

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl⁶

H03B 28/00



[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 96108129.5

[43]公开日 1997年4月2日

[11]公开号 CN 1146662A

[22]申请日 96.5.24

[14]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

[30]优先权

代理人 杨凯 叶恺东

[32]95.5.25 [33]JP[31]126579 / 95

[32]95.9.13 [33]JP[31]235611 / 95

[71]申请人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72]发明人 水野纮一 横原晃 东野秀隆

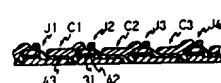
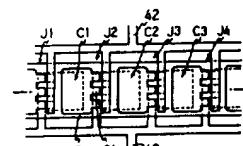
濑恒谦太郎

权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图页数 12 页

[54]发明名称 具有超导元件及温度控制器的高频装置

[57]摘要

用多个约瑟夫逊元件 (31) 构成效率高的高频振荡器。由该振荡器、非线性超导体元件和传输线路构成变频器。将多个约瑟夫逊元件 (31) 并联构成超导元件组件 (J1~J4)，用薄膜电容器 (C1~C3) 等相位调节电路将多个超导元件组件 (J1~J4) 高频串联构成高频振荡器，将它用作变频器的本机振荡器。若采用本发明的装置能实现高频电路的小型化、省电及稳定工作。



权利要求书

1. 一种高频装置，其特征在于备有：安装含有超导元件的高频电路的高频部件、有与该高频部件进行热接触的低温台的冷却器以及装有上述高频电路及低温台的屏蔽容器。
2. 根据权利要求 1 所述的高频装置，其特征在于：上述高频电路含有高频传输线路、超导元件以及高频放大器。
3. 根据权利要求 1 所述的高频装置，其特征在于：上述高频电路含有高频传输线路和多个约瑟夫逊元件，上述多个约瑟夫逊元件串联连接在驱动用电源之间。
4. 根据权利要求 1 所述的高频装置，其特征在于：上述高频电路含有高频传输线路和多个约瑟夫逊元件，上述多个约瑟夫逊元件并联在驱动用电源之间。
5. 根据权利要求 1 所述的高频装置，其特征在于：上述高频电路备有高频传输线路、将规定个数的约瑟夫逊元件并联而成的超导元件组件、以及将规定个数的上述超导元件组件以高频方式串联设置的多个相位调整电路。
6. 根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：上述超导元件组件是将 3 个约瑟夫逊元件并联构成的。
7. 根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：上述相位调整电路由薄膜电容器构成。
8. 根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：上述超导元件组件只是以与上述高频传输线路进行阻抗匹配所需要的个数以高频方式进行串联连接。

9.根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：上述超导元件由氧化物超导体构成。

10.根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：由半导体元件构成的高频放大器配置在上述高频传输线路附近。

11.根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：谐振器配置在上述高频传输线路附近。

12.根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：上述高频传输线路具有谐振器结构。

13.根据权利要求 5 所述的高频电路，其特征在于：上述超导元件组件占据的区域沿上述高频传输线路为上述传输线路中的谐振频率的波长的 $\frac{1}{8}$ 以下。

14.根据权利要求 5 所述的高频电路，其特征在于：上述超导元件组件沿上述高频传输线路每隔上述波长的一半的整数倍的距离进行配置。

15.根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：上述高频电路还备有具有多个输入端及多个输出端的耦合线路，以及配置在该耦合线路的输出端和上述高频传输线路之间的非线性元件。

16.根据权利要求 5 所述的高频装置，其特征在于：还备有中频不同的多个谐振器。

17.根据权利要求 16 所述的高频装置，其特征在于：上述谐振器由氧化物超导体构成。

说明书

具有超导元件及温度控制器的高频装置

本发明涉及高频通信系统等中的使用超导元件的高频振荡器或变频器之类的高频装置。

将1千兆赫至40千兆赫的频带用于载波的高频通信系统已被实际应用于卫星通信系统和移动体通信中。在这种通信系统中，需要将音频信号（基带为3KHz左右）及视频信号（基带为30MHz左右）变换成高频载波（1千兆赫至40千兆赫）再对调频载波进行频率变换从而取出各种信号波的技术。这种频率变换通常采用利用半导体非线性元件的频率混合功能的外差法方式进行。

采用外差法方式在具有非线性特性的元件中将两个不同频率的信号相加时，利用所出现的这两个频率之和的频率分量及差的频率分量实现频率变换。即在发信侧，对由本机振荡器产生的高频本机振荡波和信号波进行混频，将它们的和的频率分量（高频信号）放大后从天线发射。在接收侧对由天线接收的高频信号和由本机振荡器产生的本机振荡波进行混频，并将它们的差的频率作为信号波取出。

作为外差法方式中的基本元件有本机振荡器中使用的产生高频用的振荡元件、混频用的非线性元件、以及放大高频输入信号或变频信号的放大元件。以往，例如分别将生成稳定的基准信号的晶体振子或耿氏二极管等高频振荡元件作为本机振荡器、将肖脱基二极管作为频率变换元件、将HEMT、HBT等晶体管作为高频放大元件来使用，将这些元件组合起来构成变频器或信号放

大器。

另一方面，在将来会实用化的更高频率范围的通信系统中，现在的半导体元件将不能工作了。在这种条件下仍能工作的元件之一有约瑟夫逊元件。

在施加了电压状态的约瑟夫逊元件的两端之间存在由交流约瑟夫逊效应产生的交流振荡。其振荡频率 f 由下式（1）表示。

$$f=2eV/h \quad (1)$$

式中 e 为基本电荷、 h 为普朗克常数、 V 为约瑟夫逊元件电极间的电压。因此，通过改变约瑟夫逊元件两端的电压，使振荡频率 f 变化，其值变为 $483\text{GHz}/\text{mV}$ 。其频率上限由所使用的超导体的超导能隙 (2Δ) 决定，在使用金属类超导体即 Nb ($2\Delta \sim 2\text{meV}$) 的约瑟夫逊元件的情况下，约为 1THz ，在氧化物高温超导体即 $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($2\Delta \sim 20\text{MeV}$) 的情况下，变为约 10THz 。

另一方面，该约瑟夫逊振荡电流的振幅等于元件的超导临界电流值 (I_c)，从单一的约瑟夫逊元件取得的高频功率 P_o 由下式 (2) 给出，且设元件电阻为 R_n 。

$$P_o = 1/8 (I_c^2 \cdot R_n) \quad (2)$$

通常，使用由实验获得的 I_c (1mA 左右)、 R_n (1Ω) 进行估算， P_o 是一个非常小的值，约为 100nW 。如果在约瑟夫元件和传输线路等之间的阻抗不匹配，则在传输线路和约瑟夫逊元件连接的结点处会产生不必要的反射，实际取得的高频功率就会变得更小。

因此，为了得到输出实用的高频振荡功率，提出了将多个约瑟夫逊元件阵列化的方法，例如记载在以下例举的文献中。

(1) 将多个约瑟夫逊元件串联耦合的例： Arthur Davidson, U.S.Patent 4,344,052; James E.Lukens, Aloke K. Jain Paul M.Mankiewich, U.S.Patent 4,468,635; James E.Lukens,Aloke K. Jain Paul M.Mankiewich, U.S. Patent 4,470 023; Siyuan Han, A.H.Worsham, J.E.Lukens, IEEE Trans. Appl.Super. 3, 2489-2492 (1993) ; J.Edstam, H.K.Olsson, IEEE Trans. Appl.Super. 3,2496-2499 (1993) .

