



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00806787.2

[45] 授权公告日 2004 年 9 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 1168998C

[22] 申请日 2000.4.21 [21] 申请号 00806787.2

[30] 优先权

[32] 1999. 4. 28 [33] FR [31] 99/05340

[86] 国际申请 PCT/EP2000/003748 2000. 4. 21

[87] 国际公布 WO2000/067047 英 2000. 11. 9

[85] 进入国家阶段日期 2001. 10. 26

[71] 专利权人 施蓝姆伯格技术公司

地址 荷兰海牙

[72] 发明人 保罗·贝吉恩 多米尼克·贝尼米利

帕特里克·埃雷特

玛丽-特里西·古诺特

弗朗科伊斯·赫奎特

彼得·范德沃尔

审查员 陈玉华

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

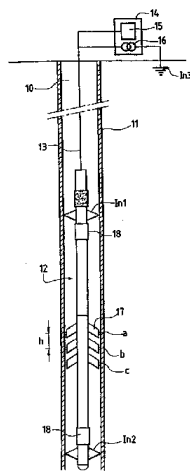
代理人 魏晓刚 李晓舒

权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称 套管井所穿过地层的电阻率的测定方法和装置

[57] 摘要

本发明提供一种探测套管井所穿过地层的电阻率的方法，其特征在于：在第一步骤中，电流在沿纵向与所述地层间隔开来的通过第一电流电极(In1)的第一注入点上注入套管(11)，以便使电流漏入所述地层，而位于所述地层位置处限定相邻的两段套管(a, b)和(b, c)的三个电极(a, b, c)用以测定沿着所述两段套管的各自电压降；在第二步骤中，电流在沿纵向与所述地层间隔开来并位于离开所述第一注入点的其相反一侧上的通过第二电流电极(In2)的第二注入点上注入套管(11)，以便使电流漏入地层，而所述三个电极用以测定沿着所述两段套管的电压降；两个步骤的相应测量结果结合起来用于获得对应于由两个注入点之间的套管所构成的电路的电流和电压大小并基本上免除了电流漏入地层。



1. 一种探测套管井所穿过地层的电阻率的方法，所述方法的特征在于以下事实，即：

5        在一第一步骤中，电流在一沿纵向与所述地层间隔开来的通过第一电流电极(In1)的第一注入点上注入套管(11)，以便使电流漏入所述地层，而位于所述地层位置处限定相邻的两段套管(a,b)和(b,c)的三个电极(a, b, c)用以测定沿着所述两段套管的各自电压降；

10       在一第二步骤中，电流在一沿纵向与所述地层间隔开来并位于离开所述第一注入点的其相反一侧上的通过第二电流电极(In2)的第二注入点上注入套管(11)，以便使电流漏入所述地层，而所述三个电极用以测定沿着所述两段套管的电压降；

15       两个步骤的相应测量结果结合起来用于获得对应于由两个注入点之间的套管所构成的一个电路的电流和电压大小并基本上免除了电流漏入地层；以及

      作为地层电阻率表征的电流泄漏是根据取自第一步骤和第二步骤的测量结果，以及根据得自所述结合的电流和电压大小来确定的。

20       2. 按照权利要求1所述的一种方法，其中第一注入点位于所述地层上方，而第二注入点位于所述地层下方，而所述结合在于从第一步骤的测量结果中减去第二步骤的测量结果。

