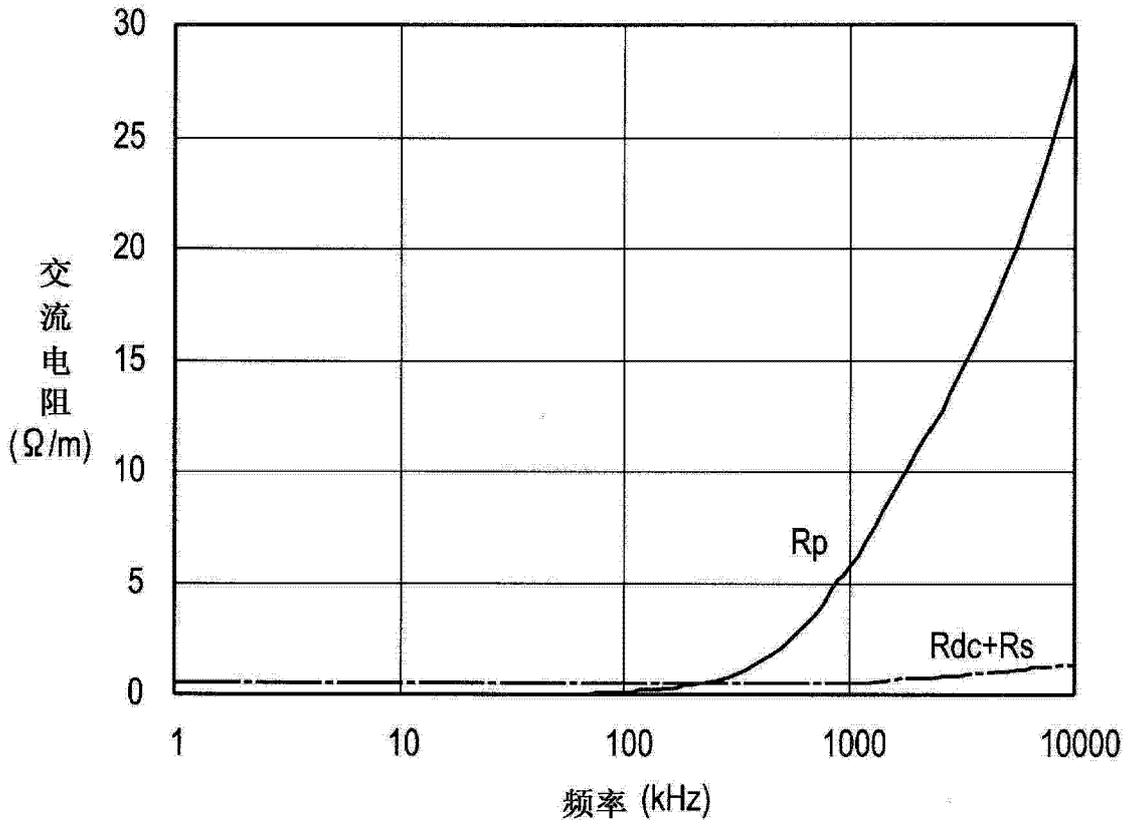


图 14

线种	铜线	5% CCA线	10% CCA线	15% CCA线	5% CCA线 (合金A1)		黄铜线		硅青铜线	磷青铜线
					0.6	0.4	0.6	0.4		
线径 (mm)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4
体积电阻率 ($\mu\Omega\text{-cm}$)	1.724	2.74	2.66	2.59	2.92	2.92	6.3	6.3	2.5	6.0
Rp(Ω/m)	0.33	0.226	0.231	0.247	0.447	0.214	0.215	0.098	0.238	0.103
Rp比	1.0	0.68	0.70	0.75	1.35	0.65	0.65	0.30	0.72	0.31

图 15

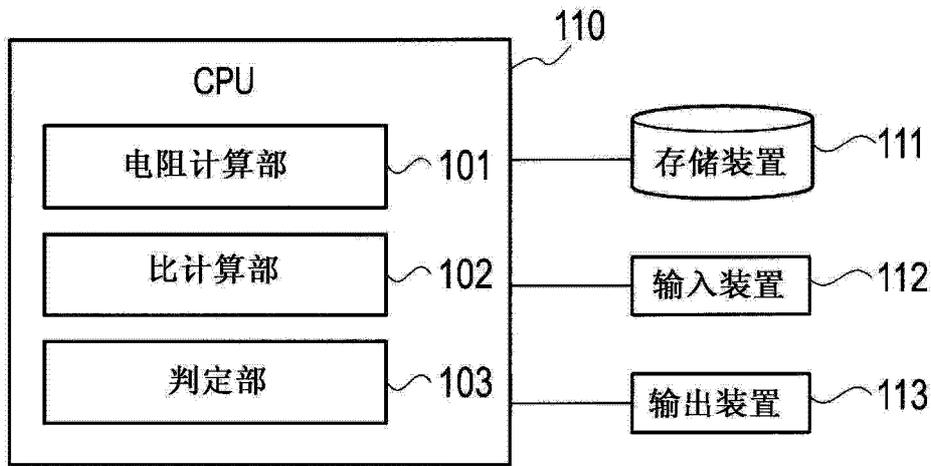


图 16

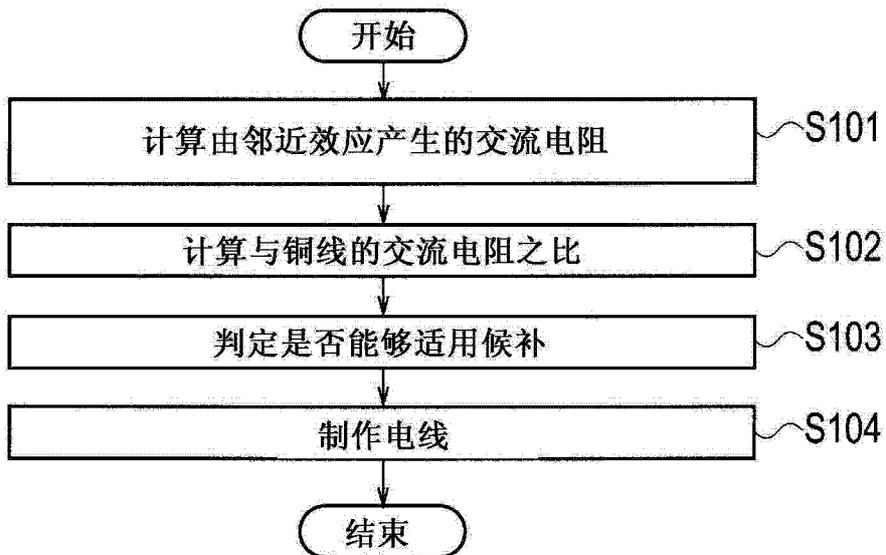


图 17

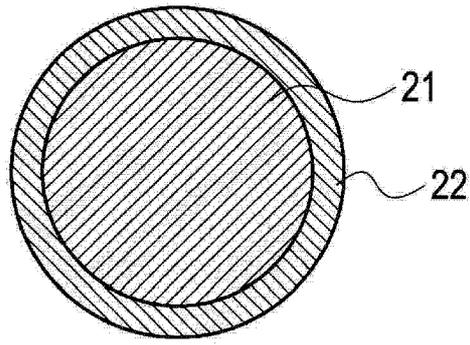


图 18

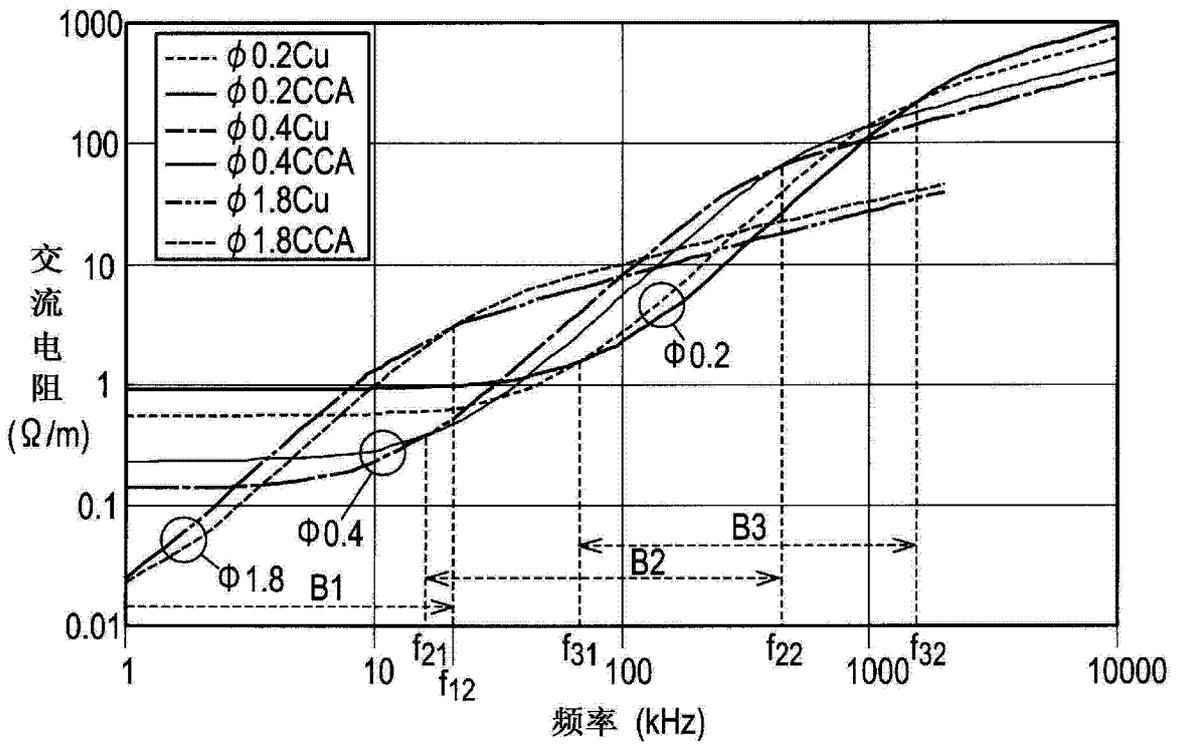


图 19

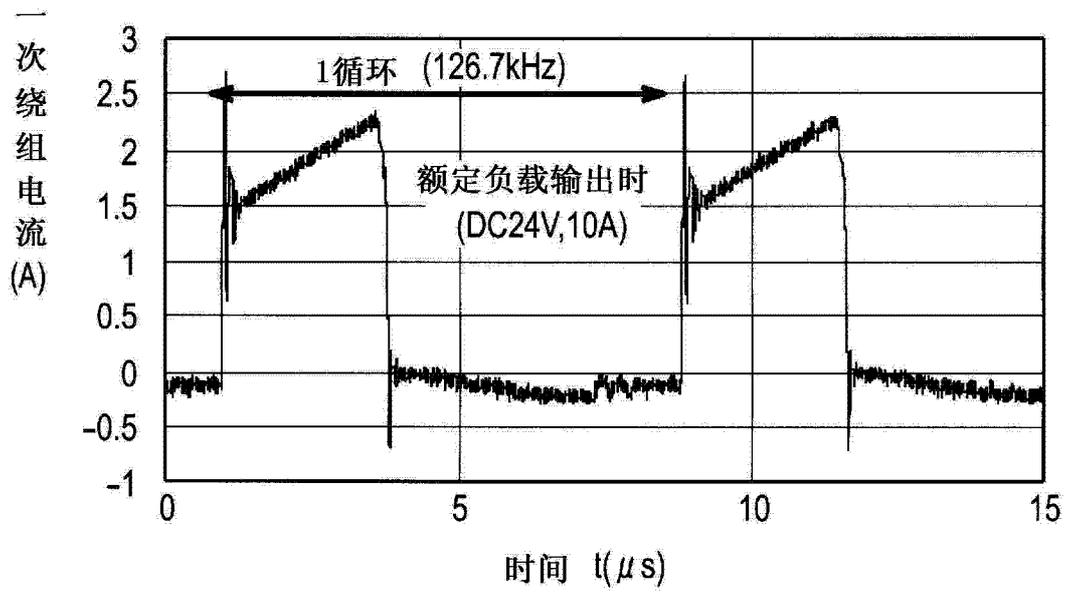


图 20

	频率 (kHz)	电流值 (A)	大小比率 (%)
直流成分	0	0.5793	48.8
基本波	127	1.1865	100.0
2次	253	0.4730	39.9
3次	380	0.1170	9.9
4次	507	0.2989	25.2
5次	633	0.1613	13.6
6次	760	0.1001	8.4
7次	887	0.1727	14.6
8次	1013	0.0692	5.8
9次	1140	0.0844	7.1
10次	1267	0.1216	10.2
11次	1393	0.0252	2.1
12次	1520	0.0817	6.9
13次	1647	0.0789	6.7
14次	1773	0.0117	1.0
15次	1900	0.0734	6.2
16次	2027	0.0572	4.8
17次	2154	0.0226	1.9
18次	2280	0.0632	5.3
19次	2407	0.0363	3.1
20次	2534	0.0186	1.6

