



〔12〕发明专利申请公开说明书

〔11〕CN 86 1 05283 A

CN 86 1 05283 A

〔43〕公开日 1987年3月18日

〔21〕申请号 86 1 05283

〔22〕申请日 86.8.16

〔30〕优先权

〔32〕85.8.19 〔33〕荷兰 〔31〕8502273

〔71〕申请人 飞利浦光灯制造公司

地址 荷兰艾恩德霍芬格陵组沃德路1号

〔72〕发明人 鲁道夫·凯姆纳

威廉穆斯·赖纳里厄斯·玛丽亚·门斯

希尔科·西奥多勒斯·卡尔米赞

〔74〕专利代理机构 中国专利代理有限公司

代理人 何关元

〔54〕发明名称 包含鸟笼式射频线圈的磁谐振成像装置

〔57〕摘要

在磁谐振成像装置中射频线圈的设计基础是围绕中央线圈轴的圆形柱体表面内为余弦电流分布, 根据一般可用的成环连通条件 $Z = -KZ$, K 是与棒的数目及几何尺寸偏差有关的正常数, Z 是棒导体的阻抗, Z 是每两个棒导体之间的环导体元件的阻抗。基于上述条件的线圈很适应于装置中特殊棒导体的寄生电容, 也适应于被探查客体的一般形状。

242/87103182/35

1. 一磁谐振成像装置，它包括一基本上为圆柱形的射频线圈，在这线圈中若干棒导体与轴平行地延伸于圆柱体的圆柱体表面，这些导体在圆形柱体的周边产生一个基本上为余弦的电流分布，本发明的特征在于经由围绕圆柱体轴的环导体对棒导体驱动，并且对棒导体进行配置和耦合，以致满足下列成环连通条件：

$$\frac{Z_1}{Z_2} = 0,5 \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \pi/n}} - 1 \right]$$

其中 Z_1 是两个棒导体之间的环导体部分的阻抗， Z_2 是棒导体的阻抗，以及 n 是棒导体的数目。

2. 根据权利要求1的磁谐振成像装置，其特征在于对线圈的谐振频率来说，棒导体的阻抗基本上是电感性的，并且环导体的阻抗基本上是电容性的。

3. 根据权利要求1的磁谐振成像装置，其特征在于棒导体的阻抗基本上是电感性的，并且环导体的阻抗包括一串联连接的电容和自电感。

4. 根据权利要求1的磁谐振成像装置，其特征在于棒导体的阻抗基本上是电感性的，环导体的阻抗包括一并联连接的自电感和电容。

5. 根据权利要求4的磁谐振成像装置，其特征在于环导体元件的转换电路是由同轴电缆构成的。

6. 根据权利要求1的磁谐振成像装置，其特征在于棒导体的阻抗包括一由自电感和电容形成的电容性工作电路，环导体的阻抗是电感性的。

7. 根据权利要求1至5的任一权利要求的磁谐振成像装置，其特征在于棒导体的电容值是由该导体相对于周围环境的寄生电容形成。

8 . 根据前述权利要求的任一权利要求的磁谐振成像装置, 其特征在于棒导体的排列是非等径向的。

9 . 根据前述权利要求的任一权利要求的磁谐振成像装置, 其特征在于棒导体不是均匀地分布于圆柱体的圆柱体表面。

10 . 根据前述权利要求的任一权利要求的磁谐振成像装置, 其特征在于射频线圈有一基本上为椭圆的截面。

11 . 根据前述权利要求的任一权利要求的磁谐振成像装置, 其特征在于射频线圈包括 $4n$ 个棒导体及一单调谐电路, 经由一根棒, 这个调谐电路被耦合, 这根棒位于二个相互正交取向的棒之间一半的长度处。

12 . 根据权利要求5 的磁谐振成像装置, 其特征在于磁铁系统包括一个至少产生2 忒斯拉稳态场的超导磁铁。

包含鸟笼式射频线圈的磁谐振成像装置

本发明涉及一磁谐振成像装置，它包含一只基本上为圆柱形的射频线圈，在这线圈中若干棒导体与轴平行地延伸于圆柱体的圆柱体表面，这些导体在圆形柱体的周边产生一个基本上为余弦的电流分布。