## 套管井所穿过地层的电阻率 的测定方法和装置

5

### 技术领域

本发明涉及测定一配置金属套管的井穿之而过的地层的电阻率。

10

### 背景技术

电阻率测井对于石油勘探的重要性是为人熟知的。据知，一地层的电阻率主要取决于它所包含的液体。一包含导电的盐水的地层所具有的电阻率比一充满烃类的地层的要低得多，因而电阻率测量结果对于定位烃类矿层具有不可代替的价值。电阻率测井多年来已经广为实施，特别是借助于具有一些电极的装置，但现有的各种技术具有的适用领域局限于未加套管的油井，或者一如石油工业术语中它们被称之为“裸眼”。如果油井中存在金属套管时，其这种套管具有的电阻率与各种地层的一般数值相比是微小的(与某一地层在  $1\text{ohm}\cdot\text{m}$  至  $1000\text{ohm}\cdot\text{m}$  范围内的数值相比，钢材大约是  $2\times 10^{-7}\text{ohm}\cdot\text{m}$ )，但它就代表了对于发送电流进入围绕套管的地层的一种不可忽视的屏障。结果，特别是，不可能在处于生产中的油井中获得电阻率测量结果，由于这种油井是配置套管的。

因此，使得可能测定几段套管井中的电阻率就会是非常有利的。这些测定，在矿层位置处的一生产井中从事，会使得可能定位各水-烃界面并因而监测这些界面的位置如何随时间变动，以便监测烃类储层的性状和以便优化从中的采收。也可能获得在套管安放就位之前不曾取得任何测量结果的一口油井(或一个井段)中的电阻率测量结果，特别是为了补充关于储层的知识以及任由选择地检测起初未曾定位的各个生产油层。

关于这一主题在文献资料中已经作出各种建议。专利文件 US 2459196 中提出的基本测量原理在于使一电流在一些条件下沿着套管流动，以致电流漏出或漏失于地层。这一漏失是依赖于地层电阻率的函数：地层导电性

愈强，电流漏失愈大。通过测量电流漏失，可以确定地层的电阻率。电流漏失可以通过测定安放在油井中不同深度处的各电极之间的电压降而予以估算。专利文件 US 2729784 说明了一种测定方法，采用沿着套管间隔开来的两对测量电极 a, b 和 b, c，电极 a 和 c 原则上等距离电极 b。各电流电极安放在各测量电极的两侧上，以便在相反两方向上把电流注入到套管里面。一反馈回路伺服控制着注入的电流以致把各外部测量电极置于同一电位上，以便消除由在各测量电极限定的(a, b)和(b, c)两段中变化的套管电阻的效应。在中心电极 b 位置处泄漏电流的数值是通过测定每对电极 a, b 和 b, c 间的电压降并通过取得两电压降之间的、一般认为正比于泄漏电流的差值而获得的。

法国专利文件 2207278 提出使用如同专利文件 US 2729784 之中的三个均匀间隔开来的测量电极用于测定泄漏电流，而且说明了一种包含两个步骤的方法：一第一步骤，用于测定由各外部测量电极所限定的套管段的电阻，在此步骤中使电流沿着套管流动以致无泄漏进入地层；以及一第二步骤，其间电流可以漏向地层。为此目的，设置一电流注入系统，包括一个发射电极和两个回流电极，近处的一个测量电极在第一步骤期间发挥作用，而另一测量电极位于地面处并在第二步骤期间发挥作用。

专利文件 US 4796186 说明了一种包括两个步骤的方法，与以上提及的法国专利文件 2207278 之中所述方法属于同一类型，并采用同样的电极结构。它提出了一种电路，用于消除在两段套管之间变化的电阻的效应。此电路包括一些连接于每对测量电极的放大器以便在其各输出端处发送各自的电压降。放大器之一是一可变增益放大器，其增益在第一步骤期间予以调节以便消除各放大器输出之间的差别。专利文件 US 4820989 说明了一种等同补偿方法。

25

### 发明内容

本发明的目的是以一种简单而有效方式提供这种补偿功能。

本发明提供一种探测套管井所穿过地层的电阻率的方法，所述方法的特征在于以下事实，即：

30

在一第一步骤中，电流在一沿纵向与所述地层间隔开来的通过第一电

流电极(In1)的第一注入点上注入套管(11),以便使电流漏入所述地层,而位于所述地层位置处限定相邻的两段套管(a,b)和(b,c)的三个电极(a, b, c)用以测定沿着所述两段套管的各自电压降;