图 21

	铜绕组 $\Phi 0.6\text{mm}$	CCA绕组 $\Phi 0.2\text{mm}$
损失 (W)	14.5	8.0

图 22

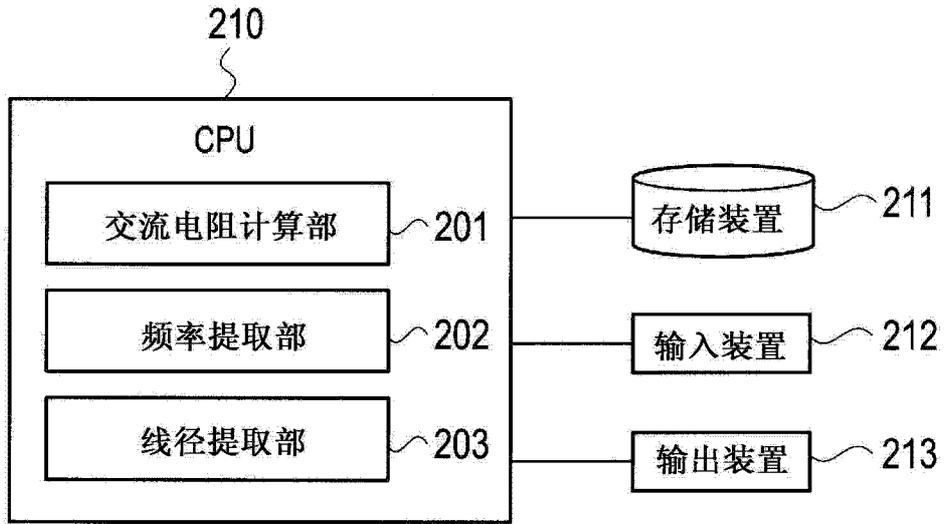


图 23

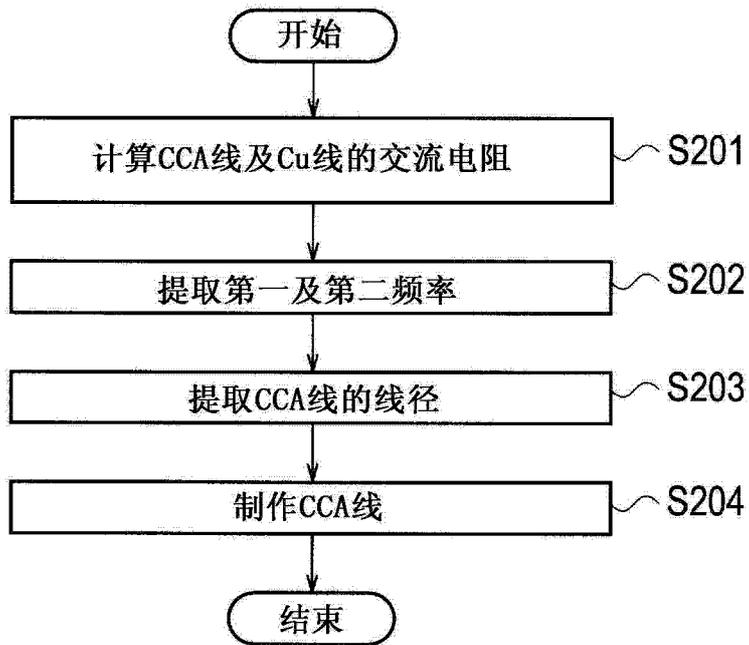


图 24

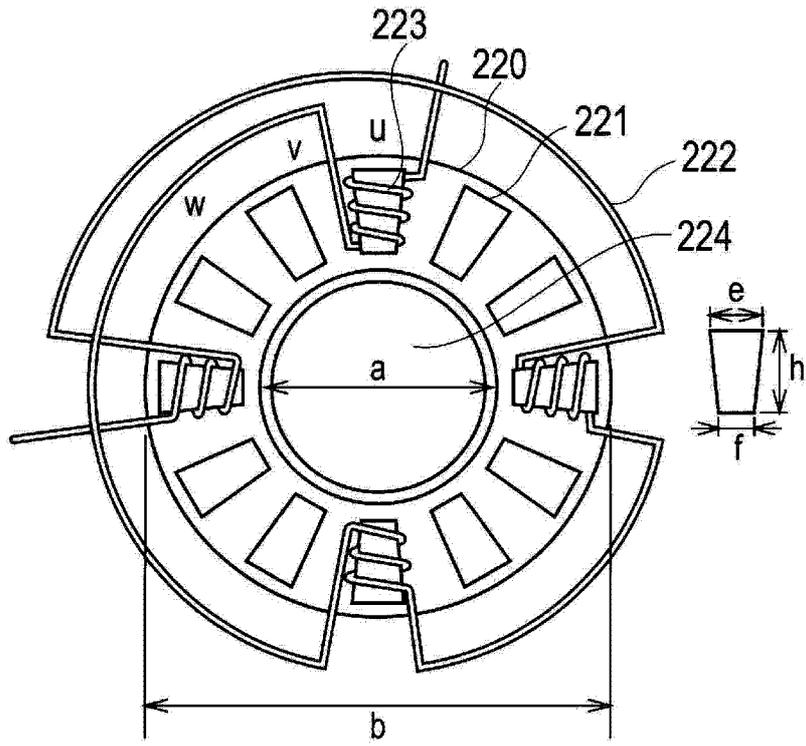


图 25

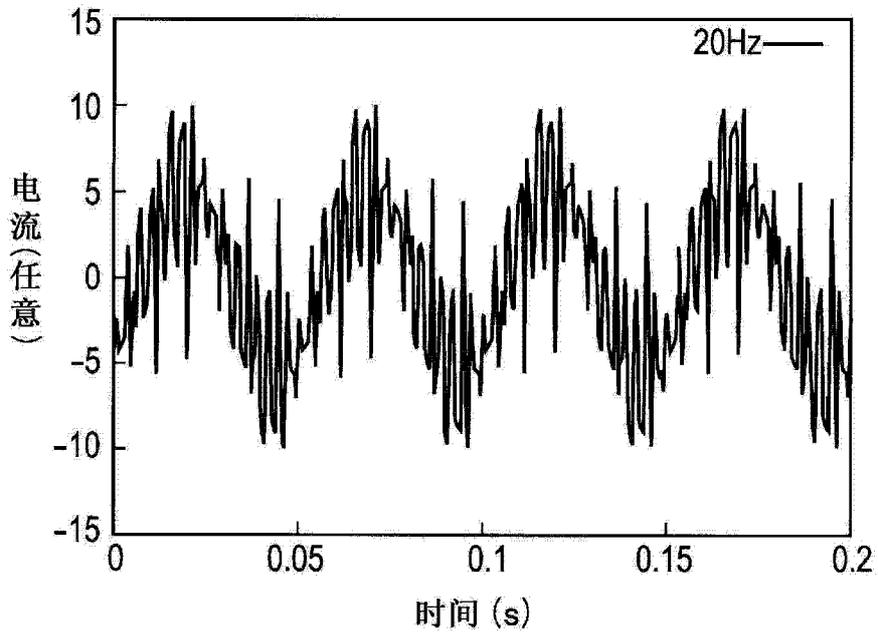


图 26

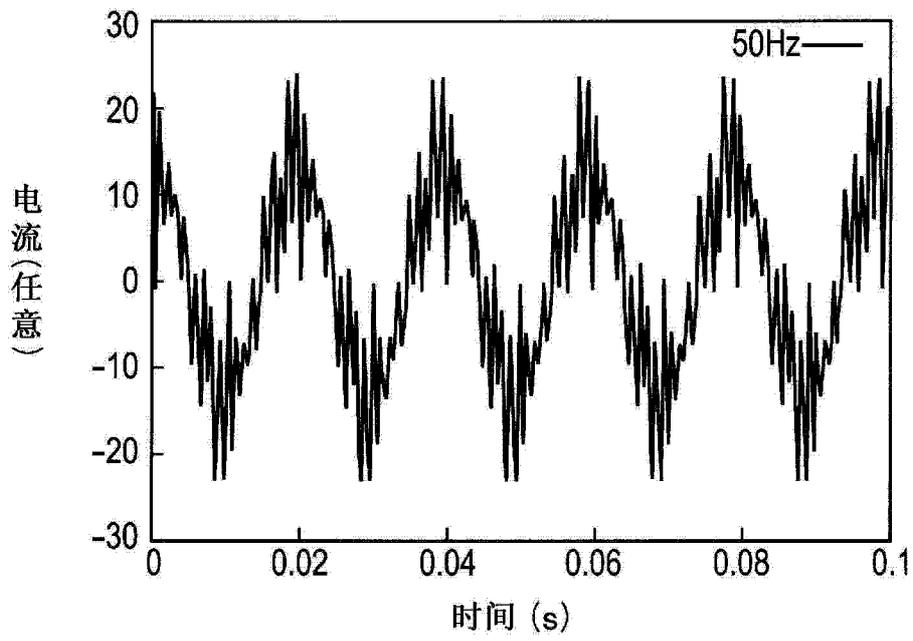


图 27

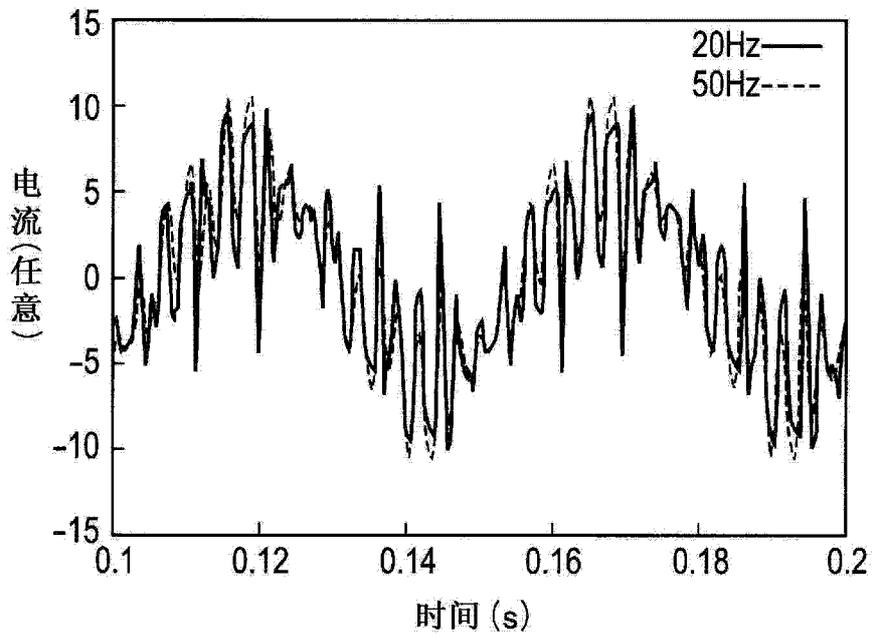


图 28

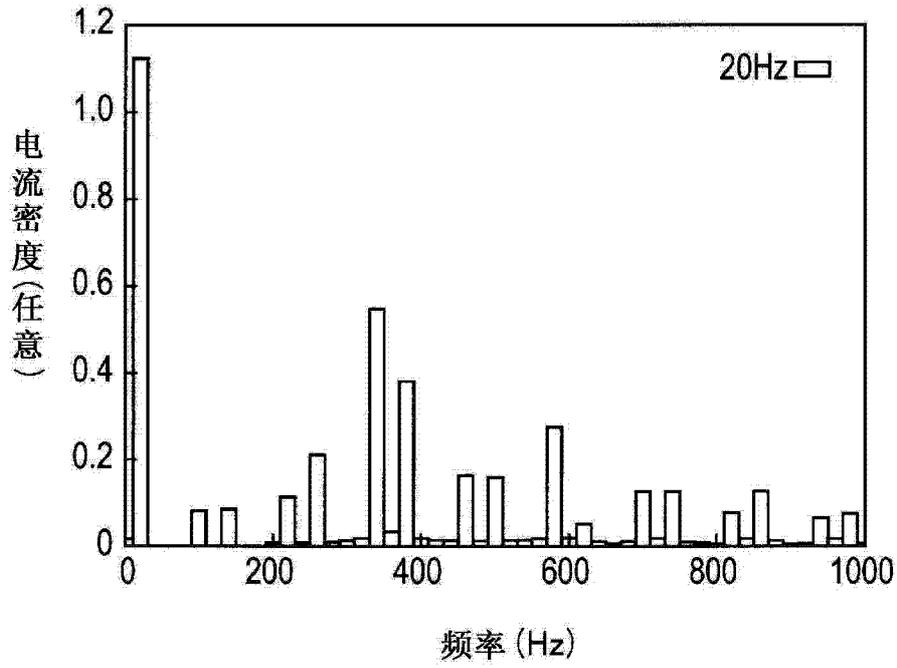


图 29

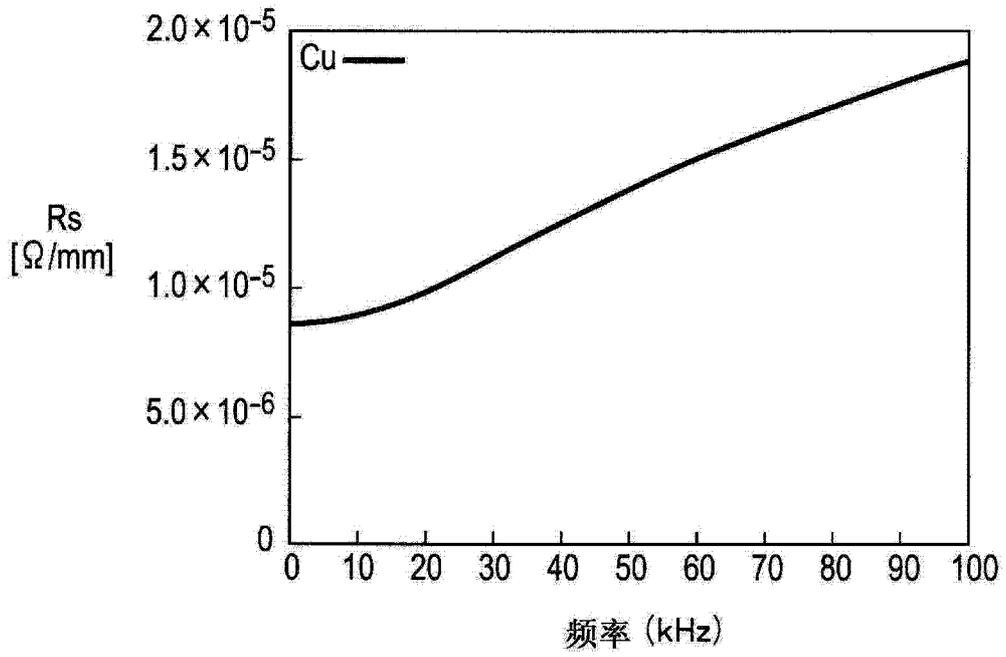