(2) 将多个约瑟夫逊元件并联耦合的例： K.Wan, B.Bi, A.K.Jain, L.A.Fetter, S. Han, W.H.Mallison, J.E.Lukens, IEEE Trans. Magn. 27,3339-3342 (1991); Aleksander Pance, Michael J.Wengler, IEEE Trans. Appl. Super 3,2481-2484 (1993) ; J.A.Stern, H.G.LeDue, J.Zmuidzinas, IEEE Trans. Appl. Super. 3,2485-2488 (1993); J.S.Satchell, R.G.Humphreys. J.A.Edwards, N.G.Chew, IEEE Trans. Appl. Super. 3,2273-2280 (1993) .

(3) 将约瑟夫逊元件二维排列的例： Samuel P.Benz, U.S.Patent 5,114,912; P.A.A.Booi and S.P.Benz IEEE Trans. Appl. Super. 3,2493-2495 (1993) .

在这些文献中，一般是将约瑟夫逊元件阵列耦合在高频传输线路中，以实际能利用高频功率的形式提出的文献有 U.S.Patent 4,344,052, 4,468,635, 4,470,023 等，它们都是将约瑟夫逊元件串联插入在高频传输线路中。

将 1 千兆赫至 40 千兆赫频带用于载波卫星通信、移动体通信中现在已达到实用化的高频通信系统将来会扩大到频率更高的区域。如上所述，在现在用的半导体元件将变得不能工作的高频区域，作为仍能工作的元件之一是表现出非线性特性的超导元件或约瑟夫逊元件。以下说明使用超导体元件的通信领域中的高频装

置的课题。

(1) 高频电路的稳定工作

超导元件的特性对温度很敏感，为了使应用超导元件的高频电路稳定地工作，必须使其温度环境保持正常状态。另外，超导元件对外部电磁噪声反应灵敏，因此必须采取来自外部的电磁屏蔽。

(2) 高灵敏度变频元件

在高频通信领域中用于变频的外差法方式中，作为变频元件，使用肖脱基二极管。该肖脱基二极管的允许最低输入电平相当高。因此，在高频通信中为了确保足够的输入信号电平，在肖脱基二极管输入的前级插入前置放大器。另外，肖脱基二极管所需要的本机振荡功率较大，为了获得足够的本机振荡功率，在普通的本机振荡器的后级也必须使用放大元件。如果能减少高频装置中使用的可在高频下工作的价格昂贵的半导体放大器的总数，则有助于变频装置的简化和降低价格。为此，必须提高频率变换中使用的非线性元件的灵敏度，尽可能降低必要的本机振荡功率。

(3) 高频振荡器

构成数千兆赫频带的外差变换装置时，本机振荡用元件和非线性元件成为特别重要的元件。

一般在高频范围的振荡元件中，有要求在振荡频率的稳定性方面使用的元件、以及改变振荡频率用的元件。前者中有晶体振子和耿氏二极管等生成稳定的基准信号的元件，后者中有通过施加电压来改变振荡频率的称为电压控制型振荡器（VCO: voltage controled oscillator）的元件。以数千兆赫振荡的振荡器价格很高，而且能在宽频带改变振荡频率的振荡器的费用很贵。为了

普及高频无线电通信，需要简便且频率的稳定性高的振荡器及可在宽频带改变频率的振荡器。

作为适合于该目的的振荡器，可考虑使用约瑟夫逊元件的振荡器，但将约瑟夫逊元件作为高频振荡器利用的话，用普通的高频传输线路取出振荡功率时成为主要问题是以下所述的高频振荡的大功率化和振荡频率的窄带化。

(3-a) 高频振荡的大功率化

如上所述，用一个约瑟夫逊元件取出的高频功率很小。因此设计出了约瑟夫逊元件的阵列化，但为了将多个约瑟夫逊元件的输出加在一起而获得大功率，就必须使各约瑟夫逊元件的振荡频率及相位一致（同步）。与此同时，为了有效地取出振荡功率，与传输电路的阻抗匹配也是重要的。

(3-b) 振荡频率的窄带化

约瑟夫逊元件为电压控制型的振荡元件。从式(1)所示的电压和频率的关系可知，该元件用微弱的电压进行频率非常高的振荡工作。这意味着电压变动会直接影响振荡频率的变动。电压变动也成为增大振荡线宽的原因。在适用本发明的高频范围，单独的约瑟夫逊元件的振荡线宽与元件两端间的电压噪声成比例而扩大。在使用约瑟夫逊元件阵列的振荡器的情况下，使其振荡线宽变窄也是课题之一。

(4) 系统的多频道化

在高频通信的需要急速增长的现时，希望能在有限的频带内确保更多的频道数。虽然与机器的结构有关，但用单级变频取出各频道信号时，需要与各频道宽度对应的窄带滤波器以及与各频道的频率对应的多频道用的本机振荡器。

本发明的目的就是为了解决用超导元件构成高频装置时的上

述课题。

为了达到上述目的，本发明的高频装置的特征在于备有放置包含超导元件的高频电路的高频部件，具有与该高频部件进行热接触的低温台的冷却器，以及放置上述高频电路及低温台的密封容器。利用这种结构能提高含有超导元件的高频电路的热稳定性，且能获得工作的稳定性。由于密封容器用金属制的，所以还能获得对电磁噪声的屏蔽效果。

约瑟夫逊元件中具有代表性的超导元件能以高灵敏度响应微弱的电磁波，同时具有非线性性能，可用于外差处理。使用超导元件的频率变换器用非常小的本机振荡功率工作。因此，将超导元件即约瑟夫逊元件用于本机振荡器等中，能构成实用的采用外差方式的变频器。因此能省去现有变频器中所必要的前级放大器等。

如果将多个约瑟夫逊元件串联或并联后连接在驱动用电源之间，则能构成高频振荡器。约瑟夫逊元件具有产生与端子间的电压对应的高频振荡的交流约瑟夫逊效应以及通过将磁场加在元件上产生的称为磁通流量振荡的高频振荡现象（例如，参照 **Antonio Barone and Gianfranco Paterno. Physics and Applications of The Josephson Effect, 1982 Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A**）。在这些现象中，单一元件的振荡功率微弱，但该频率的上限在理论上能达到数百千兆赫至数兆兆赫。交流约瑟夫逊效应具有振荡频率随端子间的电压变化而变化的特性，因此利用约瑟夫逊元件和电压可变电源容易构成电压控制型振荡器。将多个约瑟夫逊元件串联或并联并使其同时工作，能获得实用的功率。串联时振荡电压振幅增大，并联时能获得大的振荡电流。

最好将规定个数(例如3个)的约瑟夫逊元件并联作为超导元件组件,再用薄膜电容器等相位调节电路将多个超导元件组件以高频方式串联构成高频振荡器。如果采用这种结构,则能一边使各约瑟夫逊元件振荡相位同步,一边将振荡电路的总阻抗设计成任意的值。而且通过与功率传输线路进行阻抗匹配,能以低的损耗将高频振荡功率取出到功率传输线路。这样就能实现在千兆赫频带的整个宽度范围内工作的电压控制型大功率高频振荡器。

相位调节电路除了含有由薄膜电容器等形成的电容成分外,还含有电感成分。通过改变这种相位调整电路与超导元件组件的连接位置,能改变作为高频电路的高频振荡器的阻抗。

通过将由半导体电路构成的高频放大器插入上述高频电路和传输线路之间,能构成功率更大的高频振荡器。将谐振器靠近高频传输线路配置,或将传输线路本身构成谐振器,能使振荡功率的频带变窄。