5 在一第二步骤中,电流在一沿纵向与所述地层间隔开来并位于离开所述第一注入点的其相反一侧上的通过第二电流电极(In2)的第二注入点上注入套管(11),以便使电流漏入所述地层,而所述三个电极用以测定沿着所述两段套管的电压降;

两个步骤的相应测量结果结合起来用于获得对应于由两个注入点之间的套管所构成的一个电路的电流和电压大小并基本上免除了电流漏入地层  
10 ; 以及

作为地层电阻率表征的电流泄漏是根据取自第一步骤和第二步骤的测量结果,以及根据得自所述结合的电流和电压大小来确定的。

#### 附图说明

15

本发明在阅读以下参照附图作出的说明之后将得到很好的了解,附图中:

图 1 概述测定套管井中电阻率的原理;

图 2 以简图表明为实施所述原理而设计的井下装置; 以及

20 图 3A、3B 和 3C 表明图 2 之中所示装置的不同操作状态;

#### 具体实施方式

测定套管井中电阻率的原理在于造成沿着套管流动而带有远处回流的  
25 电流,以便使电流能够漏向油井所穿过的地层,并估算泄漏电流:在沿油井向下的任一给定位置处,所述处围绕油井地层的导电率愈高,泄漏电流愈大。这一点可以由流过套管的电流呈按指数方式下降关系、具有某一下降速率、在任一给定位置处是地层电阻率  $R_t$  对套管电阻率  $R_c$  的比值的函数而以数学方式表达出来。

30 图 1 的简图表明一段油井 10,具有轴线 X-X'并配置金属套管 11。有待作出测定的所需位置(或深度)加以参照符号  $b$ 。考查伸展在位置  $b$  两侧上的

一段套管(a, c)。如果电流流过套管而带有远处回流(亦即在地面位置处)回流, 则损失于地层的电流可以表达为由一置放在套管位置 b 与无限远处之间的分路以电路简图方式表达出来。此分路的电阻代表电极 b 位置处地层的电阻率  $R_t$ 。利用欧姆定律, 因而可能写出:

$$5 \quad R_t = k(V_b, \infty / I_{for}) \quad [1]$$

其中  $k$  是一几何常数, 可以通过标定各测量结果予以确定,  $V_b, \infty$  是参照无限远处套管在位置 b 处的电位, 而  $I_{for}$  是在位置 b 处的泄漏电流。

通过近似处理一离散变量, 有可能把在位置 b 处的电流损失描述为在位置 b 处的输入电流与输出电流之间的差别值。泄漏电流  $I_{for}$  因而表达为  
10 分别流动在套管段(a, b)与(b, c)之中的电流  $I_{ab}$  与  $I_{bc}$ (二者设为常量)之间的差值:

$$I_{for} = I_{ab} - I_{bc} \quad [2]$$

或者

$$I_{for} = V_{ab}/R_{ab} - V_{bc}/R_{bc} \quad [2']$$

15 其中  $V_{ab}$  和  $R_{bc}$  是分别沿着套管段(a, b)和沿着段(b, c)的电压降, 而  $R_{ab}$  和  $R_{bc}$  分别是套管段 ab 和段 bc 分别的电阻值。最初假设施加于套管的电流是 DC。

考虑到套管电阻率与地层通常电阻率数值之间的比值处在  $10^7$  至  $10^{10}$  的范围之内, 在对应于为一项地层电阻测量所可接受的分辨度的长度上,  
20 比如在 30cm 至 1m 的范围内, 电流损失是很小的。可以归因于电流损失的电压降  $V_{ab}$  与  $V_{bc}$  之间的差值因此一般是一很小的量。结果, 关于差值项的不定性, 即使很小, 也具有很大影响。由于多种原因(局部腐蚀、套管材料的不均匀性, 或者厚度变化), 套管段(a, b)和(b, c)的单位长度电阻值可以不同于对应于套管名义特性的数值, 而归根结底, 可以彼此不同。某种不  
25 定性也影响套管段(a, b)和(b, c)的各自长度, 因为所述长度都依赖于各电极接触套管所在的各接触点的各自位置, 这些位置是仅仅以相对不足的精度得以了解的。