图 30

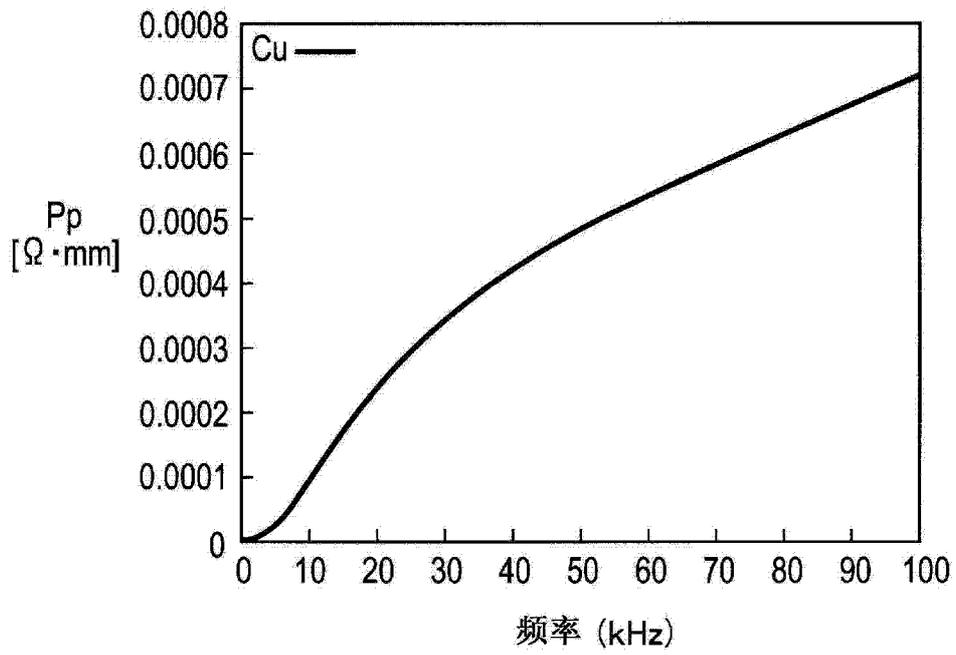


图 31

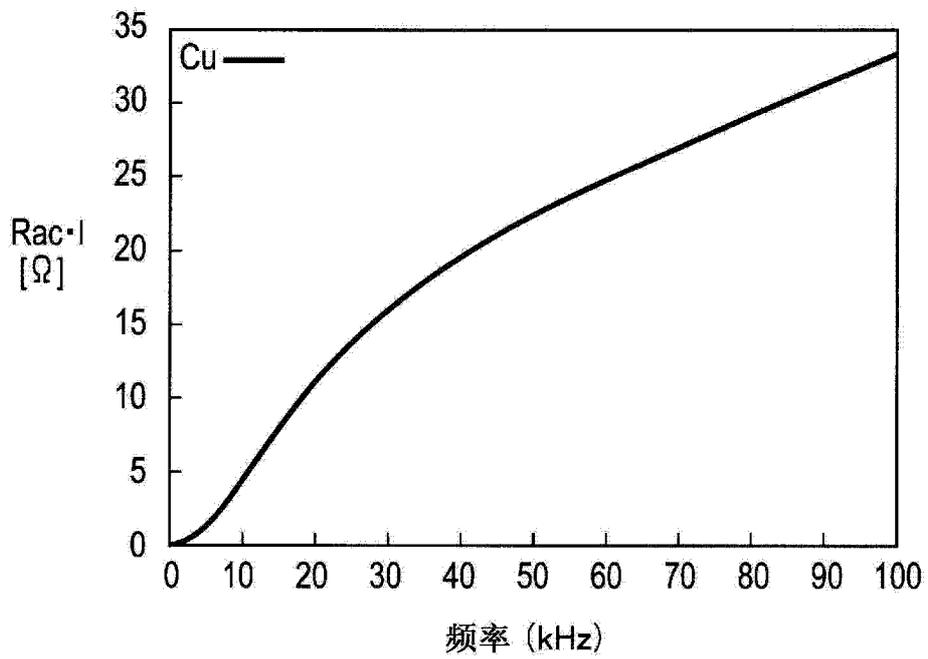


图 32

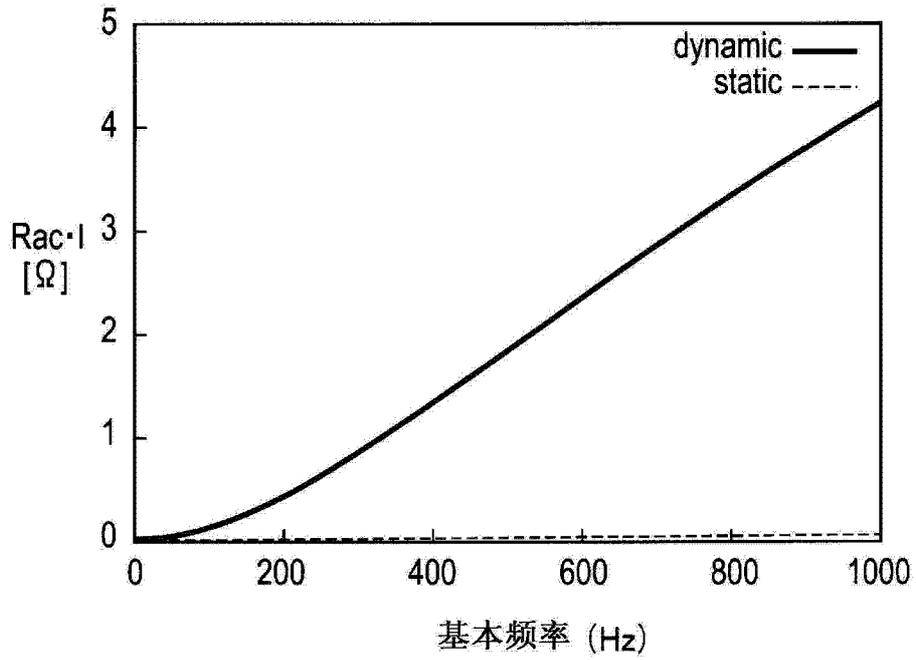


图 33

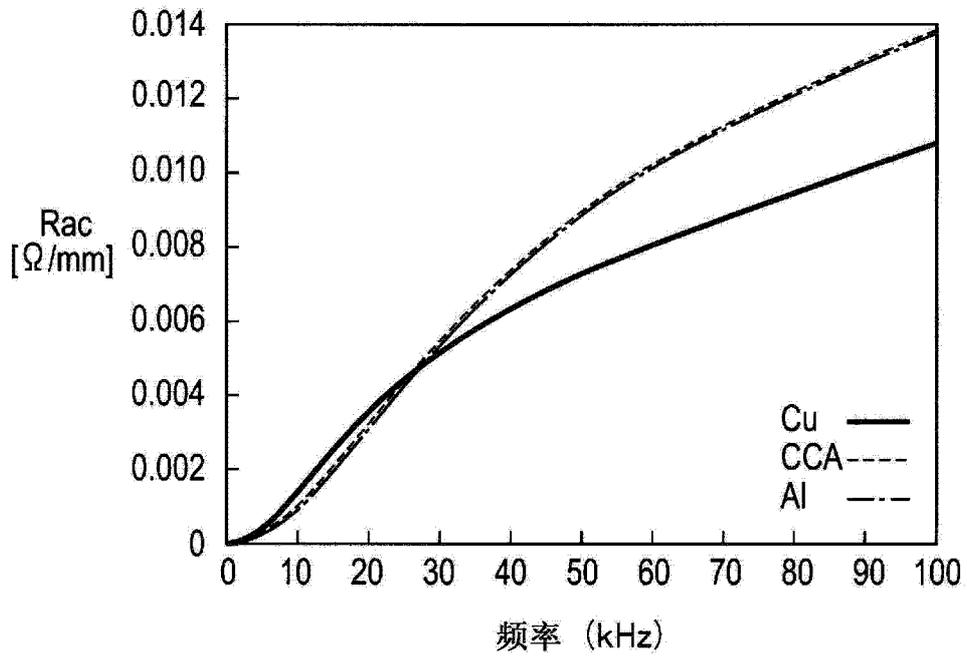


图 34

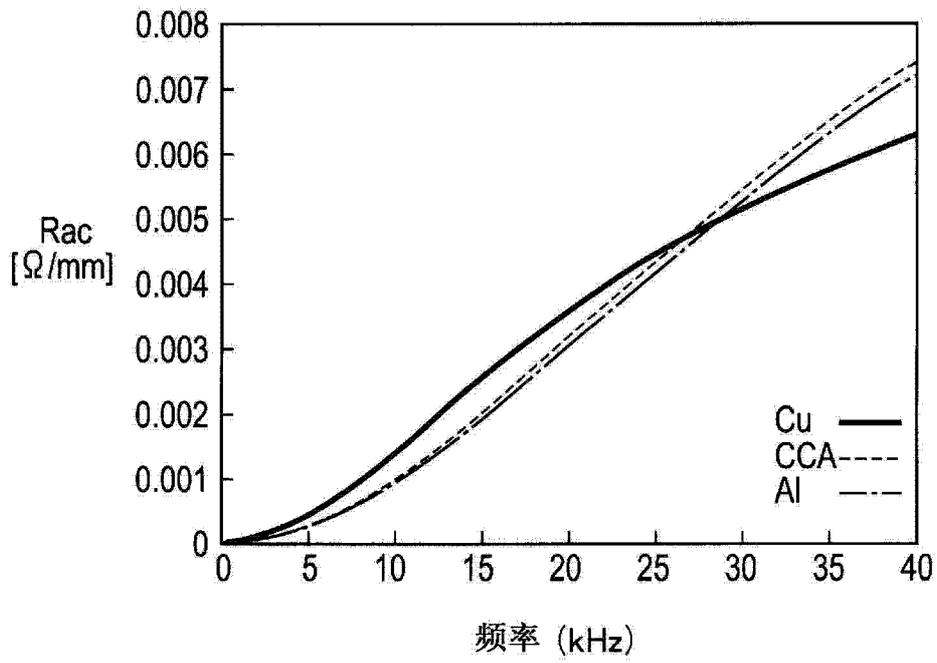


图 35

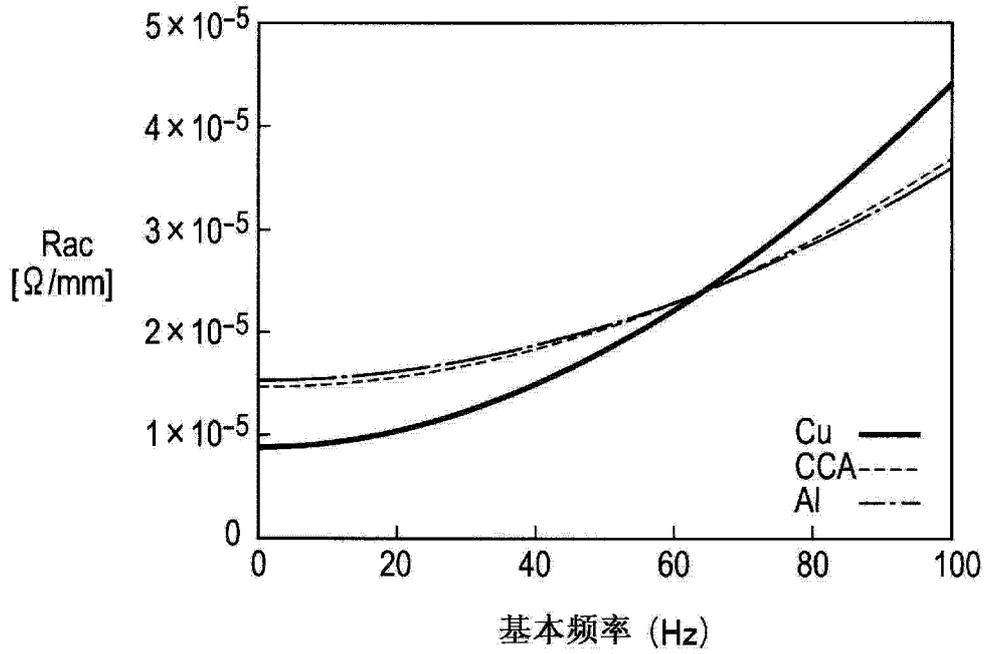


图 36

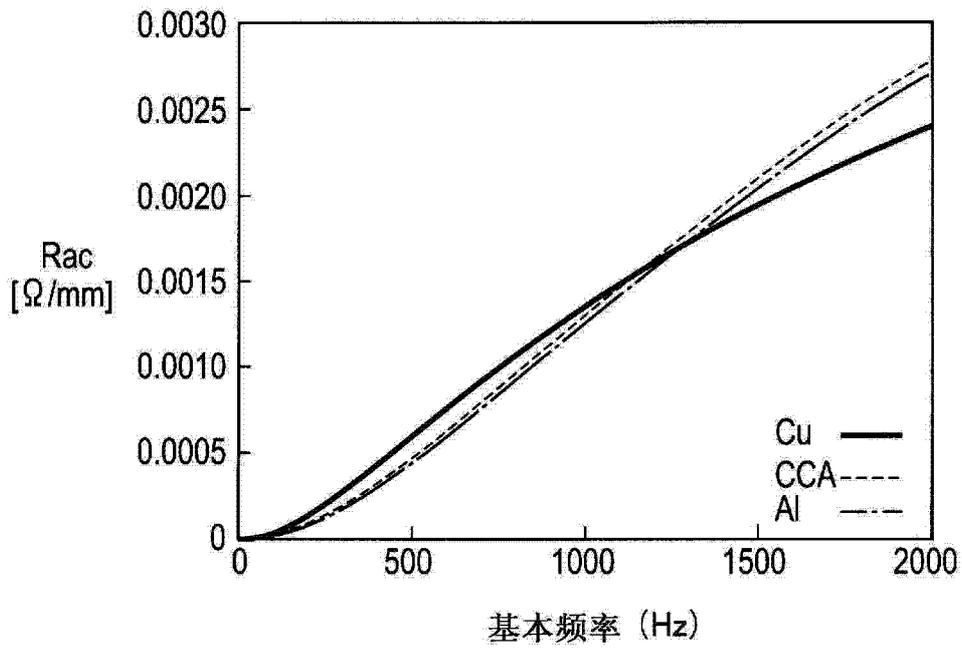


图 37

α [mm ⁻¹]	下限频率 [Hz]	上限频率 [Hz]
2.2	116	1145
3.2	80	1167
3.9	65	1173
4.5	56	1176
5.5	45	1179