用于这样一种磁谐振成像装置的射频线圈可以从美国专利说明书 4,339,718 中了解的，它基于公知的事实：为了在这样的一个线圈中得到均匀的场分布，就需要在圆柱形线圈的周边有一个余弦的电流分布。在其中所叙述的线圈中，把数对两个相互连接的棒导体对彼此相对对称地配置，每一对相对于公共圆柱体轴的开口角是不同的，就是采用这样的方法，来实现在所述线圈中建立均匀场分布的目的。利用这些棒的正弦的几何分布，可以得到所希望的余弦电流分布。这些解决方案有许多缺点：例如，就可行的几何尺寸来说有一些限制；结构构造方面需要不同半径的线圈；由于导线的位置局部地彼此远离而引起剩余的不均匀性。并且，其置位的任何偏置对线圈中场的均匀性有直接的影响。在下文中，在线圈中场的均匀性被理解这样：不仅是指所希望的射频场（由线圈产生的位于线圈中的）的均匀性，而且也是指线圈中局部分布的测量点（为了检测由容体所发射的磁谐振信号）的相等性。叙述于 US 4,439,733 中并参考 US 4,339,718 图6 的已知线圈的结构需要在径向方向上有相当大的空间因而易于引起干扰场。

本发明的目的是提供一磁谐振成像装置，该装置包含一只射频线圈，

在这线圈中，所述的缺点至少是基本上消除了。为了达到这个目的，根据本发明给出的这类磁谐振成像装置，其特征在于几个棒形导体通过环导体被驱动并且被配置与耦合，以致满足下列的成环连通条件（loopig- through condition）：

$$\frac{Z_1}{Z_2} = 0,5 \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg} \frac{2\pi}{n})^2}} - 1 \right]$$

其中 Z_1 是两个棒导体之间的环导体部分的阻抗， Z_2 是棒导体的阻抗，及 n 是棒导体的数量。

因为根据本发明的线圈只需要满足上面给出的很一般的条件就能实现均匀场，可获得设计的高度自由，因而设计时可采纳由设备提出的一些附加要求。上述条件特别允许环导体和棒导体上电抗和电感元件的高度自由的分布。而且，该一般化的公式能够确定棒和线圈的几何尺寸及分布能够适合于装置的其它几何要求的范围，例如，接近被检查病人的可达性及线圈的几何形状对被检查客体的适应性。

在最佳实施例中， Z_1 是由电抗和电感的组合物形成的， Z_2 一例如，单独地由电感所形成。在实际实施例中所得到的线圈，其环导体中有电容和自电感，棒导体中有自感。环导体中自电感和电容的组合不需要必然是串联连接这些元件。利用棒导体中的电感，该条件就可以满足（只要环导体元件对所述的频率呈电容性的并且举例来说采用了寄生型电容或者同轴电缆用作环导体元件）。环导体的电容也可以由到棒导体或到随后的环导体元件的电容耦合构成。

在进一步的最佳实施例中，线圈的几何尺寸适合于被测量的客体，例如，使它为椭圆形而不是圆形。例如，对病人的双肩来说，这样就可建立比较大的空间。不载电流或仅载小电流的棒最好能移得最远。由于此移动，这些棒的相关（寄生）电容就会发生改变，这是可以补偿的。

例如，可以把棒做得细一点。

类似地，希望棒不是沿圆周等距分布的。在一般化公式的基础上，通过改变相邻环导体的阻抗和 / 或棒的阻抗，线圈中的均匀场再一次得到保证。根据成环连通条件，每一个完整的环导体的有效阻抗将表示所选频率的一个整个的波长，这是与在先的实施例相似的。

当一个正交的棒的分布被选择的时候，这就意味着有许多棒，棒数为四的倍数，线圈也就可以做成正交线圈，对于被优先利用在那些周边中的单一对称调谐来说，从级数 8、16、32... 开始的棒数是所希望的。随后在一根包围一个 45° 角的棒上实现调谐。

在已知电容性元件对线圈的影响时，装置中线圈以及（例如）包围线圈的法拉第笼的几何尺寸可以最佳化。举例来说，在法拉第笼对环导体和棒的寄生电抗要考虑入被包括在线圈中的阻抗时，法拉第笼可以配置得比较靠近线圈。

根据本发明的线圈可以调谐，例如，可以改变线圈的轴向尺寸。这个调谐方法对正交式线圈结构是特别有吸引力的，这是因为其对称性不受此方法的影响。为了把线圈导体连接到外部功率源，一只低欧姆的实际电路可以用于诸导体的一个之中。通常的 50 欧姆功率源可以转换到所希望的阻抗，其方法是电容性分配和附加一只适合的自电感。