通过将含有约瑟夫逊元件的超导元件组件所占的区域沿高频传输线路取为传输线路中的谐振频率的波长的 $\frac{1}{8}$ 以下,以将高频电路作为集中常数电路使用,故电路设计变得容易。通过沿高频传输线路每隔上述长度的一半的整数倍的距离配置超导元件组件,可实现大功率化和振荡线宽的窄带化。

上述高频电路由于还备有具有多个输入端及多个输出端的耦合线路,以及配置在该耦合线路的输出端和上述高频传输线路之间的非线性元件,所以能构成性能优异的变频器。

通过用氧化物(高温)超导体构成超导元件,能使用采用液态氮的简单的冷却器,能构成价格较便宜的高性能的高频装置。而且通过冷却减少元件噪声。

另外，由于还备有中频不同的多个谐振器，所以能构成其它频道的变频器。根据上述观点，其谐振器最好也用氧化物超导体构成。

图 1 是使用本发明的超导体元件的高频装置的略图。

图 2A 表示构成图 1 中的高频装置的高频电路，是将多个约瑟夫逊元件串联构成的振荡器的电路图。

图 2B 是将多个约瑟夫逊元件并联构成的振荡器的电路图。

图 2C 是将多个约瑟夫逊元件串并联构成的振荡器的电路图。

图 3A ~ C 分别是表示作为使用约瑟夫逊元件的高频电路的振荡器的结构例的主要部分的俯视图、主要部分的剖面图以及等效电路图。

图 4A ~ C 分别是表示作为使用约瑟夫逊元件的高频电路的振荡器的另一结构例的主要部分的俯视图、主要部分的剖面图以及等效电路图。

图 5 表示构成高频装置的高频电路，是备有高频功率放大部的高频振荡器的示意图。

图 6A ~ C 是表示作为高频电路备有谐振器的高频振荡装置的 3 种结构例的示意图。

图 7 是作为高频电路而使用了约瑟夫逊元件的多频道振荡器的示意图。

图 8 是作为使用了超导元件的高频电路的变频器的结构略图。

图 9 是图 8 所示的变频器的电路图。

图 10 是与图 9 比较用的现有的变频器的电路图。

图 11 是表示作为高频电路的变频器的另一结构的示意图。

图 12 是约瑟夫逊元件的等效电路图。

下面根据附图说明本发明的实施形态。

图 1 是本发明的高频装置的略图，该装置备有包含超导元件的作为高频电路的变频器、冷却器、以及包围它们的屏蔽罩。变频器被装在高频部件 7 中，用输入用的高频传输线路 4 及输出用的高频传输线路 5 与外部电路连接。冷却器采用斯特林冷冻器、GM 冷冻器、用液态制冷剂冷却的导热性好的低温部件、珀耳贴元件等电子冷却装置或者将它们组合使用的冷却器。

包含高频电路的高频部件 7 与作为冷却器的低温部分的低温台 8 进行热接触，低温台 8 和高频部件 7 通常采用螺纹结合，但为了确保良好的导热性，在两者之间夹入各种膏或润滑油、金属箔、金属粉、或者将两者焊接起来也是一种有效方法。

另外，设有包围高频部件 7 和低温台 8 的热屏 11。该热屏 11 可以是冷却成低温的金属制的罩、或者是充满低温流体的杜瓦瓶状的物体。通过将它们组合成几种结构，热屏效果好，具有提高高频电路的温度稳定性的效果。将屏蔽容器内部减压，能减少由气体对流引起的与外部之间的导热，该方法也具有提高高频电路的温度稳定性的效果。

最好兼作电磁屏蔽用，利用具有良好的导电性的铜、铝等材料作屏蔽罩，但在需要屏蔽低频分量的磁场时，可用坡莫合金、镍铁高导磁合金、镍合金等高导磁率材料进行屏蔽。

图 2A ~ C 是表示作为使用超导元件的高频电路的一个例子的振荡器的电路图。图 2A 是将约瑟夫逊元件 31 作成串联的形式，图 2B 是将约瑟夫逊元件 31 作成并联的形式，图 2C 是将约瑟夫逊元件作成串并联的形式。通过外部的高频传输线路 33 取出功率。在该结构中，可改变电源 32 的功率，使取出到传输线路 33 的振

荡频率变化，作为可变频振荡器工作。

图 3A ~ C 表示作为使用了超导元件的高频电路的另一例的振荡器的主要部分。图 3A 是俯视图、图 3B 是剖面图、图 3C 是等效电路图。在该例中，将 3 个约瑟夫逊元件 31 并联构成一个超导元件组件，再将多个超导元件组件 J1 ~ J4 并联在直流偏置线 42 上，以便进行电流偏置。因此所有的约瑟夫逊元件的端压都相同，从而振荡频率也相同。如图 3C 所示，将多个超导元件组件 J1 ~ J4 的规定部分与由薄膜电容器构成的相位调整电路 C1 ~ C3 连接，使与高频信号对应的相位一致。因此能将各超导元件组件的高频振荡功率有效地相加，能增大总体振荡电流的振幅。

通过适当地选择超导元件组件数及构成超导元件组件的约瑟夫逊元件数，能使振荡器的总阻抗为 50Ω 。与该振荡器连接的高频传输线路是设计成 50Ω 的微带型或共面型传输线路。因此，为了使振荡器和传输线路的阻抗匹配，必须使振荡器的输出阻抗为 50Ω 。

约瑟夫逊元件通常用图 12 所示的等效电路表示，该等效电路由表示直流及交流超导电流的电流源 52，以及与其并联存在的元件电容 53 及元件电阻 54 构成。多半情况下用于高频的约瑟夫逊元件的电容很小，可忽略这时的元件电容。超导元件组件的电阻与并联的超导元件的个数成比例地减小。可是，在高频情况下，由于相位调整电路的缘故超导元件组件实际上是串联连接的，因此适当地选择超导元件组件数就能调整振荡电路的阻抗。因此取得与外部的 50Ω 传输线路的阻抗匹配，能有效地取出高频功率。在本发明的结构中能任意地设计振荡器的阻抗，能容易地实现用特性相同的约瑟夫元件构成具有不同阻抗值的阵列。

图 4A ~ C 示出了高频电路的另一例的振荡器的主要部分，图 4A 是俯视图、图 4B 是剖面图、图 4C 是等效电路图。与图 3A ~ C 所示的结构一样，将 3 个约瑟夫逊元件 31 并联构成一个超导元件组件，再将多个超导元件组件 J1 ~ J4 并联在直流偏置线 42 上，以便进行电流偏置。而且用由薄膜电容器构成的相位调整电路 C1 ~ C4 连接超导元件组件 J1 ~ J4 的规定部分，使对应于高频信号的相位一致。与图 3A ~ C 所示结构的不同点在于相位调整电路的连接点。与图 3A ~ C 所示结构一样，通过适当地选择超导元件组件数及构成超导元件组件的约瑟夫逊元件数，使振荡器的总阻抗为 50Ω 。

在图 3A ~ C 及图 4A ~ C 中，用薄膜电容器构成相位调整电路，但也可用能决定高频功率的相位的任何一种电路构成，也可含有电阻成分和电感成分。但各约瑟夫逊元件实际上必须采用直流并联形式。

图 5 中示出了使用了上述那种约瑟夫逊元件的高频振荡器 45 和使用了普通的半导体元件的高频功率放大器 47 的连接例。高频功率放大器 47 将高频振荡器 45 的输出放大后输出给高频传输线路 46。在半导体元件方面使用化合物半导体的场效应型晶体管等，但如果是在所设计的频带内工作的器件，则使用哪一种都行。