图 38

r [mm]	下限频率 [Hz]	上限频率 [Hz]
0.7	98	1522
0.8	65	1173
0.9	45	926

图 39

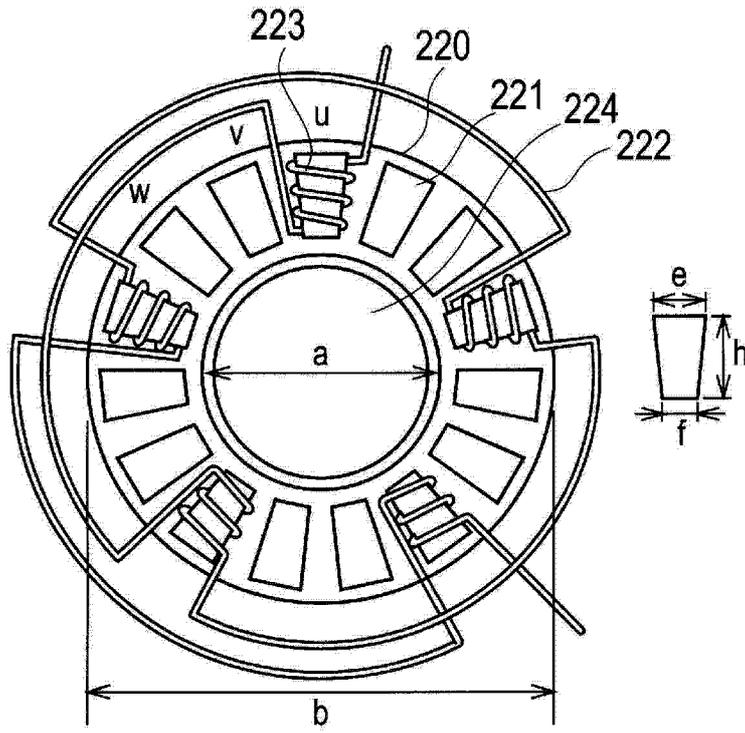


图 40

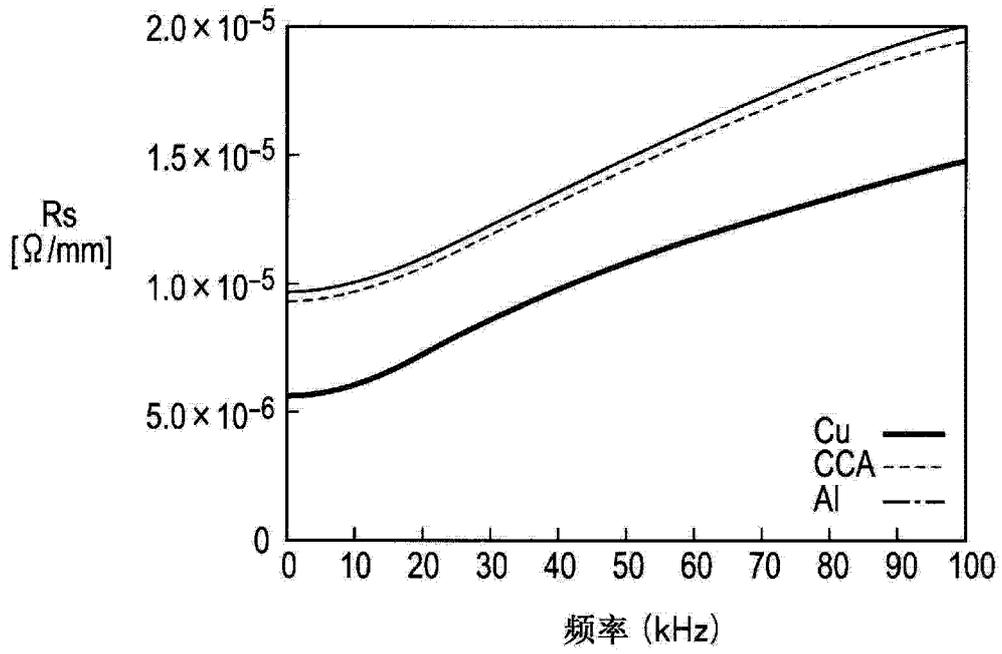


图 41

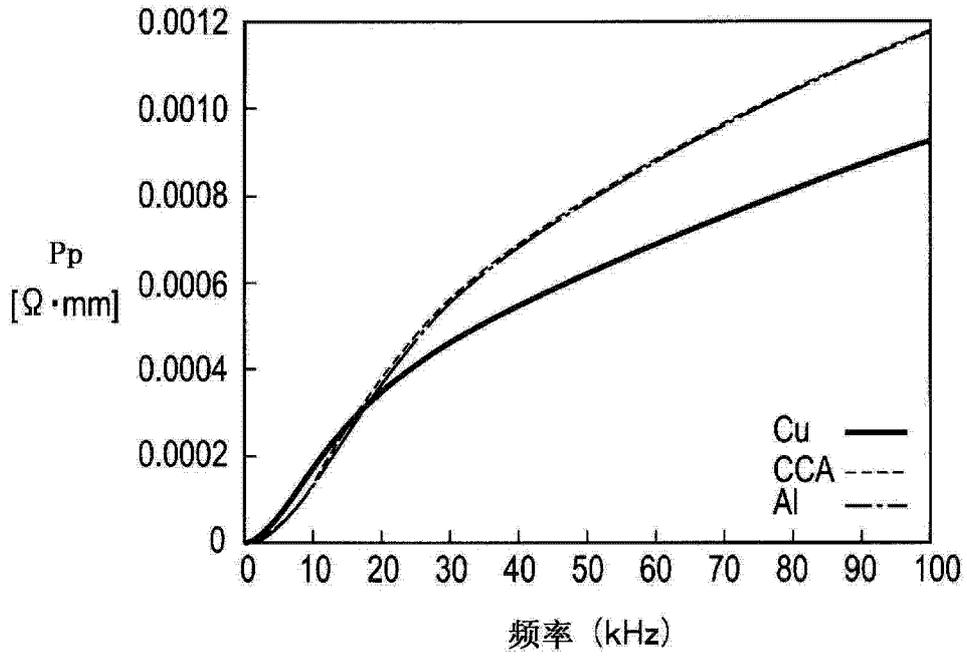


图 42

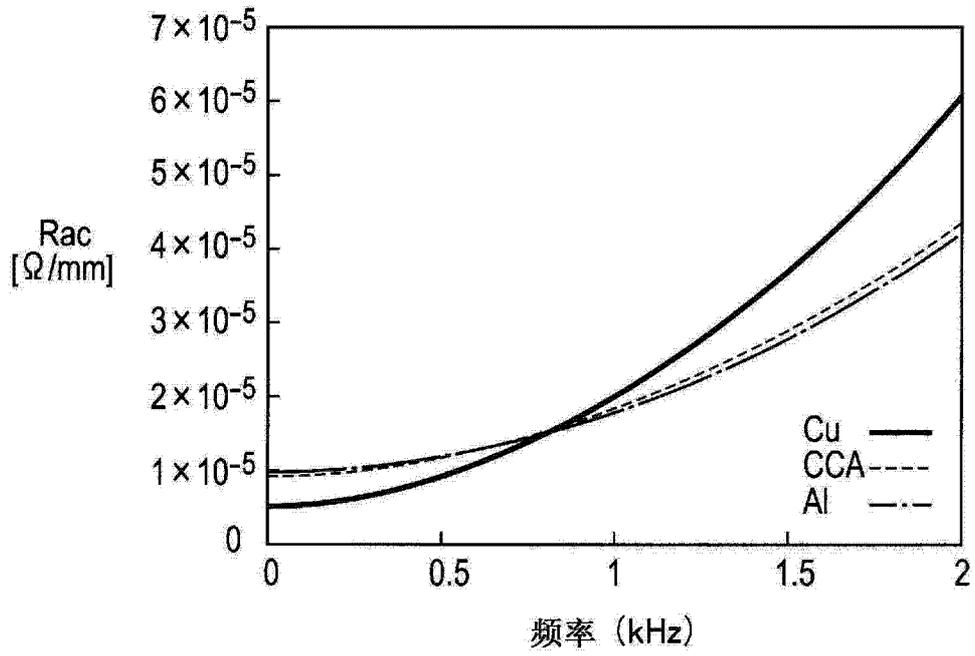


图 43

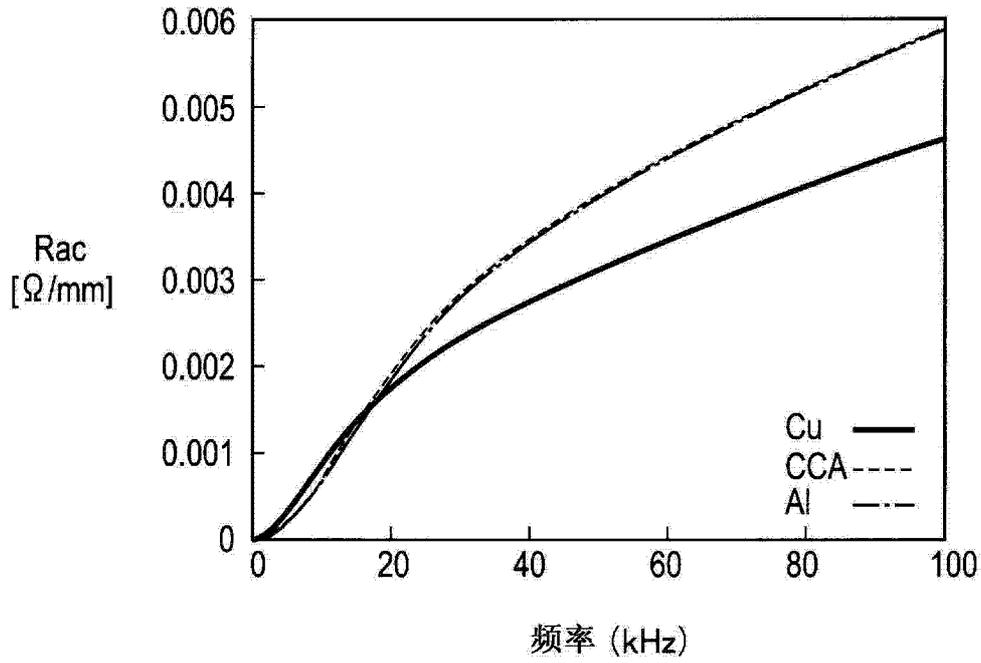


图 44

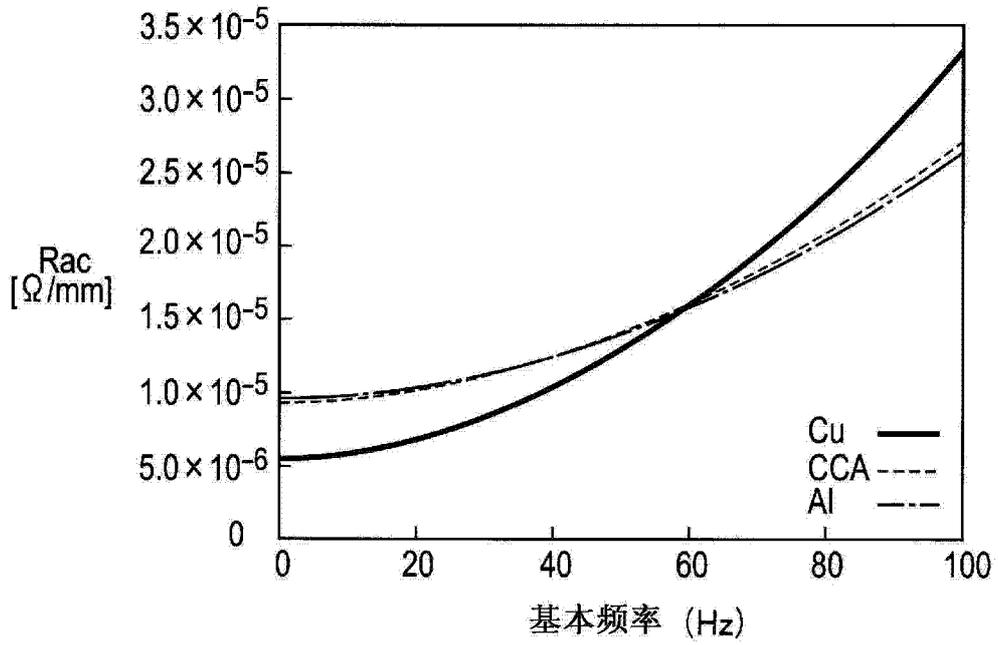


图 45

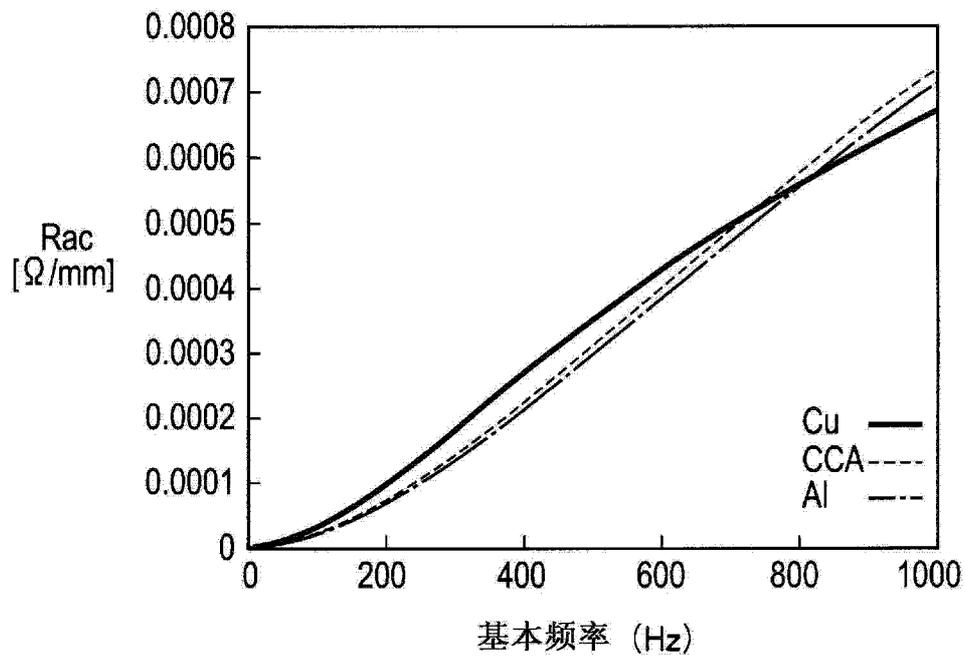


图 46

α [mm ⁻¹]	下限频率 [Hz]	上限频率 [Hz]
1.0	147	670
1.7	77	731
2.2	59	742
3.2	40	750
4.5	27	754