图 2 简略地表明用于实施上述原理的装置。

30 装置包括一下井仪 12, 适于移动在一配置套管 11 的油井井孔 10 之中, 而且从一电缆 13 的端部悬下, 此电缆把装置连接于地面设备 14, 后者包括数据采集和处理装置和一电源 16。下井仪 12 配有三个测量电极 a、b 和 c,

它们可以置放得接触于套管，从而限定套管段(a, b)和(b, c)具有适当地处于40cm至80cm范围内的长度。在所示实施例中，电极a、b和c装在铰接于下井仪12的各臂杆17上。借助于不需在此详细说明的一些已知类似的机构，这些臂杆可以从井下仪上摆转出来以致使各电极接触于套管，而后一当各种测量已经完成即使之返回缩进位置。各电极设计得以致它们一旦接触套管，它们的位置即尽可能保持不动，而且致使与套管的电接触为最佳。

这种类型的井下仪可以在 Schlumberger 公司在市场上用于“CPET”业务的仪器的基础上加以制作，一如专利文件 US 5563514 所指出的那样。这种仪器，设计得可以评估套管的阴极保护及其腐蚀状况，配有12只测量电极，分布在纵向上间隔开来的4个位置上，各位置之间的距离是大约60cm，而每一位置上的三只电极围绕仪器的轴线对称设置，亦即各相邻电极之间的角度间距为120°。

为了测量地层电阻率，3只电极a、b和c就足够了。但有可能采用较多位置，比如在上面提及的仪器中，采用4个位置，可以形成3个相邻位置的两组，以便获取更多的信息和以便同时取得对应于两个不同深度的测量结果。在这种情况下，每组3只相邻的电极联接下述的各处理电路。至于每一位置的电极数，单独一只电极就足够了。

井下仪还配有各电流电极，设置在电极a和c的两侧上，即一顶部电极 In1 和一底部电极 In2，离开电极a和c的各自距离可以比起电极a与c之间的距离来具有同一量级或稍大一些，比如几米。各绝缘套筒18，诸如 Schlumberger 公司普遍使用的 AH169 型套筒，安放在下井仪中央部分的两侧上，这一中央部分装有测量电极a、b和c，以便把所述中央部分与电流电极 In1 和 In2 隔绝开来。电流电极 In1 和 In2 可以以用于套管井的通常扶正器(centralizers)的方式予以制成。通常作为接触于套管的器件而设置在这种扶正器上的各滚轮此时由用作各电流电极的器件所代替，并设置一些导体用于连接于各构成电极的器件。

此装置还配有一远处回流电极 In3，最好是安放在地面位置处，在井口装置处(如果油井足够深)或在离开井口装置某一距离处，并配有各电极的馈电装置，以便形成以下参照图 3A 至 3C 所述的各种电路。此馈电装置包括以上提及的地面电流电源 16，以及，视情况而定，一位于下井仪之内的补

充电源，以及适当的一些开关电路。

图 3A 至 3C 之中给出的简图表明对应于可以借助于上述装置予以形成的各种电流通行电路的各个测量步骤。一如以下说明的那样，两(或 3)个这样的步骤就足以获得所需的结果。

- 5 这些简图表明一处理电路，包含放大器  $D_{ab}$  和  $D_{bc}$ ，它们的输入端分别连接于电极  $a$  和  $b$ ，以及电极  $b$  和  $c$ ，而且它们在其输出端处发送由各电极所限定的各套管段上的电压降  $V_{ab}$  和  $V_{bc}$ ；以及一放大器  $D_{abc}$ ，连接于放大器  $D_{ab}$  和  $D_{bc}$  并在其输出端处发送电压降  $V_{ab}$  与  $V_{bc}$  之间的差值  $V_{abc}$ 。这一电路最好是位于井孔下井仪 12 之内。它由最好是属于地面设备的数据采集和处理装置 15 的计算装置予以补充，这一计算装置接收来自处理电路的各个电压和其他有关数据并给出各电阻率数值  $R_t$ 。数据通常经由电缆 13 以数字形式传输，一模拟至数字转换器(未画出)设置在下井仪 12 之内并连接于处理电路。