图 6A ~ C 示出了将谐振器耦合在使用了约瑟夫逊元件的高频振荡器上而使振荡线宽变窄的结构例。在图 6A 中，耦合了 $1/2$ 波长的传输线路型谐振器 48，在图 6B 中，将电介质谐振器 49 靠近传输线路 46 配置。在图 6C 中，配置了薄膜环形谐振器 50。振荡线宽在任何情况下都与谐振器和线路的耦合强度有关，但与单独使用高频装置的情况相比较，振荡线宽变得较窄（变陡）。

也可将连接高频振荡器 45 的薄膜高频传输线路 46 本身构成谐振器，这时既能使电路的尺寸小，又能使振荡线宽变窄。

图 7 表示将多个谐振器型滤波器 34 与使用了约瑟夫逊元件的高频振荡器的输出端连接，且显示出使各自的输出频带变窄的结构。该图还显示出使驱动振荡器的电源 32 的电压变化而使输出频率变化的多频道振荡装置。既可将多频道的输出合成，也可直接从各自的输出端输出。另外，高频振荡器 31 不限于串联型，也可以是并联型或阵列型。

图 8 是表示作为高频电路的变频器的结构例的略图。将使用了约瑟夫逊元件的振荡器的本机振荡信号发生部分和另一进行频率变换的约瑟夫逊元件等超导元件配置在同一基板上，构成变频器的主要部分。如图所示，本发明的变频部分由输入用传输线路 4、输出用传输线路 5、变频部分 1、本机振荡信号发生部分 2、以及高频信号放大部分 3 构成。变频部分 1 由非线性超导元件构成。本机振荡信号发生部分 2 由使用了多个上述那种约瑟夫逊元件的振荡器构成。由变频部分 1 变换后的输出被由半导体元件构成的高频信号放大部分 3 放大后输出给输出用传输线路 5。

变频部分 1、本机振荡信号发生部分 2 以及高频信号放大部分 3 配置在基板 6 上。如图 1 所示，基板 6 装在高频部件 7 中，且与温度控制装置（冷却器）的低温台 8 热连接。温度控制装置备有热交换部分 9、制冷剂回流部分 10 以及低温台 8。最好设置用于使工作时成为低温的低温台 8 和高频部件 7 同外界隔热的热屏 11。也可以不设置公用的基板而将使用超导元件的变频部分 1、本机振荡信号发生部分 2 和高频信号放大部分 3 分别配置在各自的基板上再进行连接。由于高频信号放大部分 3 在室温下也工作，所以将变频部分 1 及本机振荡信号发生部分 2 安装在温

度控制装置的低温台 8 上的高频部件 7 中，高频信号放大部分 3 可设置在外部。高频信号放大部分 3 含有半导体元件，但最好用可在低温下工作的 HEMT、HBT 或低温 CMOS 等构成。变频元件只要是具有非线性特性的元件即可，也可使用普通的半导体元件（晶体管、二极管等）。

图 9 是对该变频器进行频率检测用的电路框图。来自天线 30 的输出在由使用了 HEMT 的放大器 29 构成的输入放大部分 28 中放大后被导入低温变频部分 21。在这里，使用了超导元件的本机振荡器 23 的输出和输入放大部分 28 的输出在由超导元件构成的混频器 22 中混合。其结果所得到的变频后的输出被输入到输出控制部分 25。而且，被由 GaAs 晶体管构成的输出放大器 26 放大后的输出信号通过带通滤波器 27 被输出到输出用传输线路 5。

为了与上述本发明的结构进行比较，图 10 示出了现有的变频电路框图。在本发明的结构中，混频部分 22 中用的超导元件的灵敏度高，而且本机振荡器以小功率工作，因此与现有的变频电路相比，能减少输入放大部分 28 的放大器 29 的级数，还能省去本机振荡部分的放大器 24。其结果，能实现电路的小型化。

图 11 示出了作为含有约瑟夫逊元件的高频电路的变频器的另一结构例。由超导元件构成的高频振荡器 45 和 2 个约瑟夫逊元件 31 连接在支线型耦合线路 51 上。施加能达到规定电压的电流偏置使高频振荡器 45 工作，再通过由支线型耦合线路 51 的另一输入端输入高频信号，能从约瑟夫逊元件的连接端取出两者之差的频率信号。因此能通过外差检波进行频率变换。作为非线性元件，通过使用约瑟夫逊元件 31，能获得高灵敏度的变

频器，但也可以使用其它半导体元件，例如肖脱基二极管等。

再用具体的实施例说明本发明。

(实施例 1)

在本实施例中，构成使用约瑟夫逊元件的多频道振荡器作为高频电路，用 GM 型冷冻器作为温度控制装置。用约瑟夫逊元件阵列以如下方式构成多频道振荡器。用厚为 0.5mm 的 MgO 单晶体作为基板，在该基板上形成约瑟夫逊元件和高频传输线路的图形。传输线路采用由 Au 薄膜构成的微带型传输线路。因此，在整个基板的背面上形成 Au 薄膜作为接地面。

超导元件是使用所谓 123 结构的钇系列氧化物超导体的阶梯棱边型约瑟夫逊元件，其结构与 Yoshito Fukumoto 等人在 Jpn. J.Appl.Phys. 30 (1991) 3907 – 3910 中所述的元件相同。

利用在基板表面加工的台阶形成元件，可通过基板加工、超导体薄膜成膜及形成图形三个主要程序形成元件。此后，在整个表面上形成 Au 薄膜，形成传输线路图形和各种焊接区，从而形成了高频电路。

该元件结构适用于将约瑟夫逊元件串联或并联构成阵列。在本实施例中，将 10 个组合串联使之作为约瑟夫逊振荡器进行工作。将驱动电源作为外部电路，并将驱动电源连接在约瑟夫逊元件阵列的两端，使直流电流过约瑟夫逊元件。为了将振荡功率有效地取到外部，而将传输线路与约瑟夫逊元件的端子直接连接，但为了使直流电不流过传输线路，而将 DC 部件插入传输电路和约瑟夫逊元件之间，但也可将两者进行电容耦合。

将其输出分成 4 个系统，将中频不同的 4 个带通型滤波器连

接在各系统的输出端，使振荡器的电源电压变化时，只有当与各滤波器的通带频率一致时，在各系统的输出端才有输出。因此，能构成可开关或频率可变的高频振荡器。

该振荡元件装在铜或铸铜制的高频部件中，用螺钉固定在 2 级型的 GM 型冷冻器的冷却头（冷却台）上。为了具有良好的导热性，在高频组件和冷却头之间涂敷一层润滑油。用导电膏或焊膏代替润滑油也有效。用镀过金的铜制的热屏或坡莫合金制的磁屏包围冷却部分，再用不锈钢制的外部容器包围后，将容器内部减压。从而能减少外部电磁噪声的影响、同时也减少了从外部传进的热量、提高了高频电路的热稳定性。再将温度传感器安装在冷却头上，通过将其输出反馈给 GM 冷冻器的电源，能将冷却头维持在一定的温度（12K 以上的任意温度）下。因此进一步提高了高频电路工作的稳定性。

在本实施例中使用了 GM 型冷冻器，但已确认，即使使用斯特林冷冻器或焦耳—汤姆孙型的冷冻器也能确保同样的稳定性。另外，在 77K 的温度下工作时，也可将以液态氮为制冷剂的简单的杜瓦瓶作为温度控制装置使用。