根据本发明的一些最佳实施例将在下文中参考附图进行详细的描述。其中：

图1 表示根据本发明的一磁谐振成像装置，

图2 表示射频线圈的基本节，

图3 表示相关的电路图，

图4 表示根据本发明的线圈的最佳实施例。

图5 和 6 表示进一步的最佳实施例的基本节，及

图7 表示适合于客体几何尺寸的线圈的最佳实施例。

表示于图1 的磁谐振装置，它包括，用于产生稳态磁场 H 的磁铁系统2，用于产生磁梯度场的磁铁系统4，以及分别用于磁铁系统2 和磁铁系统4 的功率源6 和8。射频磁铁线圈10 用来产生射频交变场；它的末端连接一只射频源12。为了检测被探查客体中由射频场产生的旋转谐振信号，也可以利用射频线圈10，为了这个目的，该线圈被连接到信号放大器14。信号放大器14 连接到相位一敏感整流器16，相位一敏感整流器16 连接到中央控制器18。中央控制器18 也控制用于射频源12 的调制器20，功率源6，用于梯度线圈的功率源8，以及用于显示的监视器22。射频振荡器24 控制调制器20 以及处理测量信号的相位一灵敏整流器16。对于磁铁线圈2 用于主场的可能的冷却来说，有一个包括冷却管27 的冷却器26。在电阻性线圈的情况下，冷却器为水冷却结构，或者，例如在这里涉及到的高场强的超导磁铁线圈的情况下，采用液氮冷却的冷却器结构。传送器10 被安置于磁铁系统2 和4 之中，它包围一个测量空间28，这个测量空间28 是足够大的，以致能够把被探查的病人容纳于医疗诊断装置内。因此在测量空间28 中，可以产生一个稳定磁场 H ，用于选择客体部位的梯度场，以及一个空间均匀的射频交变场。射频线圈10 能够结合传送器线圈和测量线圈的功能。这两种功能可以由分开的线圈交替地完成；例如，测量线圈可以由表面线圈形成。在下文中，线圈10 多半被援引为传送器线圈。根据互易定理，在线圈用作为测量线圈时，同样的考虑是适用的。围绕线圈10 有一只使该线圈与射频场隔绝的法拉第笼29。

图2 表示用于这样一个磁谐振成像装置的射频线圈的基本节线路简图。该简图中，四个阻抗 Z ，表示把棒互连的环导体的相等互阻抗，一个棒导体的阻抗 Z_2 ，以及一个作为终端阻抗的阻抗 Z 。到目前为止，这些阻抗中没有一个被限定。可以发现，对这样一个基本节来说，可以推导出一般可用的相位和幅度条件（用于这样一个节的功率源的情况）。

图中 e_1 和 e_2 之间的阻抗位差为 PSI 。基本节成环连通成一个完整的线圈，这个线圈包括几个棒导体，如图3 所示，此时有一个附加条件，即： e_1 和 e_2 必须幅度相同并且逐次连接的导体之间产生的相位差为 $PSI = 2PI/n$ 根据这个条件，可以以一个公式的形式推导出一个一般化的可应用的条件。这个公式表示阻抗 Z_1 和 Z_2 之比，并且这个公式仅包括作为一个变量的相位角 $2PI/n$ ，公式中对相位关系的考虑中没有计及一些偏差的校正因子，例，圆形几何尺寸或棒间距离的偏差。为了简单起见，不计及校正项，这时叙述于引言中的成环连通条件可以表示为： $Z_1 = -K Z_2$ ，其中 Z_1 和 Z_2 为所述的阻抗， K 是与棒导体数有关的正的常数值。可直接由一般化的公式得知：在公式左边项分母里，其二次项总是正的，因而在这时的 Z_1 和 Z_2 的符号也总是为正的。由这个相反的符号可得知，当阻抗的一个是电抗性时，也就是说，例如由电容器形成的阻抗，那么另一个阻抗必须是电感性的，因而由例如为自感或线圈所形成。