- 15 图 3A 之中所示的步骤可标定由测量电极  $a$ 、 $b$  和  $c$  和它们限定的套管段 11 所形成的测量系统。

- 在此步骤中，一股电流借助于由作为注入电极的  $In_1$  和作为近返回流电极的  $In_2$  所形成的电路，通过把一些开关电路安放在适当的位置上，而被供向套管。这样，此电流基本上不会穿入围绕油井的地层。此电流最好是低频 AC，比如，具有在 1Hz 至 5Hz 范围之内的频率，但以下的论证假定此
- 20 电流是 DC。

在供给的电流加上参照符号  $I_t$  的情况下，各放大器的出口端电压如下：

$$V_{ab_C} = R_{ab} \cdot I_t \quad [3]$$

$$V_{bc_C} = R_{bc} \cdot I_t \quad [3']$$

$$V_{abc_C} = (R_{ab} - R_{bc}) \cdot I_t \quad [3'']$$

- 25 图 3B 之中所示的步骤由一顶部电极  $In_1$  和远处电极  $In_3$  构成的一电流供给电路，供给的电流具有与第一步骤中同样的类型，亦即同样频率的 AC。在这些条件下，一如以上参照图 1 所述，产生电流泄漏，此泄漏是在电极  $b$  位置处地层的电阻率的函数。在如上所述向下流经套管段(a, b)和(b, c)的电流被加上参照符号  $I_d$ ，以及泄漏电流被加上参照符号  $I_{for}$  的情况下，
- 30 各放大器的各输出电压如下：

$$V_{ab_T} = R_{ab} \cdot I_d \quad [4]$$

$$V_{bc_T} = R_{bc}(I_d - I_{for}) \quad [4']$$

$$V_{abc_T} = (R_{ab} - R_{bc}) \cdot I_d + R_{bc} \cdot I_{for} \quad [4'']$$

这些表达式结合在一起，就能导出泄漏电流  $I_{for}$ ：

$$I_{for} = I_t \cdot [V_{abc_T} - (V_{abc_C} \cdot V_{ab_T} / V_{ab_C})] / (V_{ab_C} - V_{abc_C}) \quad [5]$$

- 5 图 3C 之中所示步骤不同于图 3B 之中所示步骤之处在于，底部电极  $In_2$  用以代替顶部电极  $In_1$  来供给电流，回流由地面电流  $In_3$  提供。一如图 3B 之中的步骤那样，电流因而漏向地层，但电流向上流经套管段(a, b)和(b, c)。这一电流被加上参照符号  $I_h$ ，而获得的电压被加上参照符号  $V_{ab_B}$ 、 $V_{bc_B}$  和  $V_{abc_B}$ 。
- 10 应当指出，由于叠加原理，示于图 3A 之中并由电极  $In_1$  和  $In_2$  组成的电流电路在电量大小(电流和电压)方面，如果由电极  $In_1$  和  $In_2$  分别供给的电流是一样的，等于示于图 3B 的电路与示于图 3C 的电路之间的差值。因此，用符号表示是：
- 电路 3A = 电路 3B - 电路 3C。
- 15 以上表达式[5]之中并对应于图 3A 之中所示步骤的电流和电压数值因而按照本发明可予以代换为分别在示于图 3B 和 3C 之中的两步骤中获得的相应各数值之间的各差值：因而， $V_{abc_C} = V_{ab_T} - V_{ab_B}$ ，等等。这就使得可能用示于图 3C 之中的步骤来代换示于图 3A 之中的步骤。这种解决办法的好处是，电流供给电路得以简化。在这方面应当指出，示于图 3A 之中的步骤
- 20 要求或是一井孔下井仪之中的电流电源，或是一地面上并连接于电缆 13 中另外两股的电流电源。
- 为了确定地层电阻率  $R_t$ ，一当泄漏  $I_{for}$  已经以此方法计算出来，就留下相对于在无限远处的一参照点  $V_b, \infty$  确定套管电位的任务，一如上述。一如在上面提及的文献之中所述，这一点的实现要借助于一参照电极，它
- 25 可以安放在地面上，远离地面回流电极  $In_3$ ，或者最好是位于井中，比如在绝缘的电缆部分或把井下设备连接于电缆的“测井吊绳”上。因而有可能测量在测量电极  $b$  位置处的套管与参照电极之间的电位差值  $V_{bs}$ 。利用以上提及的方程[1]，构成比值  $K \cdot V_{bs} / I_{for}$  - 其中  $K$  是以上提及的常数，以便导出地层电阻率  $R_t$ 。由于电缆中的耦联现象，电压  $V_{bs}$  的这一测量不能与上面
- 30 提及的另外各测量同时进行。