（实施例 2）

作为另一个实施例，说明使用的约瑟夫逊元件的高频振荡装置。在本实施例中，将厚 0.5mm 的 MgO 单晶体作为基板用，在它上面形成约瑟夫逊元件和高频传输线路图形。传输线路是由 Au 薄膜构成的微带型传输线路，在基板背面整个表面上形成 Au 薄膜作为接地面。超导元件是用所谓 2212 相的铋系列氧化物超导体叠层型约瑟夫逊元件，其结构与 Kolchi Mizuno 等人在 Appl. Phys. Lett. 56 (1990) 1469~1471; Jpn. J.Appl. Phys. 30 (1991) L1559 ~ L1561 中所述的元件结构相同。用在同一

真空中形成的多层膜形成元件，该元件适合于将约瑟夫逊元件并联构成阵列。

通过形成含有超导薄膜的多层膜和进行多次图形形成处理而形成超导元件，然后在整个表面上形成 Au 薄膜，并通过形成传输线路图形及各种焊接区而形成高频振荡电路。在本实施例中的设计如下：将 3 个组合并联构成超导元件组件，将其构成 10 级，而且在各级之间用薄膜电容器进行高频耦合，作为高频振荡元件工作。一个约瑟夫逊元件的电阻为 1Ω 左右，加上与电极的接触电阻后约为 15Ω 。因此，通过将 3 个约瑟夫逊元件并联，再进行高频 10 级串联，实现了总体阻抗为 50Ω 。驱动电源作为外部电路，将驱动电源连接在约瑟夫逊元件阵列的两端，使直流电流过约瑟夫逊元件。为了以 20GHz 的中频有效地振荡，将 $1/2$ 波长谐振器耦合在高频传输线路上。

将该元件冷却到 50K 以下的温度工作时，超导元件作为约瑟夫逊元件工作，由于使电流流过偏置线，已确认作为高频振荡元件工作。

用于超导元件的超导体可以是金属类的材料（例如 Nb、Nb 合金、Pb 或 Pb 合金等），也可以是其它高温氧化物超导体（Y 系列、Tl 系列、Hg 系列等）。高频传输线路不限于上述的超导体，也可用其它金属材料（Pt、Cu、Ag、或它们的合金、或合金的合金）形成。实际上，最好使用在工作频率范围内具有最小的表面电阻的材料。

基板材料最好是在高频下介质损耗小的材料，可使用蓝宝石或各种电介质材料。使用氧化物超导体时，为了获得良好的超导特性，基板材料的晶体常数最好接近超导体的晶格常数。因此可用使用 LaAlO_3 、 LaGaO_3 、 LaSrO_3 等钙钛矿系列单晶材料。