根据一般可利用的成环连通条件，可以设计出各种或多或少的实际线圈。图4 表示其中的第一个例子，图4 a 表示线圈的基本节，图4 b 表示线圈的电路图，以及图4 c 表示线圈的投影图。所示的线圈包括8 个棒导体 3_2 ，这些导体 3_2 被接纳在两个环导体 3_0 和 3_3 之间。每一个棒有一个自电感，用 L_1 至 L_8 编号。当棒导体对给定的或所希望的频率来说在电路中起到自电感作用时，所确立的成环连通条件对每一对棒导体之间的环导体元件，产生一个电抗作用。在第一个环导体 3_0 内的电抗元件被表示为电容，它的用 C_1 至 C_8 编号；对第二个环导体 3_3 ，所表示电容用 C_9 至 C_{16} 编号。而且，环导体有电感性阻抗，对第一个环导体 3_0 来说，用 L_9 至 L_{16} 的自电感来表示，对第二个环导体 3_3 来说，用 L_{17} 至 L_{24} 表示。但是， $C_1 - C_{16}$ 的值以及 $L_9 - L_{24}$ 的值是基本上相同的。利用下列数值：环导体线圈为0 . 1 微亨 棒的

线圈为0.5微亨、环导体电容为17.5微微法，则对所采用的线圈的几何尺寸来说，可以得到的谐振频率为64兆赫。这样得到的线圈设计是很适用于高频。

根据一般的成环连通条件所设计的各种线圈中的另一个实施例被叙述于EP141383。其中棒导体中必须考虑的电容已在上述设计中取消了，因为它们不是很实际的元件。当一个纯电抗，因此是一个电容，被选用于棒导体的阻抗，一个纯感抗，因而是一个线圈，被选用于环导体时，可以得到一个实施例，这个实施例也是没什么实际意义的。虽然在成环连通条件的基础上可以利用这个几何图形来设计一个振荡在所需频率上的线圈，但是这个解决方案是没什么实际意义的，因为如前已述，棒导体至少也必须包括一个感性元件，但最好只取一个感性元件。

图4所示线圈的主要优点在于棒导体不包括电容性元件。环导体元件的电容可以被构成为同轴耦合段，以致可以得到一个精密的和坚固的线圈设计。在所选择的例子中，环导体的等效图由串联连接的电容和自电感组成。棒导体只用一个电感时，可以利用并联连接，例如图5所示的两个电感 L_I 和 L_{II} 和一个电容 C 的并联连接。电容多少有点寄生电容的性质对所考虑的频率来说，并联连接必须再次呈现为电抗性。在电容具有寄生电容的性质时，整个的并联连接有同轴电缆的性质。当这种对应关系被实施的时候，就可以得到如图6所示的等效电路，图中同轴电缆用于 Z_1 ，电感用于 Z_2 。在以这个电路为基础而构成一个仍包括八根棒（当然这是比较任意的选择）的线圈时，根据成环连通条件并对64兆赫的谐振频率而言，可以确定电缆部份的电容为10微微法，这部分自电感为0.5微亨以及阻抗 Z_2 的自电感为0.5微亨。这样，可以得到一种线圈的设计，它包括同轴电缆段及棒状导体，设计中只需同轴电缆段的长度是可采纳的，其棒导体的几何尺寸已经是可采纳的。这样设计的线圈对100兆赫级的甚高频是特别有用的。

前面的例子清楚地说明了成环连通条件的总的性质的优点。

基本的附加优点在于对线圈的外部几何尺寸的设计来说可以获得较高的自由度。例如，因为某些原因，棒导体必须选择成粗一点、细一点、长一点或短一点，在此时，有关的环导体元件的阻抗值能够在成环连通条件的基础上加以确定，这就是能获得所述较高自由度的原因。类似地，对棒导体的寄生电容的变化，可以用其相对于装置中的法拉第笼的位置变化来补偿（这是举例）。当然，在环导体必须适应外部条件时反过来也是可行的。就线圈的空间与周围环境来说有足够的信息可以得到时，一个最佳的线圈设计可以被提供给任何所希望的谐振频率。

举例来说，在线圈必须成非圆形以得到如图7所示的较好的填充因子时，会引起需要补偿的进一步的偏差。利用确定特殊棒导体的数目（这些导体是径向分布的）这个方法，就可简单地计算出相关位置所需的阻抗。这样的位移常常是有影响的，因为棒导体的位置随相对于法拉第笼或其导电元件的位移而变化。最好是移动那些根据余弦分布仅载有小电流的棒导体，不载有电流的棒导体，因而它与电流分布的零交叉点一致，这样的棒导体原则上是可以略去的或者部分地省略。