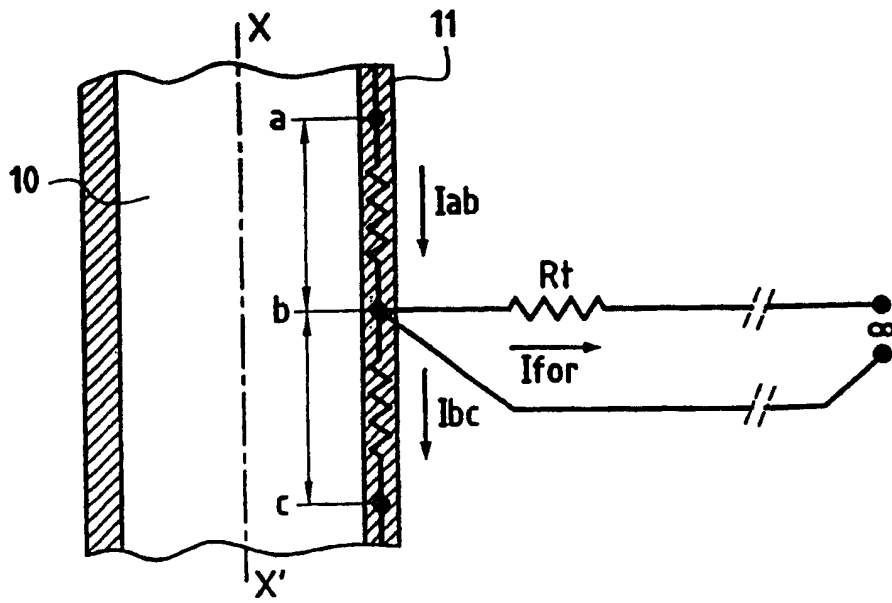


图 1

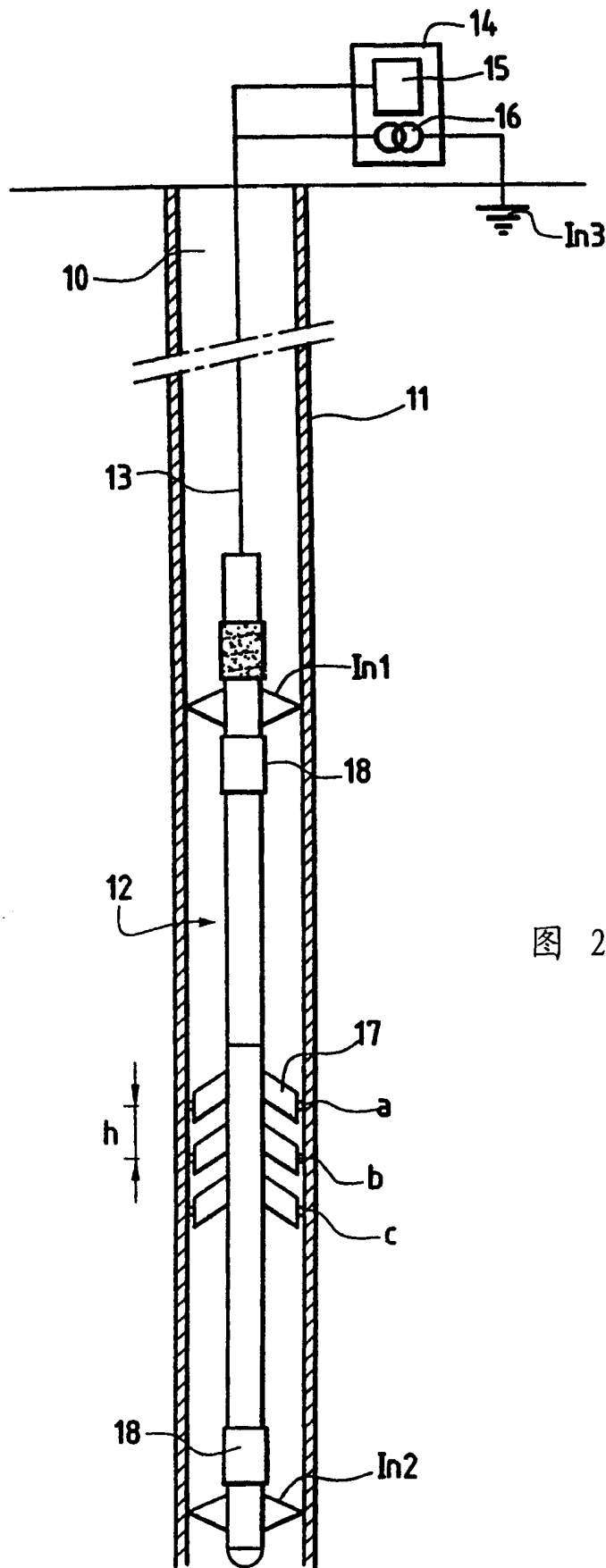