说 明 书 附 图

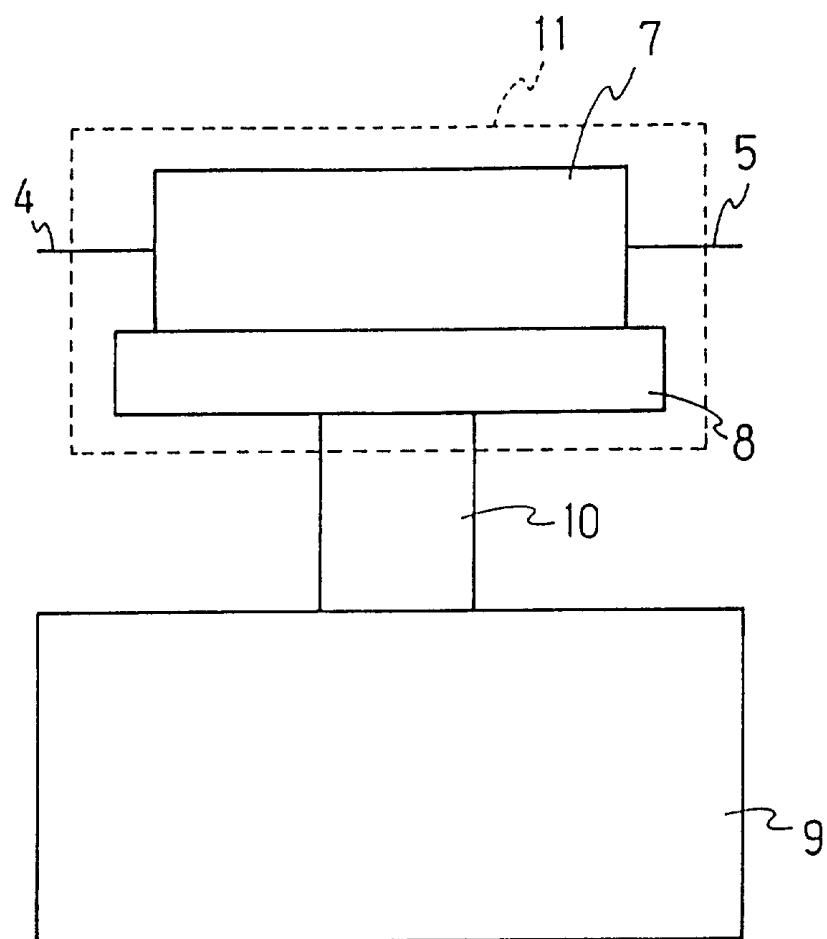


图 1

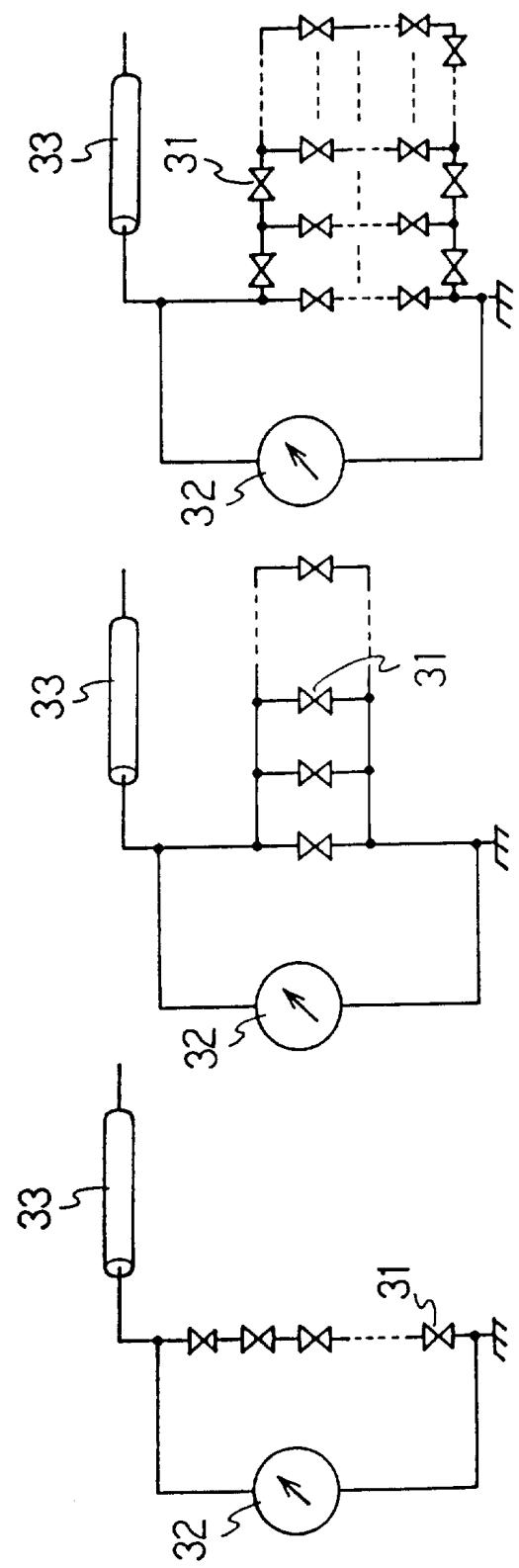


图 2A

图 2B

图 2C

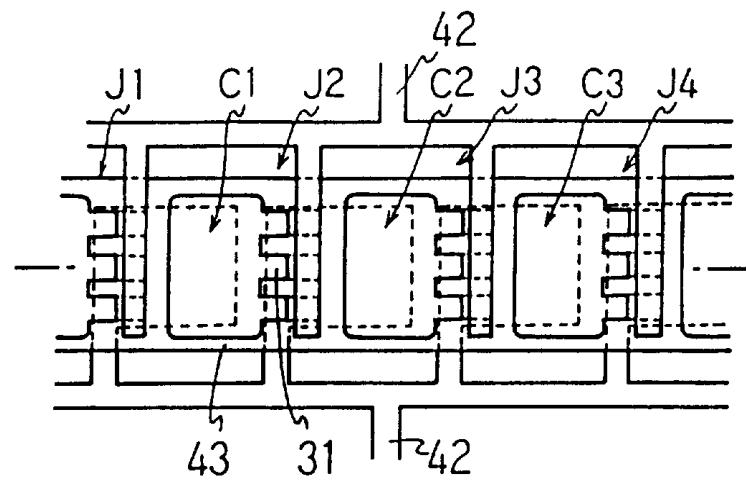


图 3A

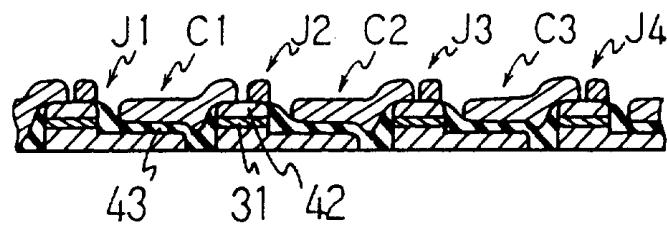


图 3B

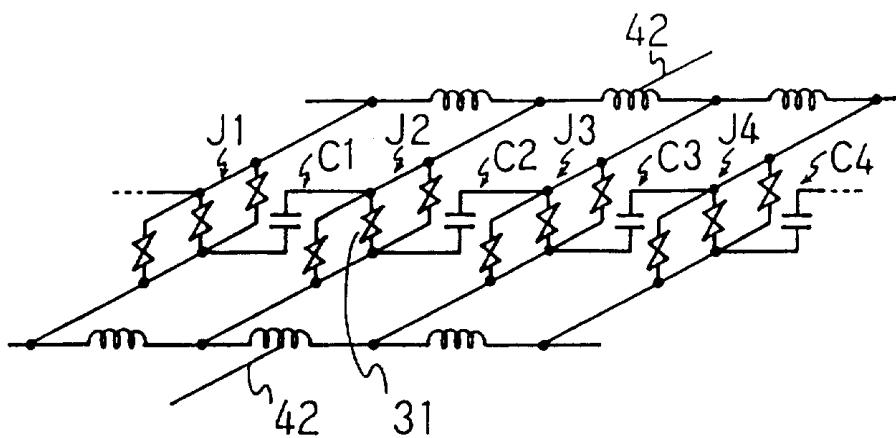


图 3C