即使沿圆柱体表面的棒的分布受到破坏，校正也还可以进行。没有不均匀性被引入到测量场中，其条件是：跨越等效圆形柱面表面的电流分布是余弦的、环导体对应一整波长以及阻抗值满足成环连通条件。

因为只要环导体代表等效于整个波长的相位关系，就其在棒的连接上的分布来说可以允许一个给定的不规则性而不会破坏场的均匀性。这个事实是可以利用的，例如，可用来改变线圈中几何对称性或转换技术的几何尺寸（the switching technical geometry）。在省略一根棒导体或在插入调谐及匹配电路时会产生这个情况，例，如图7所示的线圈实施例。

可以利用与一个棒导体中的耦合或与一个环导体中的耦合（最好是

成双的)对线圈进行驱动及判断(read)。

最好在邻近棒和环导体元件之间的耦合处实施线圈的调谐、谐振频率的调整,在这里,例如对100兆赫的线圈来说,希望有 ± 0.5 兆赫的调整范围。最好是跨于普通调谐电路中的电容器上的电压不是过分高。在出口处(in an out)用于传输和测量场的匹配电路,也分别地被提供在这样的耦合处附近,并且对相关的谐振频率来说阻抗为零,这样的话,相位关系不会受到破坏。在根据本发明的线圈被用作为正交线圈时,双调谐将是必须的。但是,若要避免以上情况,所提供的线圈的棒的数量应是这样:每 90° 及每 45° 有一根棒导体,在 45° 棒的位置上有一个单调谐电路,用来作为位于其两边 90° 上的耦合。此中,一根 45° 棒被理解为任一的棒,该棒相对于二根其它的棒来说包围一个 45° 角,此时,不管象限,也不管其它棒是否在它们之间。对这样的线圈的匹配来说,两个耦合点的每一个最好是再次位于棒端的附近。当棒在那个区域适当的断开并这个断开由合适的匹配电路桥接起来时。调谐的任何干扰是可以防止的,并且对被连接的设备来说可以确立合适和准地的点(quasi-earth points)。

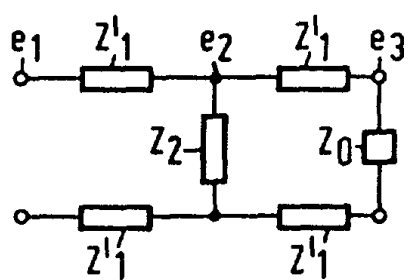
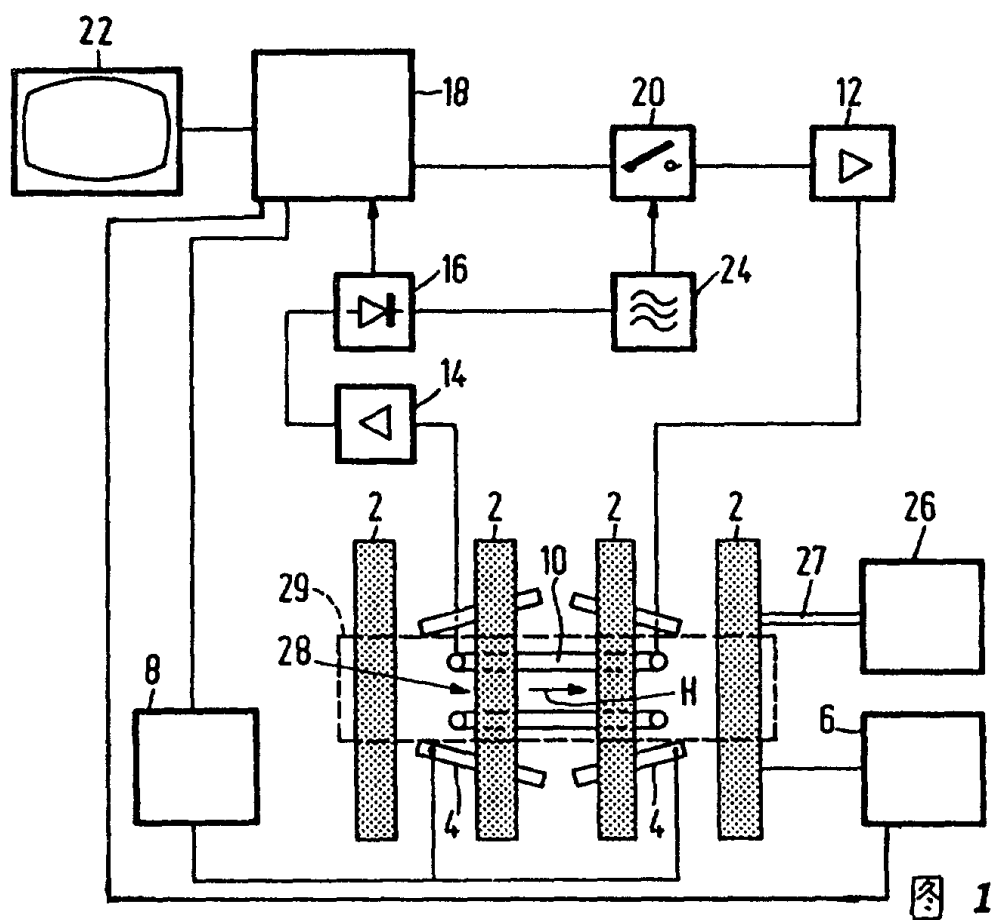