图 47

r[mm]	下限频率 [Hz]	上限频率 [Hz]
0.9	81	910
1.0	59	742
1.1	43	616

图 48

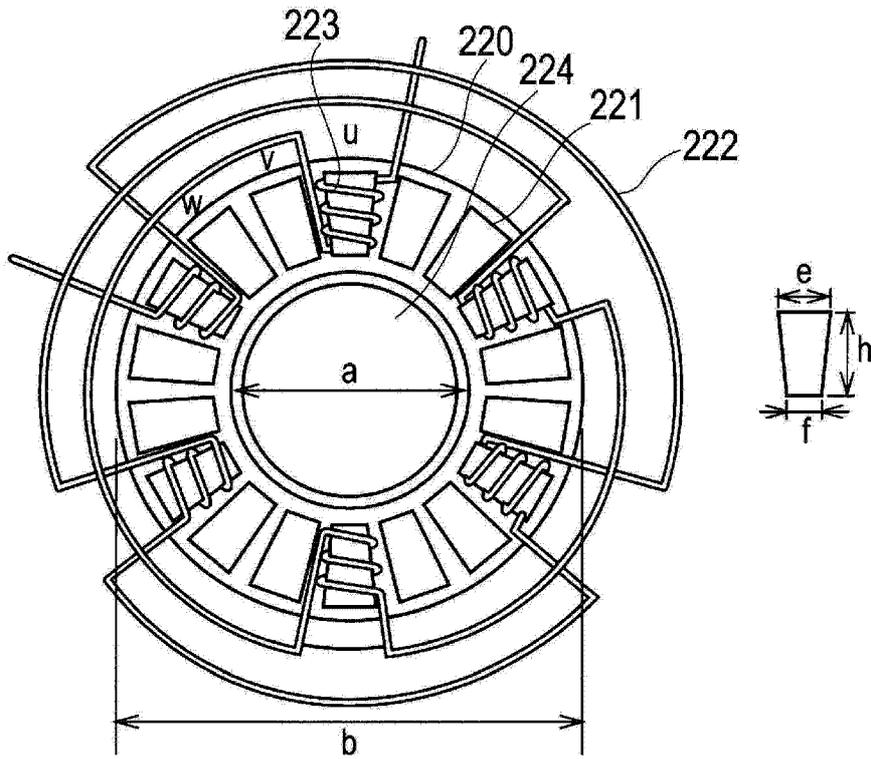


图 49

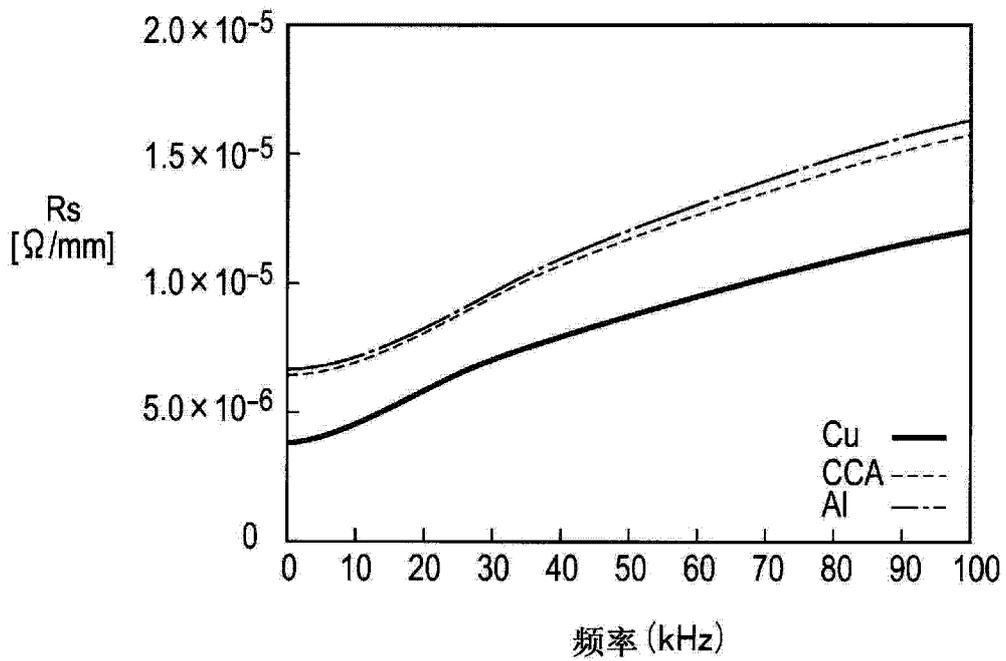


图 50

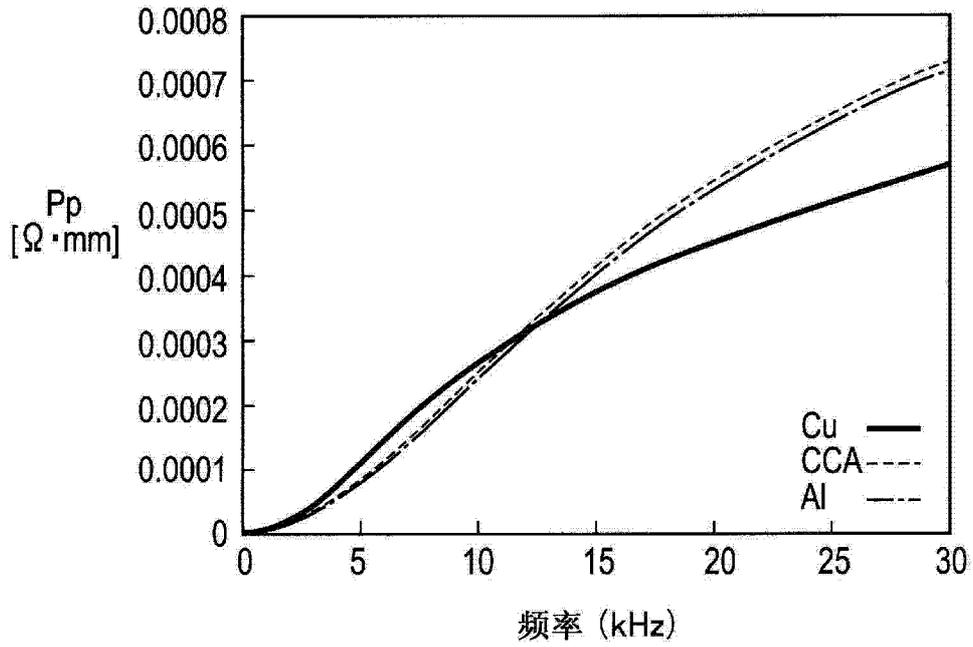


图 51

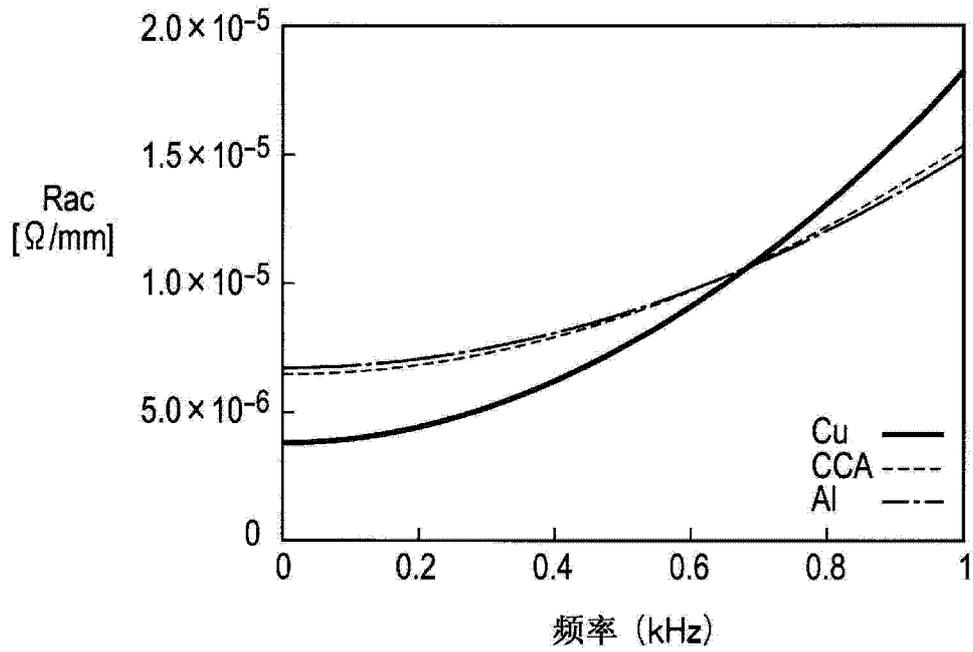


图 52

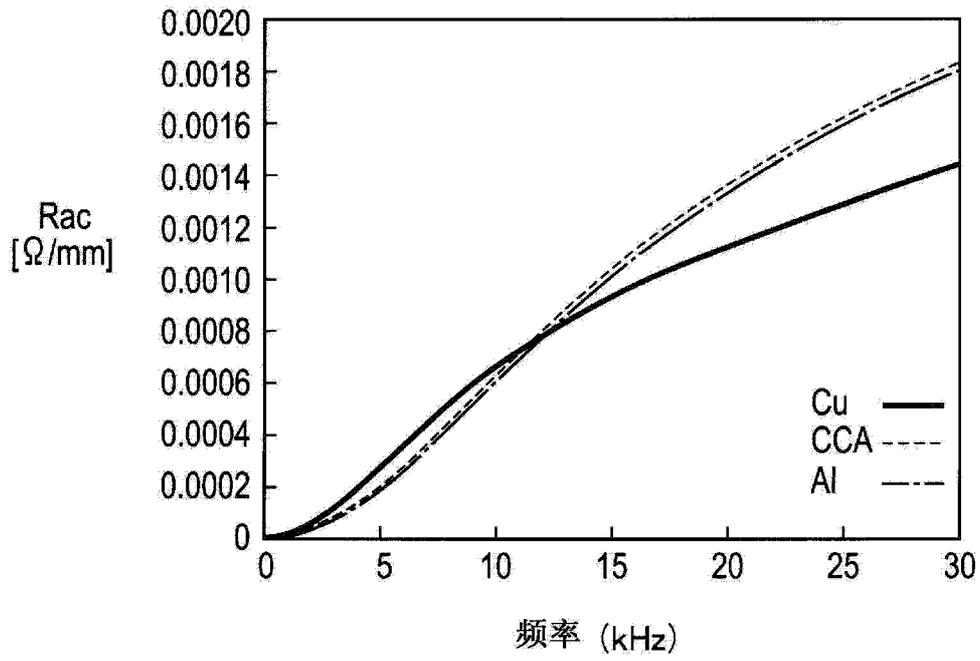


图 53

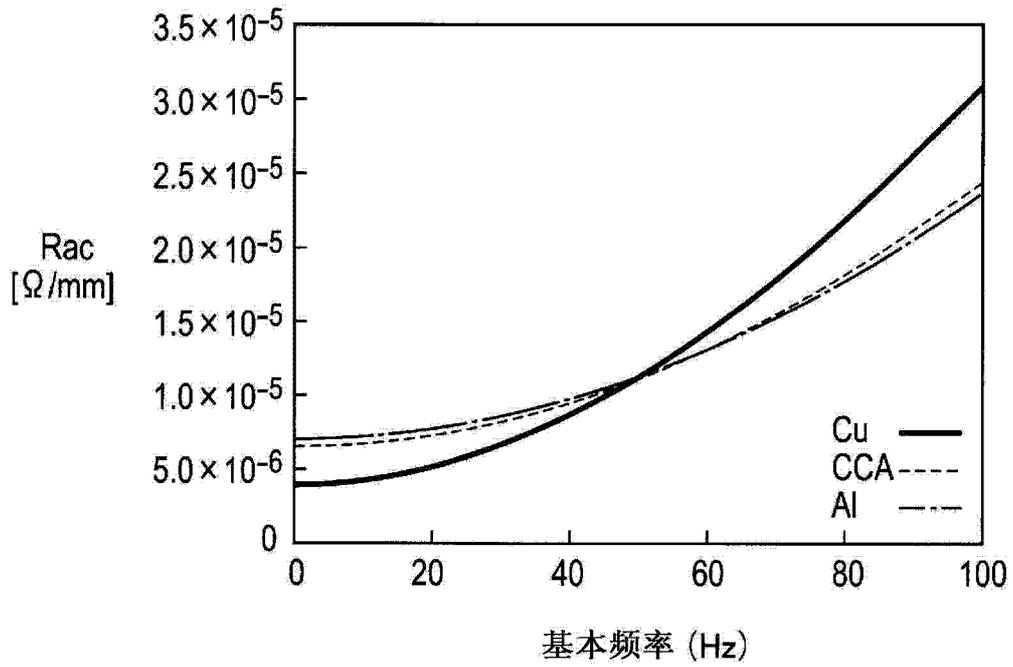


图 54

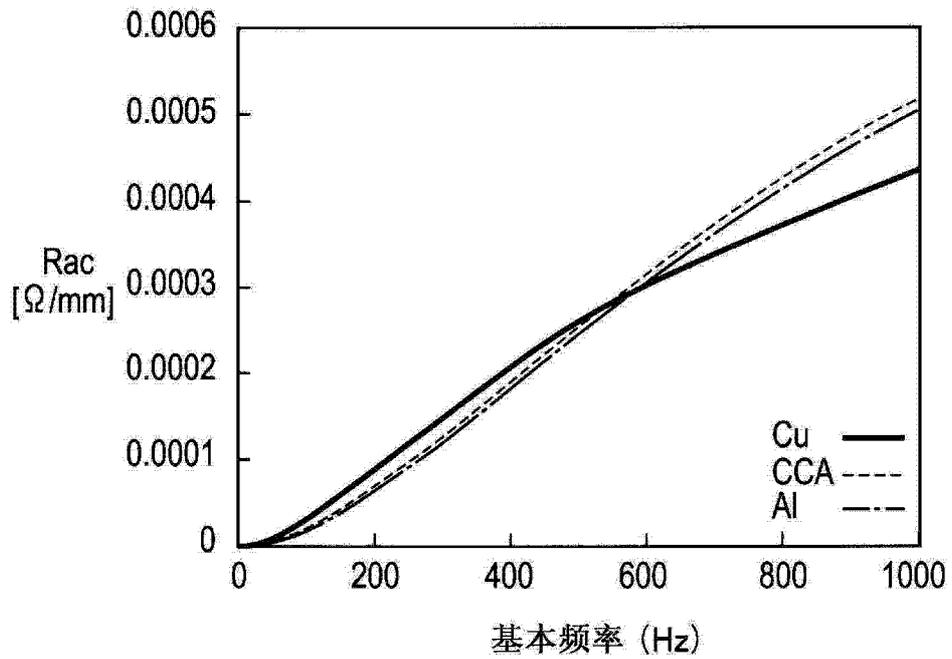


图 55

α [mm ⁻¹]	下限频率 [Hz]	上限频率 [Hz]
0.9	93	477
1.2	64	500
1.6	48	511
2.2	33	519
3.2	22	524

图 56