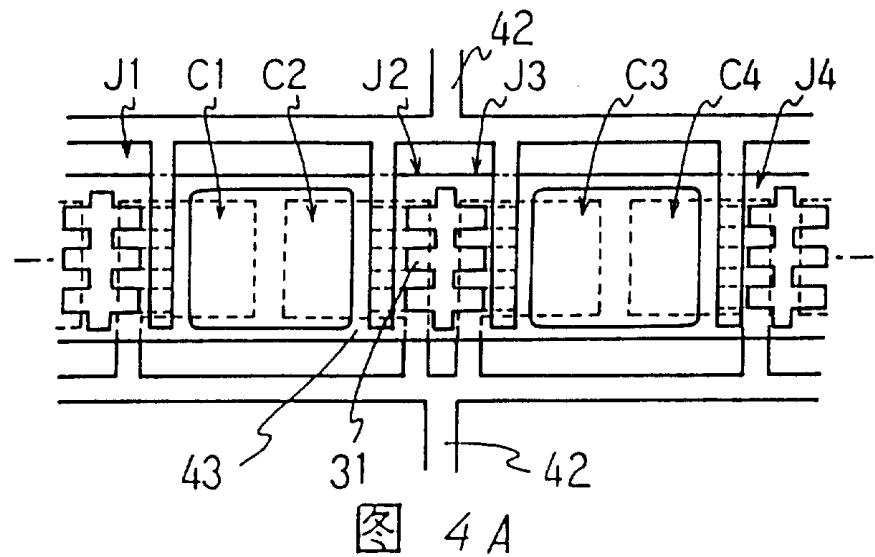


图 4 A

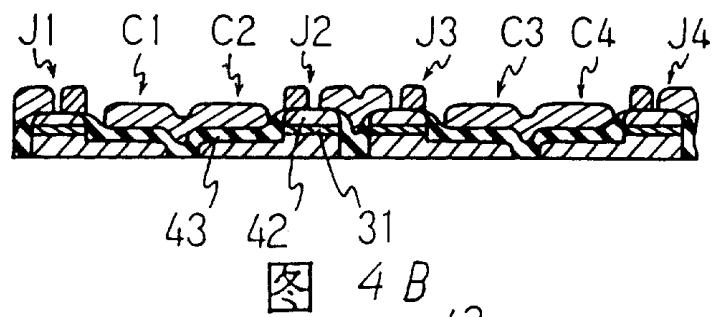


图 4 B

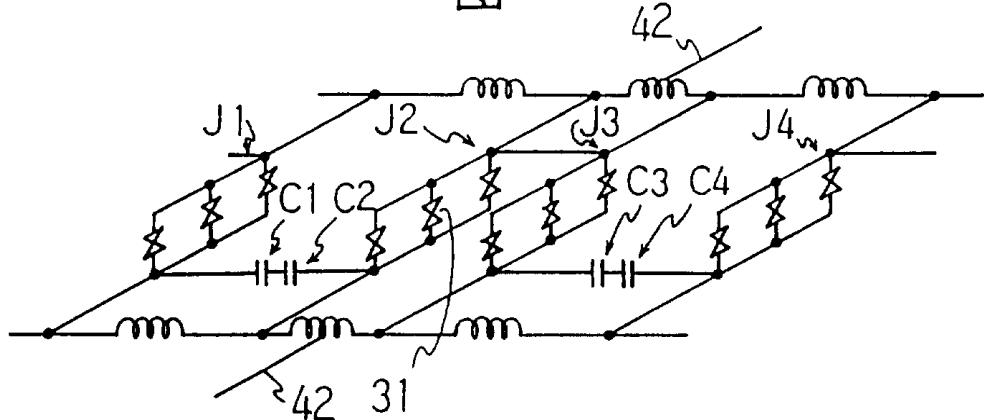


图 4 C

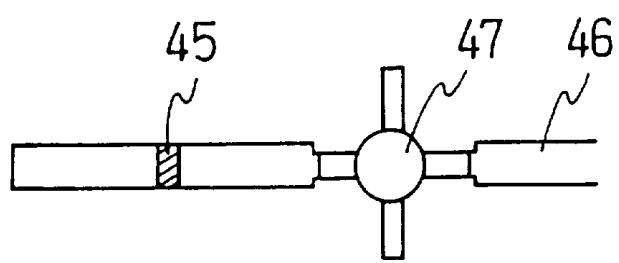


图 5



图 6A

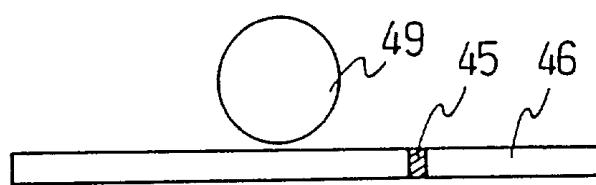


图 6B

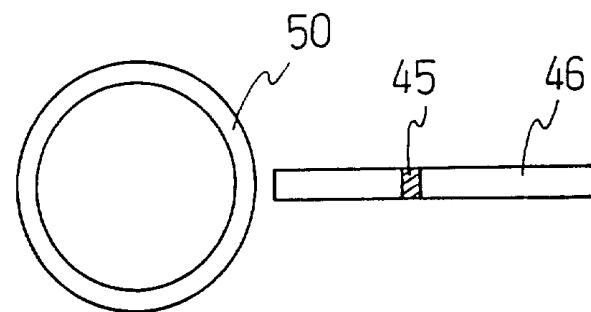


图 6C