图 2

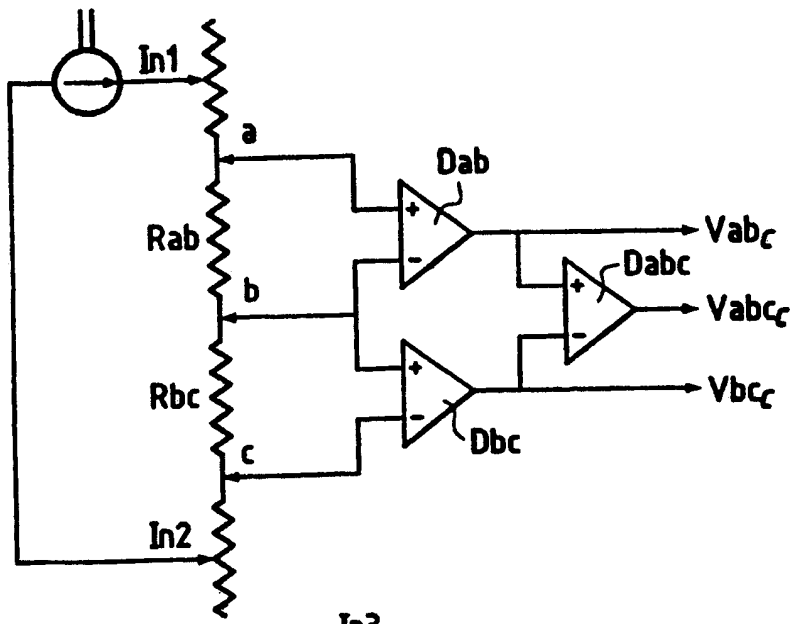


图 3A