r [mm]	下限频率 [Hz]	上限频率 [Hz]
1.1	63	604
1.2	48	511
1.3	37	437

图 57

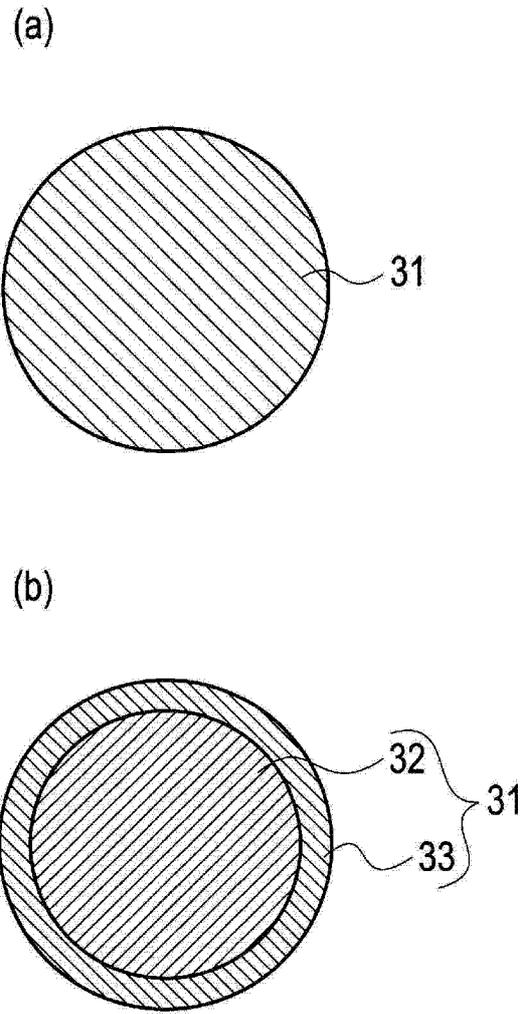


图 58

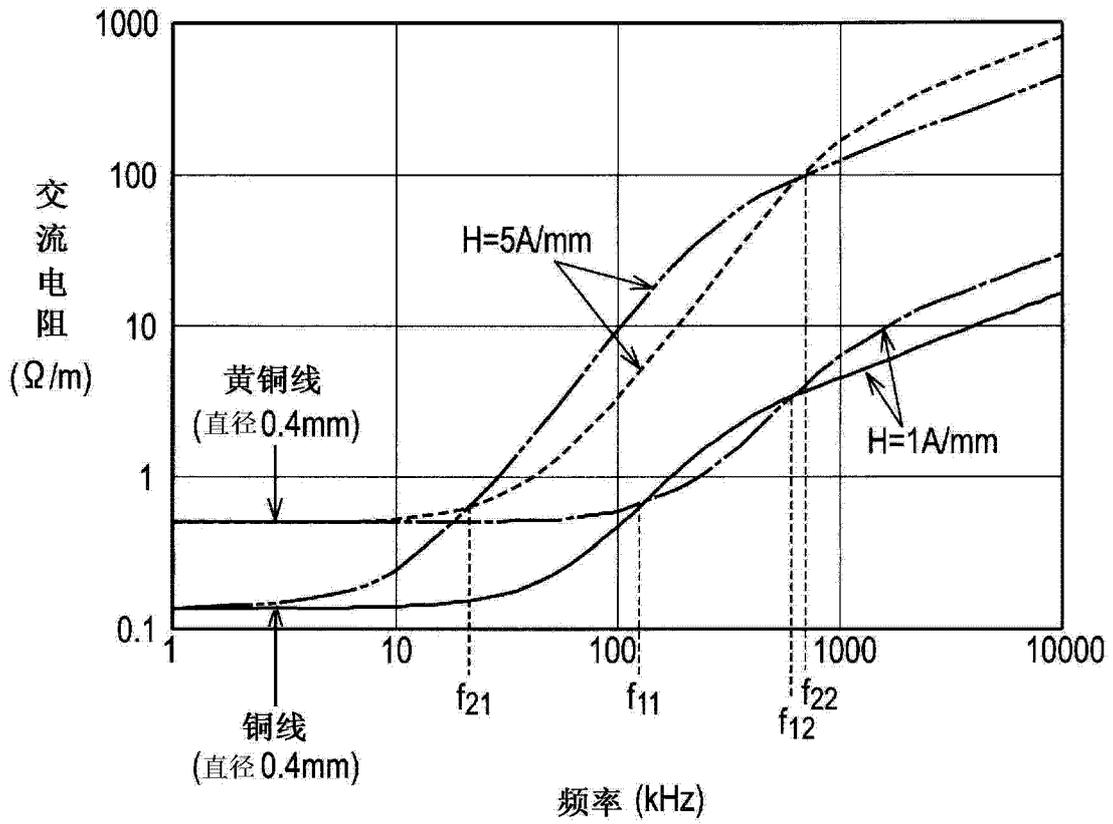


图 59

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
线种	纯Al		5%CCA			10% CCA	15% CCA	5% CCA线 (合金Al)			黄铜		硅青铜	磷青铜	
线径 (mm)	1.8	0.4	0.9	0.4	0.3	0.2	0.4	0.6	0.4	0.2	0.6	0.4	0.2	0.4	0.4
基准直流电阻 (mΩ/cm)	0.11	2.25	0.43	2.18	3.88	8.47	2.06	1.03	2.32	9.28	2.22	5.01	20	1.99	4.78
第二频率 (KHz)	22	410	82	410	730	1530	370	157	385	1540	271	611	2445	385	596