图 2

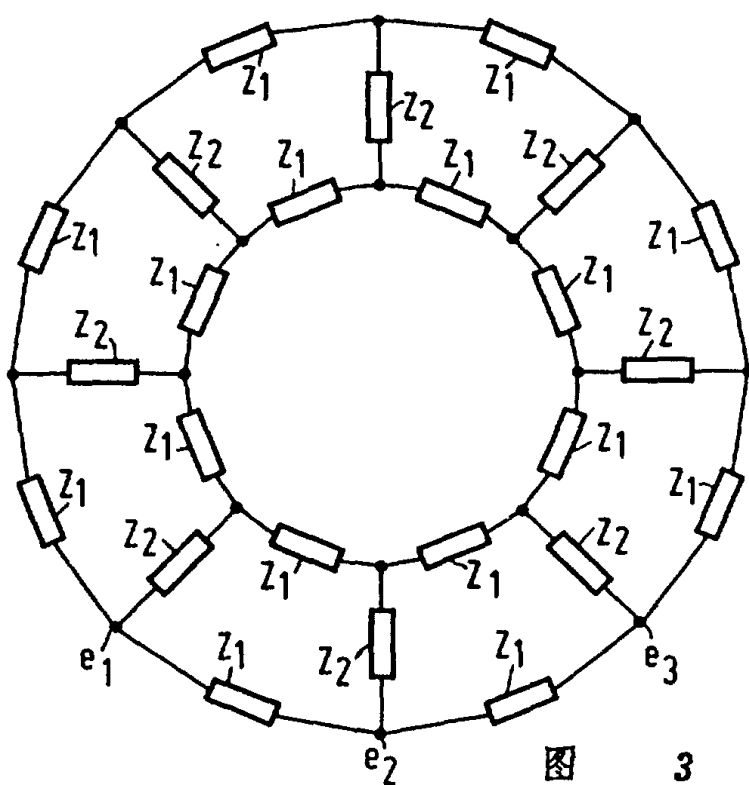


图 3

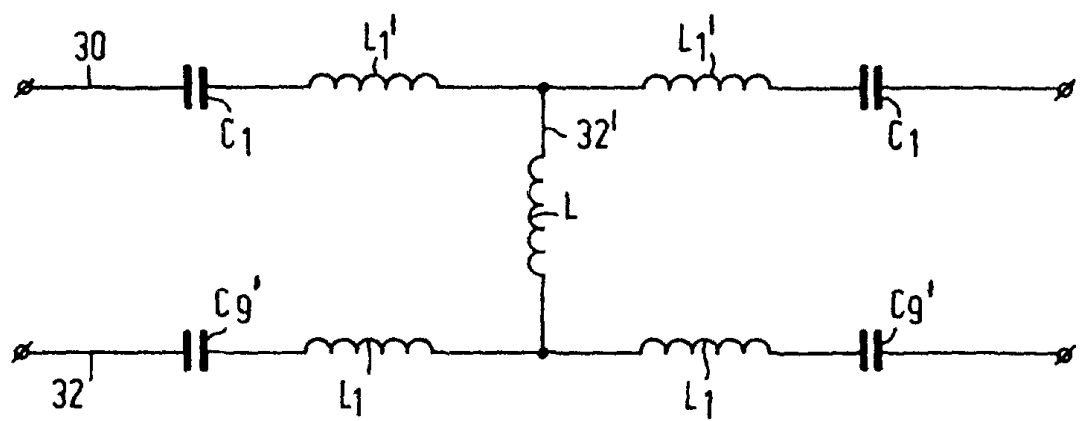


图 4a

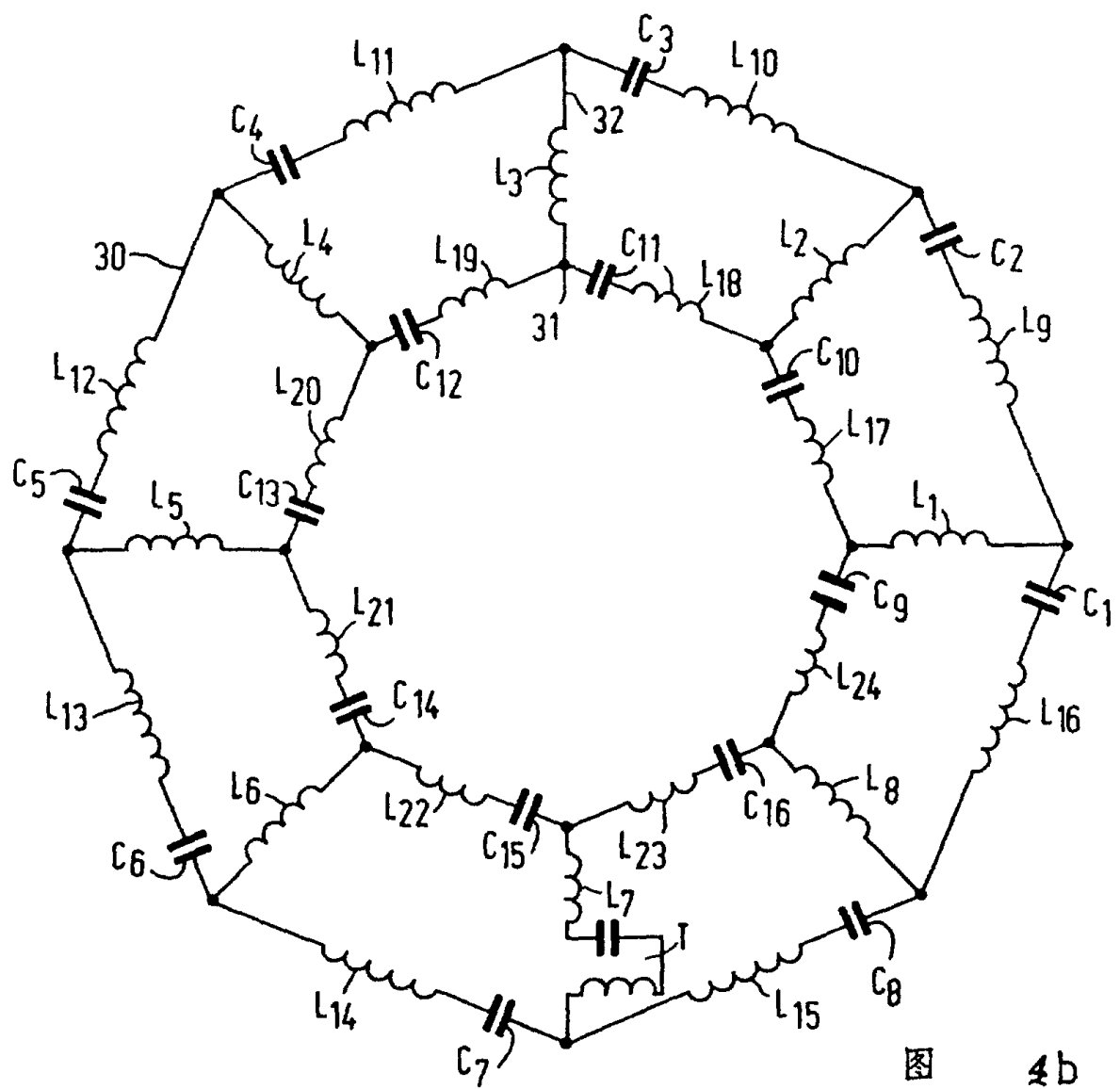