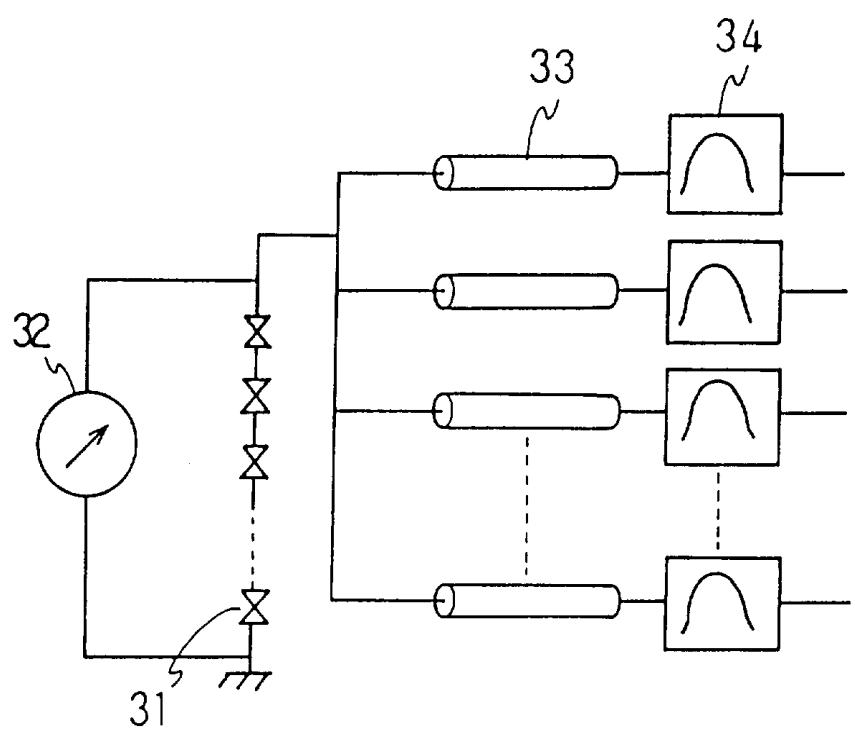


图 7

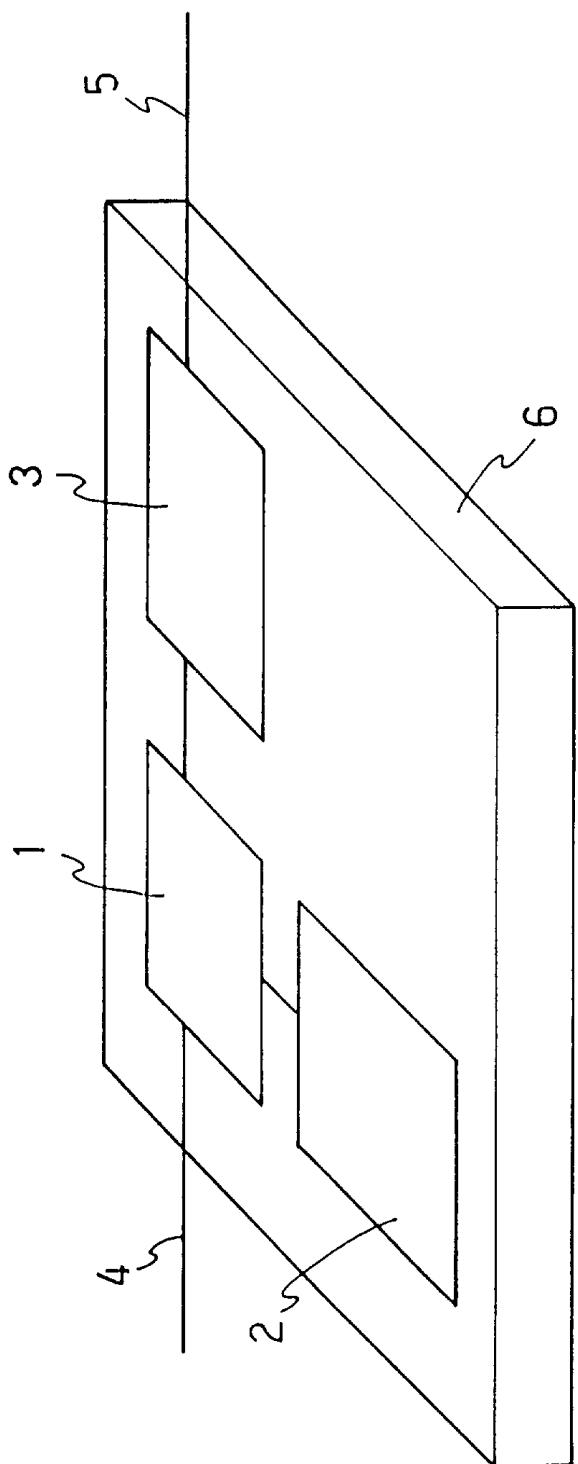


图 8

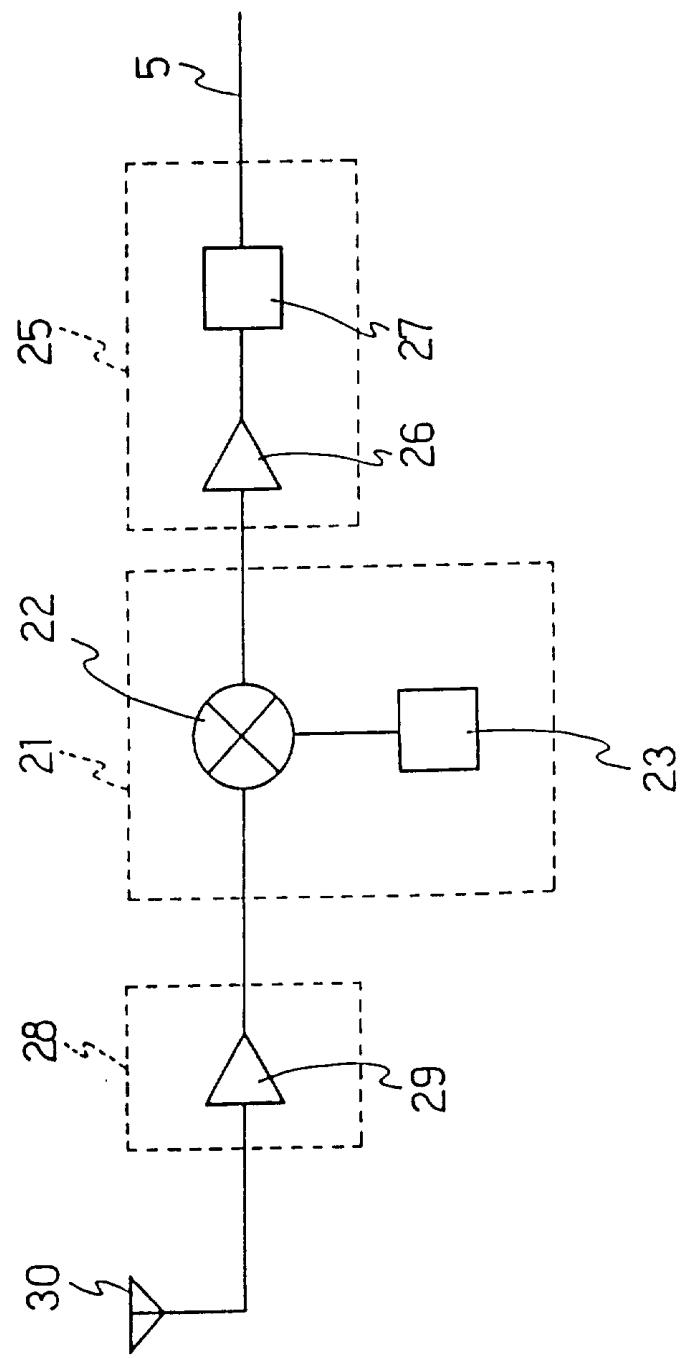


图 9

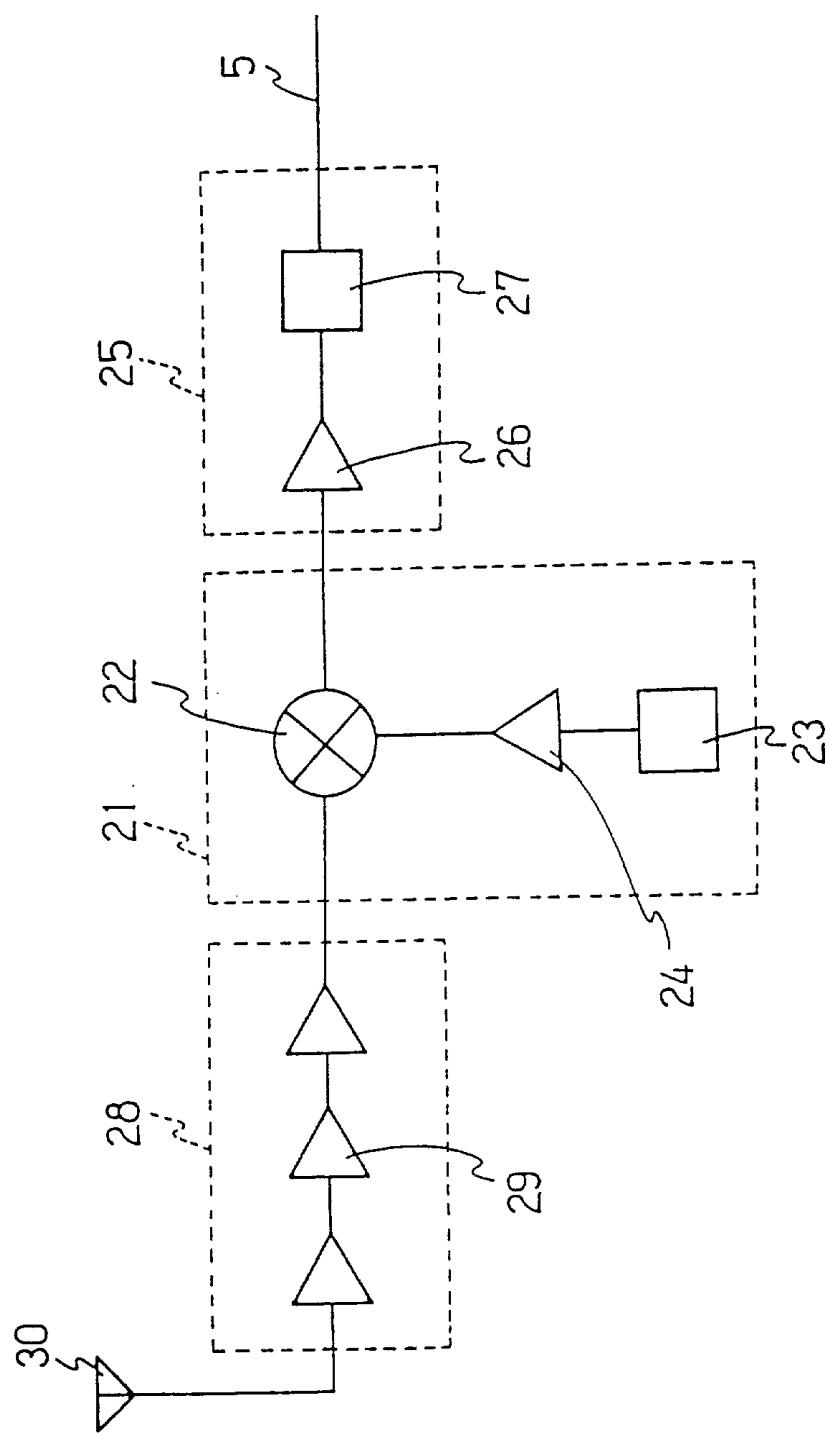


图 10

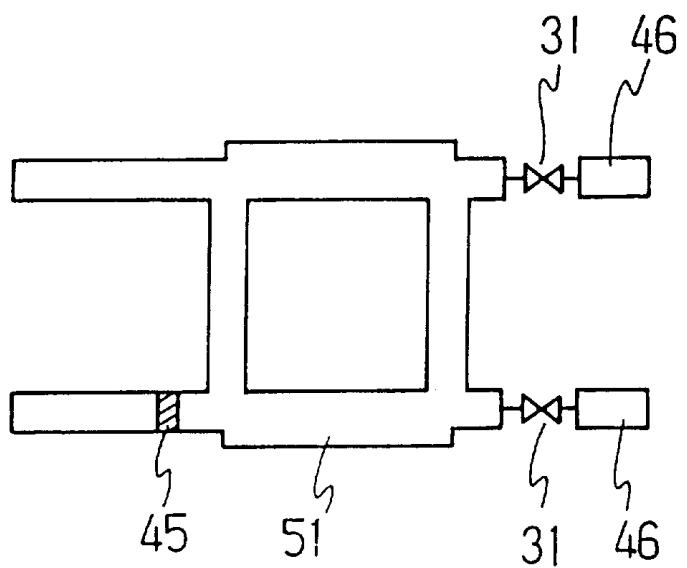


图 11

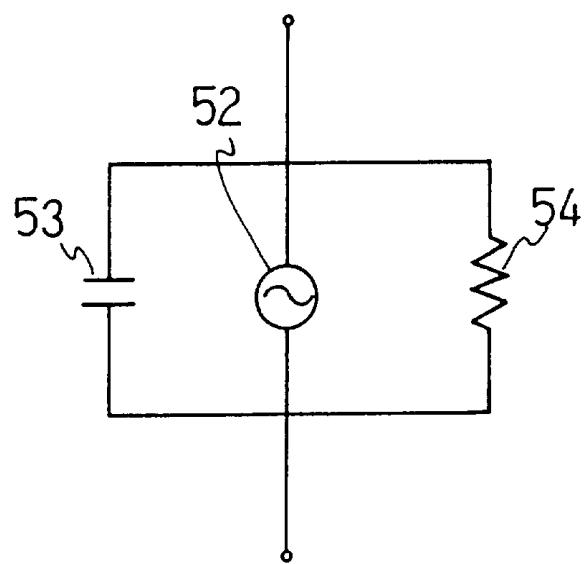


图 12