图 60

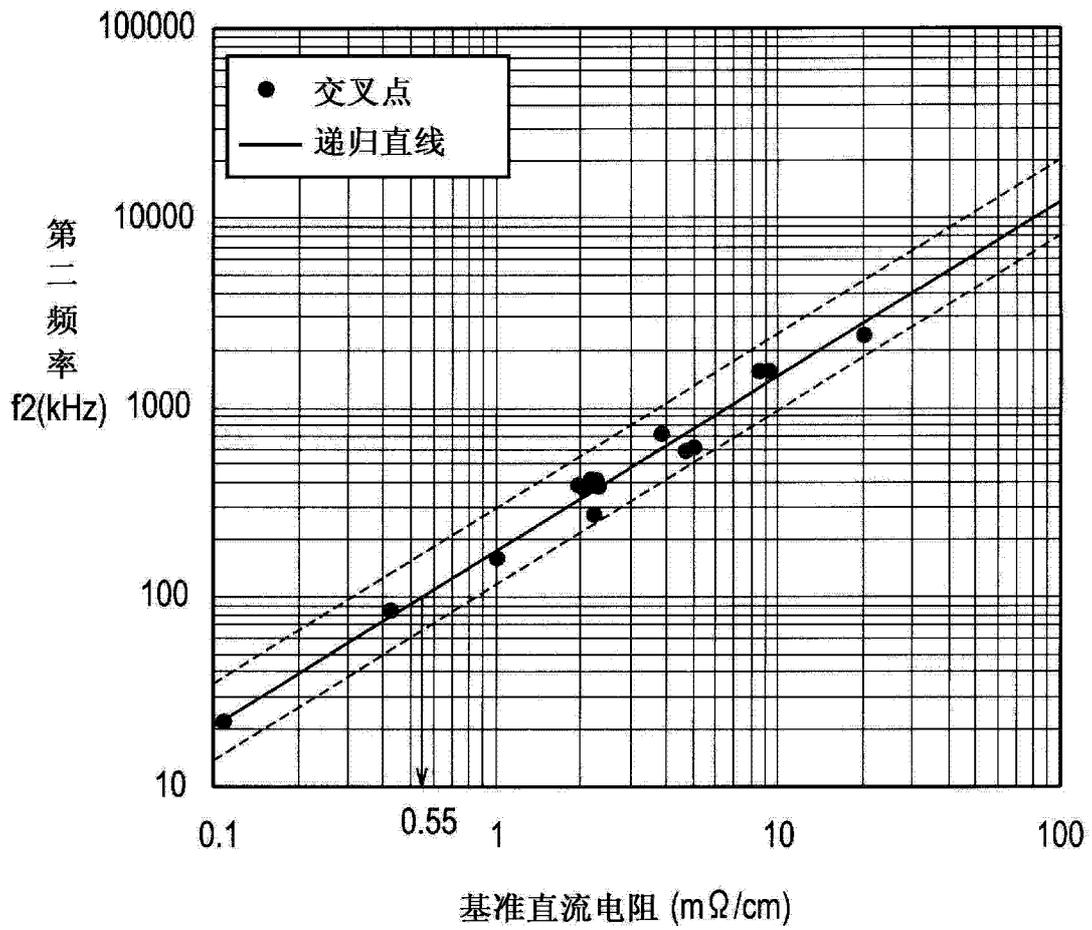


图 61

	铜绕组 $\Phi 0.6mm$	黄铜绕组 $\Phi 0.2mm$
损失 (W)	14.5	5.3

图 62

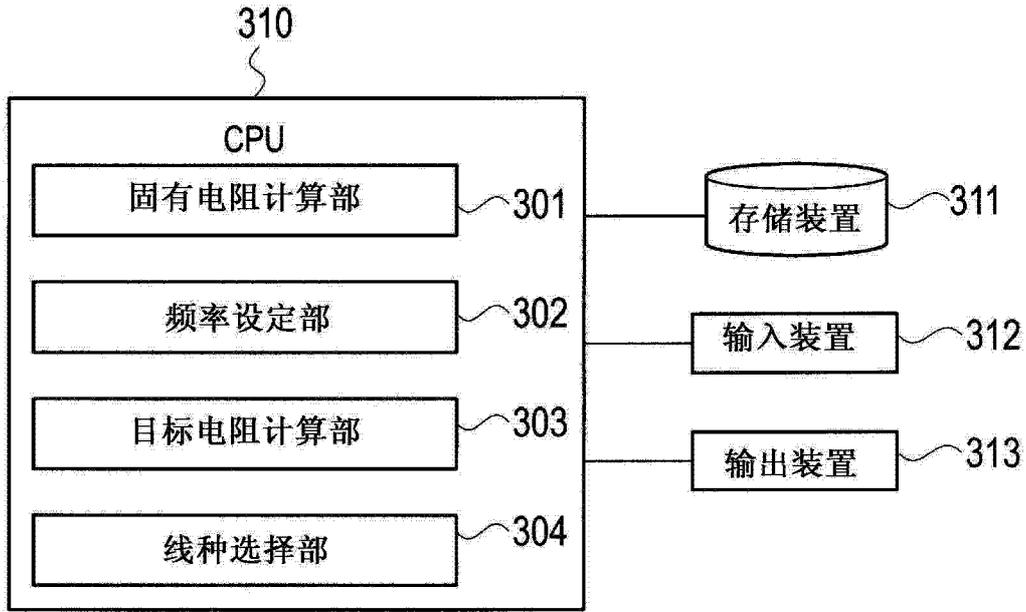


图 63

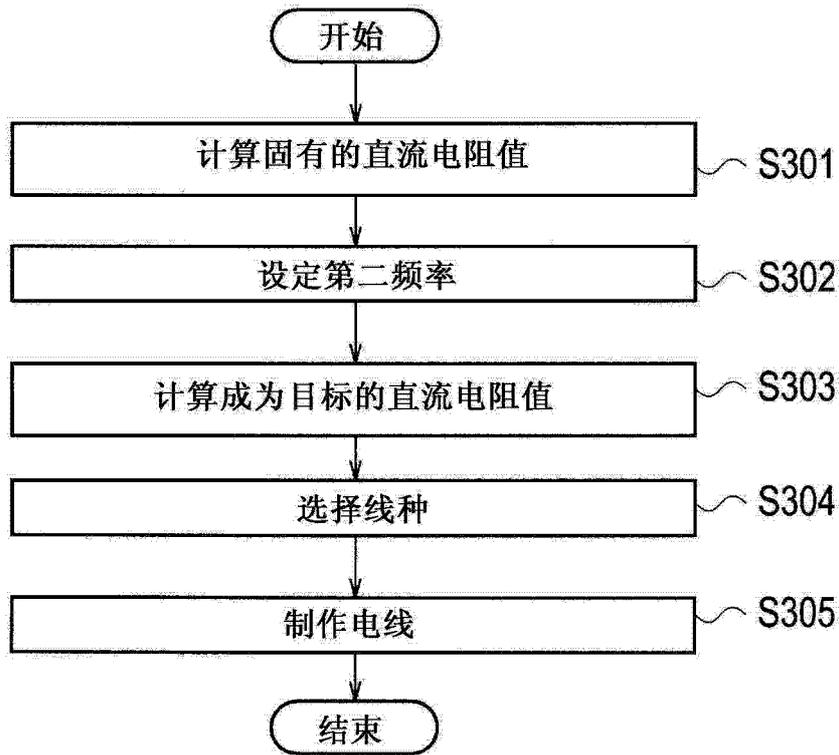


图 64

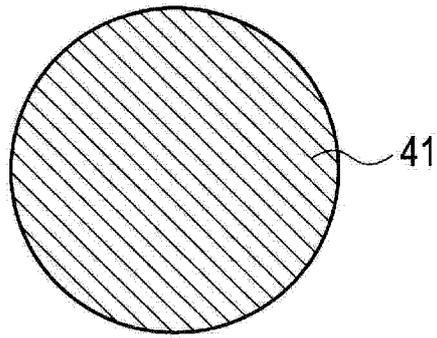


图 65

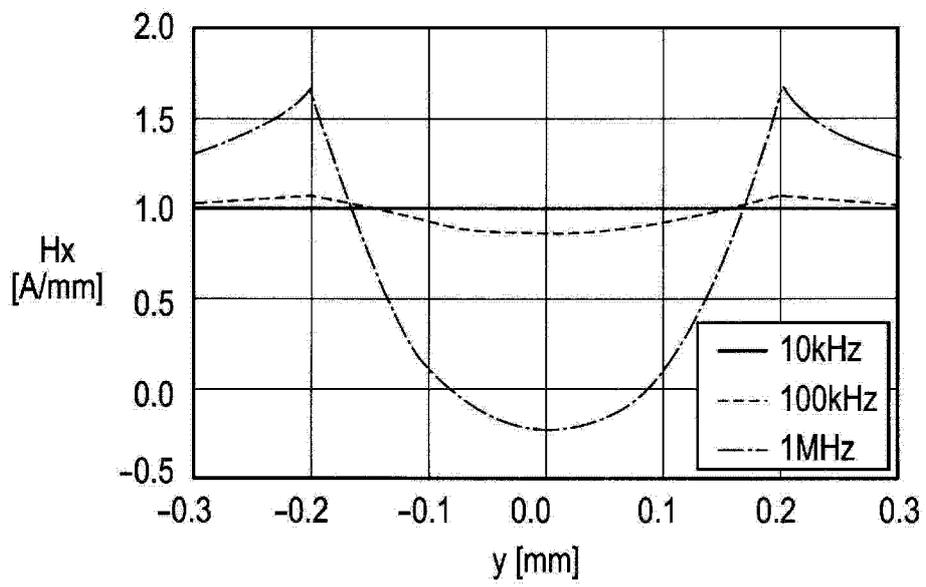


图 66

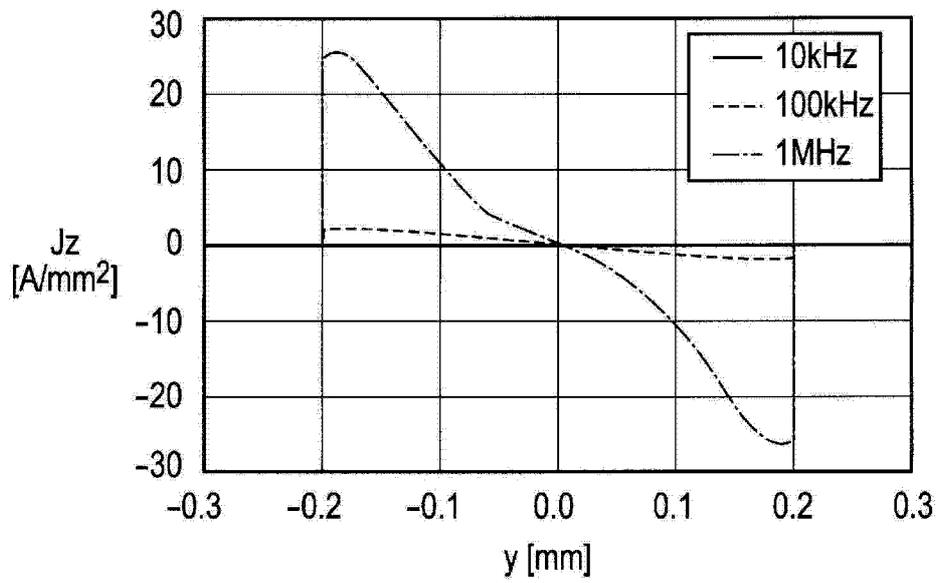


图 67

	体积电阻率 ($\mu\Omega\text{-cm}$)
铜	1.724
纯铝	2.826
黄铜	5~7
硅青铜	2.5~4.3
磷青铜	6.0~6.5