图 4b

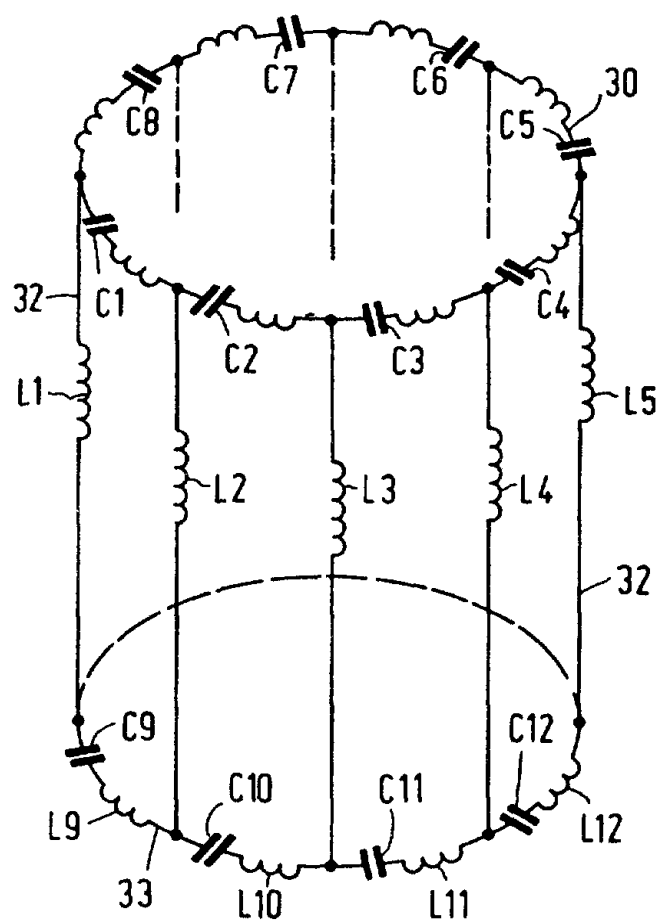


图 4C

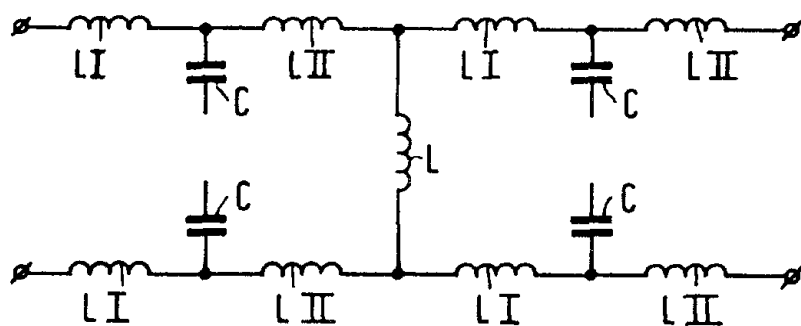


图 5