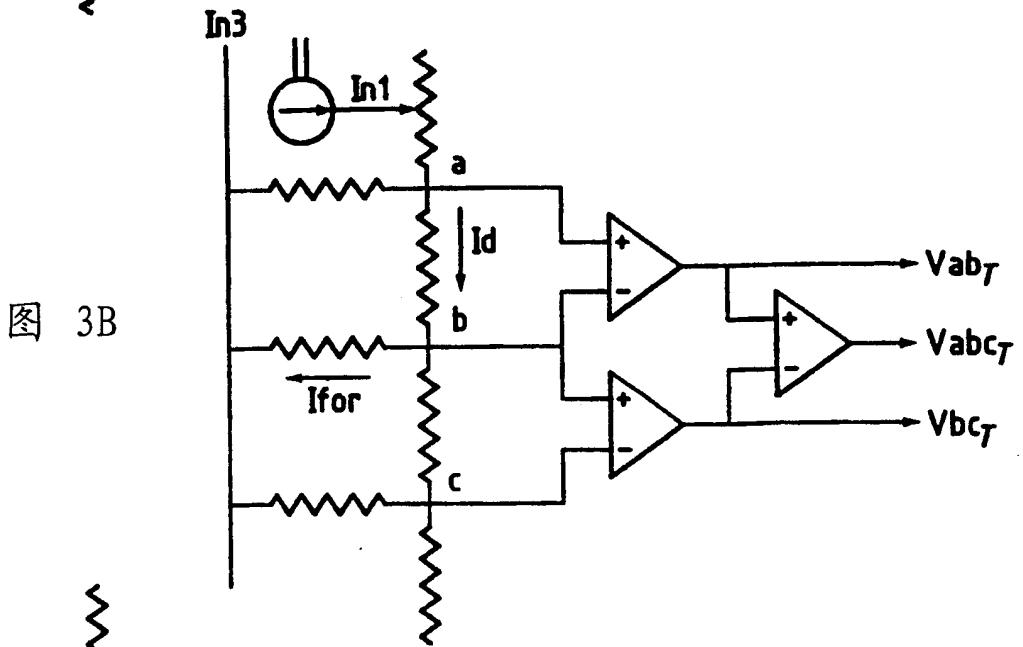


图 3B

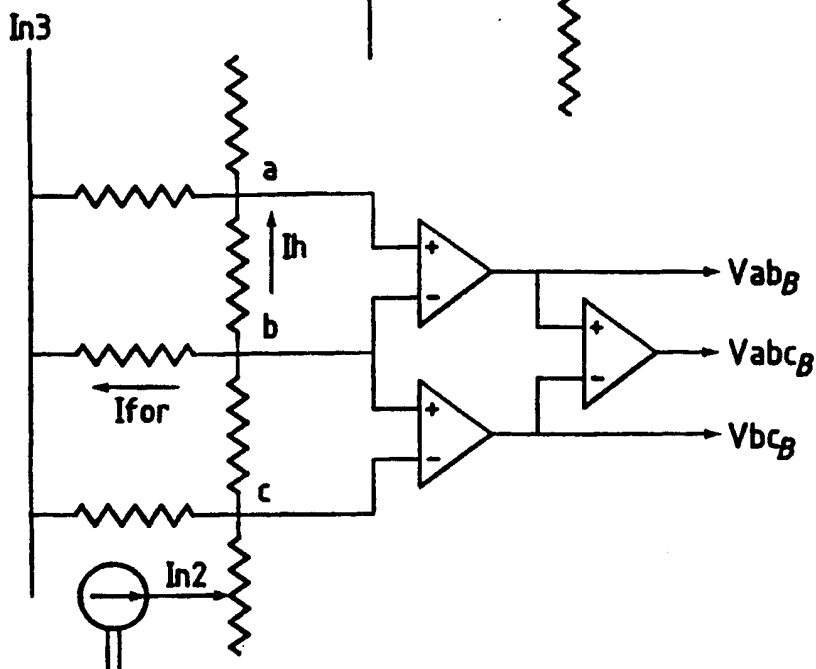


图 3C