图 68

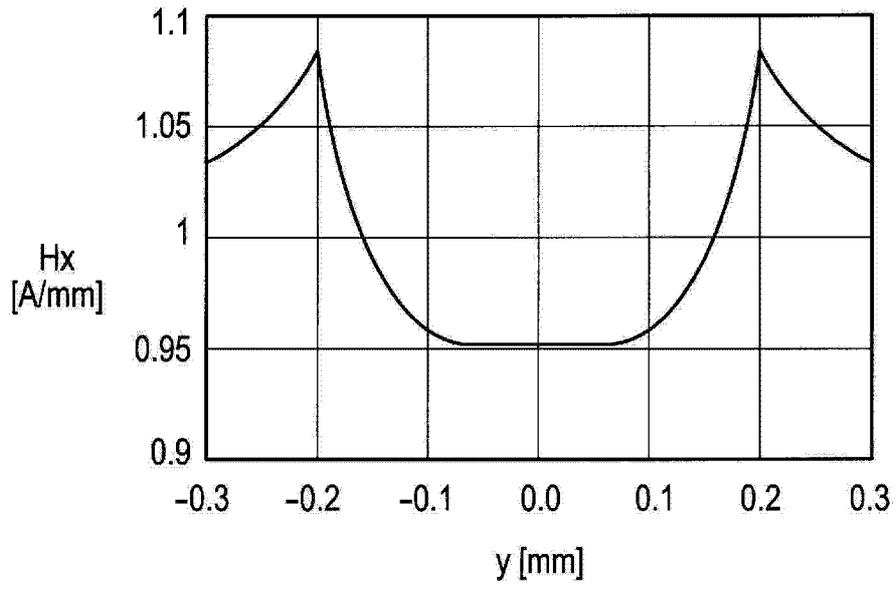


图 69

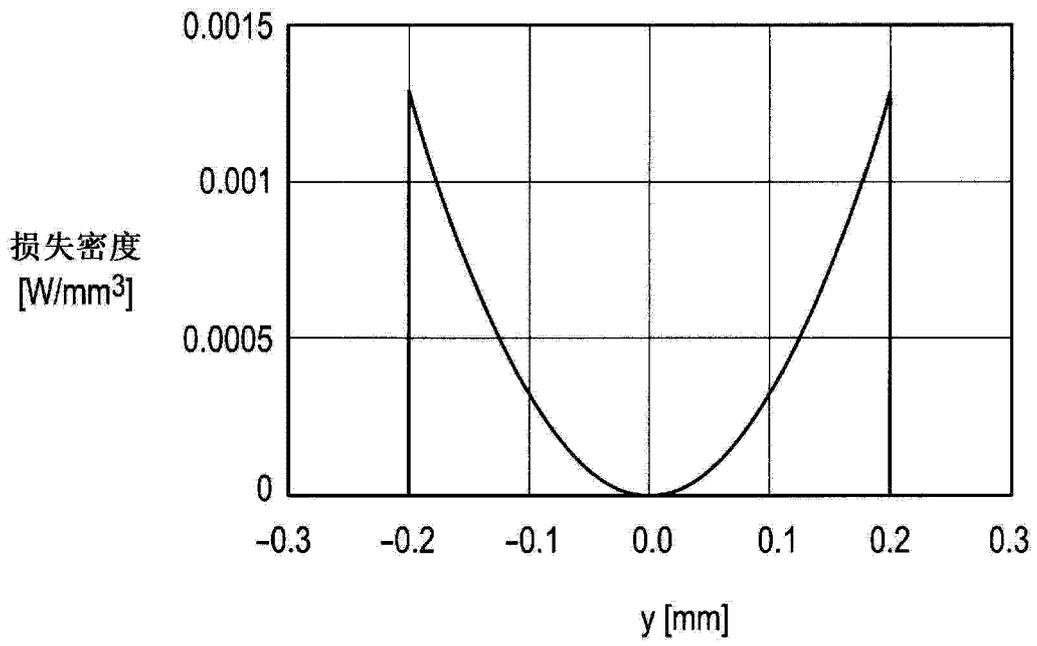


图 70

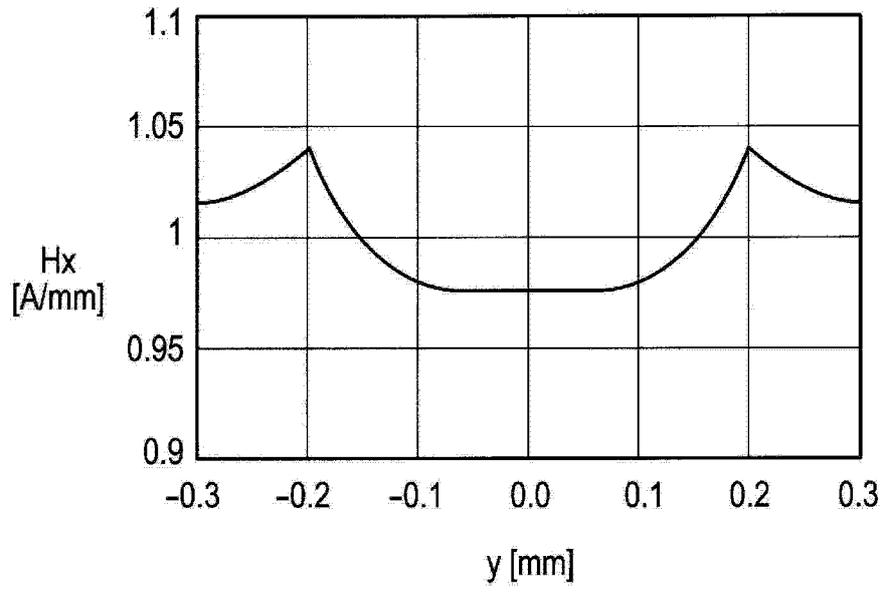


图 71

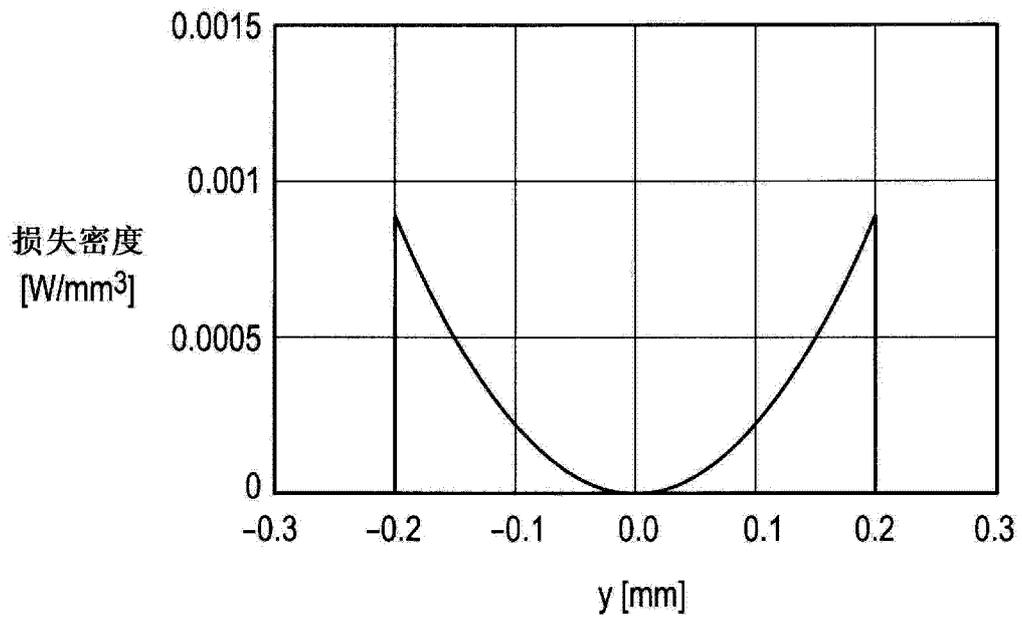


图 72

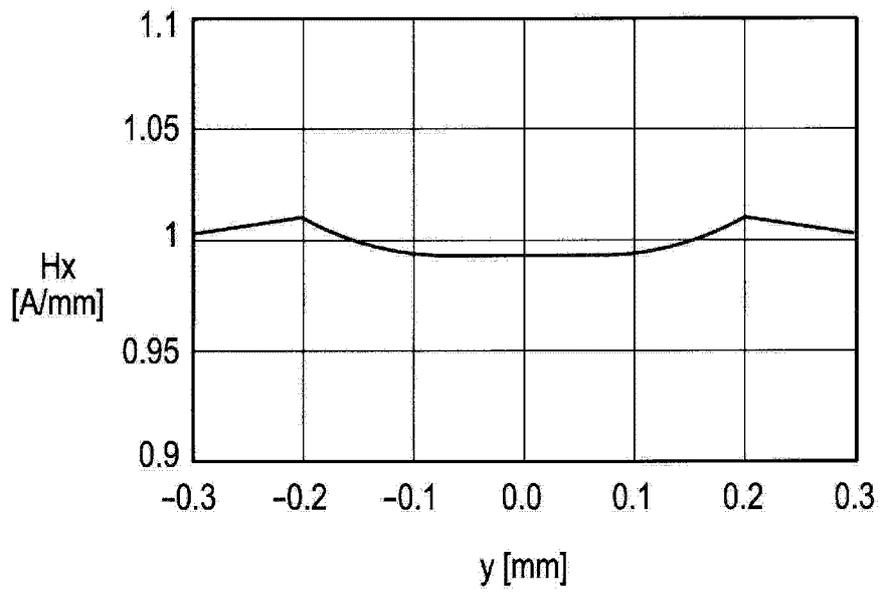


图 73

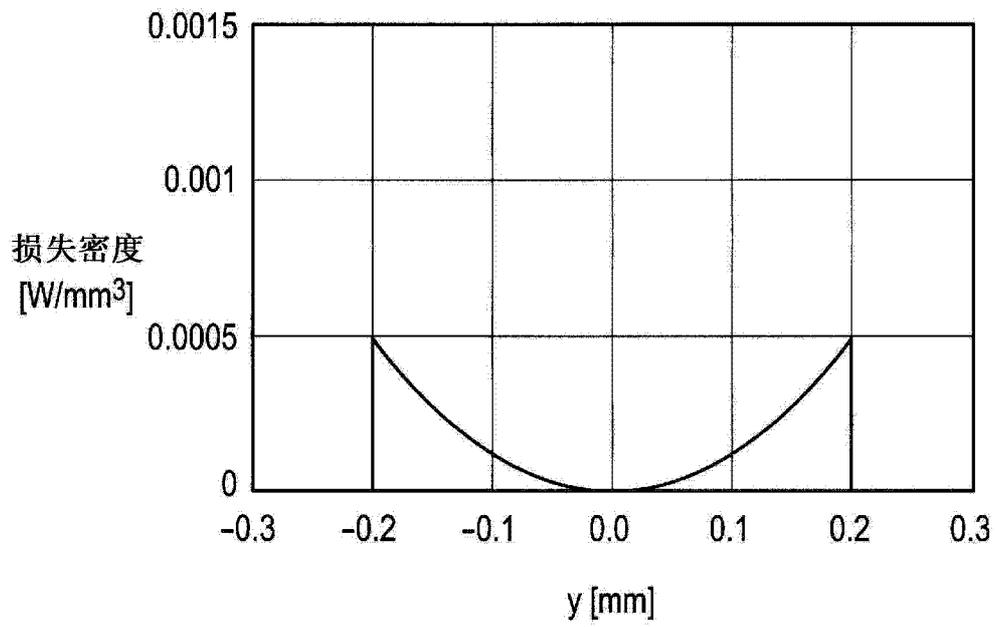


图 74

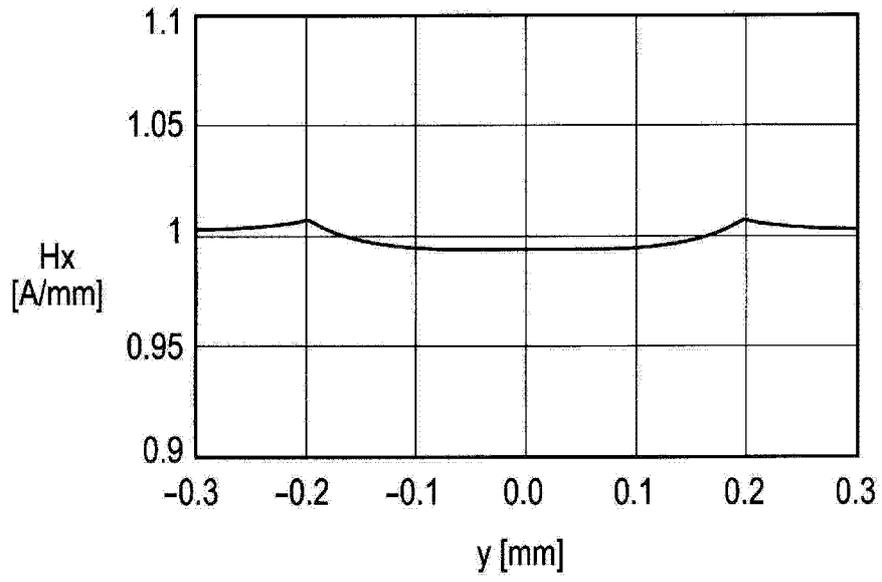


图 75

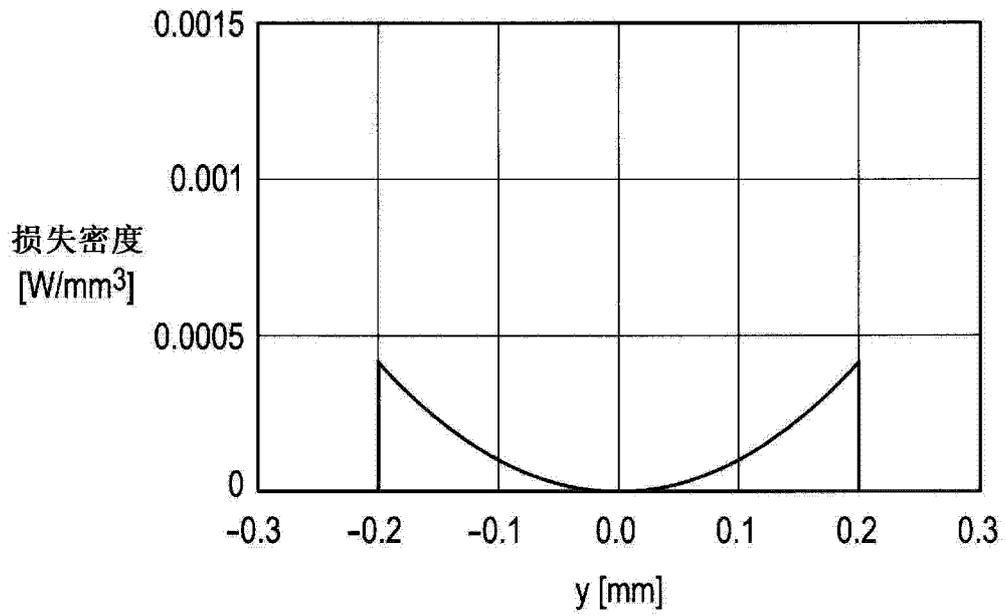


图 76

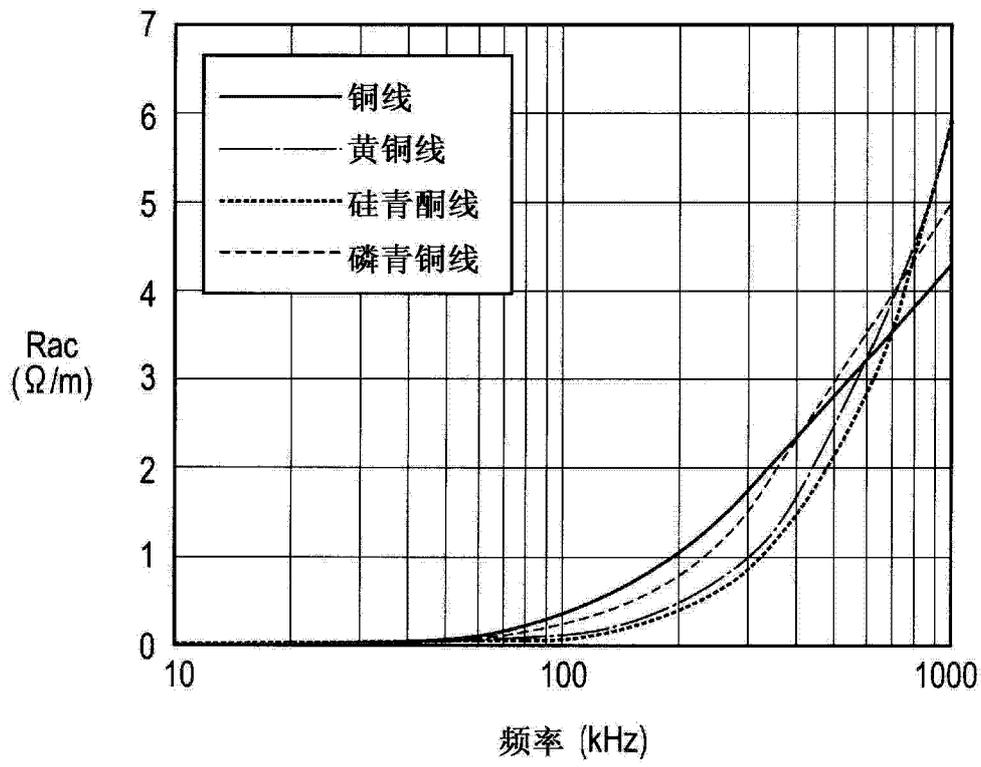


图 77