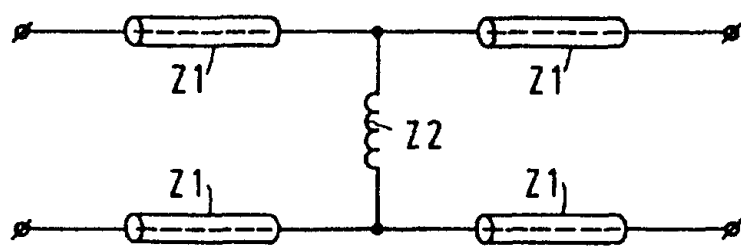
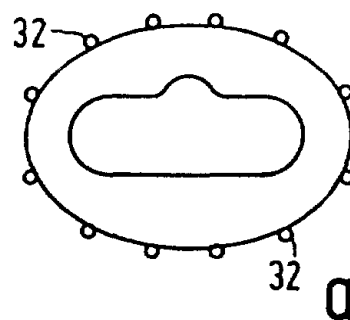
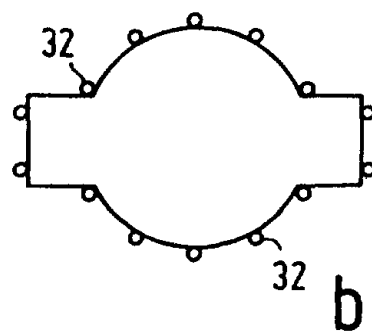


图 6



a



b

图 7