



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 90110153.2

[45]授权公告日 1998年10月7日

[11] 授权公告号 CN 1040073C

[22]申请日 90.12.18 [24]颁证日 98.6.20

[21]申请号 90110153.2

[30]优先权

[32]89.12.25 [33]JP [31]335314 / 89

[32]90.7.13 [33]JP [31]185878 / 90

[73]专利权人 石川岛播磨重工业株式会社

地址 日本东京都

[72]发明人 桑野博明

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 杨松龄

[56]参考文献

US4574310 1987. 6.23 B21B37 / 06

US4587819 1986. 5.13 B21B37 / 06

US4656854 1987. 4.14 B21B37 / 06

US4760723 1988. 8. 2 B21B37 / 12

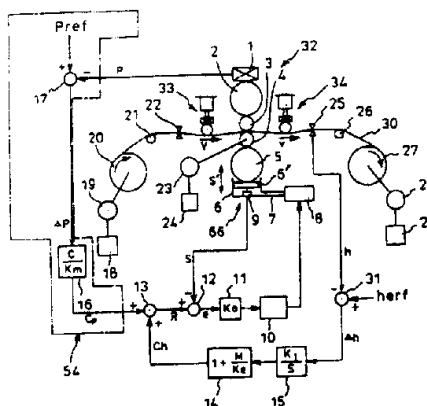
审查员 王澄

权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图页数 22 页

[54]发明名称 轧机的板厚控制系统

[57]摘要

一种轧机板厚控制系统，该轧机具有一个可设定上下工作辊之间的轧辊间隙的液力轧辊间隙控制装置，以及一个根据基准轧制压力与由测力传感器测出的轧制时的实际轧制压力的任何差值、以对上述液力轧辊间隙控制装置输出指令信号的轧机模数控制装置，在轧机的输入侧或输入和输出侧设置张力控制装置，以快速抑制由于改变轧辊间隙而引起的张力波动。



# 权 利 要 求 书

1.一种轧机板厚控制系统, 该轧机(32)具有一个可设定轧机两工作辊(3, 4)之间的轧辊间隙的液力轧辊间隙控制装置(66), 以及一个根据基准轧制压力与由测力传感器(1)测出的轧制时的实际轧制压力的差值、以对所述液力轧辊间隙控制装置施加修正信号( $C_p$ )的轧机模数控制装置(54), 该板厚控制系统至少在轧机的输入侧设置张力控制装置(33), 以调节工件上的张力, 其特征在于: 张力控制装置(33)包括: 用以使工件(30)在其厚度方向上发生位移的装置(35); 用以产生表示工件上的张力的信号( $T$ )的装置(37); 用以将所述信号( $T$ )与基准信号( $T_{ref}$ )相比较以产生偏差值( $\Delta T$ )的装置(45); 以及根据该偏差值来控制所述位移发生装置(35)、以改变工件上的张力从而减小该偏差值的装置(40, 42)。

2.根据权利要求1所述的系统, 其特征在于还包括: 用以检测待轧制工件(30)的厚度的测厚计(22), ; 用以测定待轧制工件的速度的测速计(55); 轧辊间隙计算元件(51), 由来自测厚计(22)的信号产生轧辊间隙改变信号( $C_f$ ), 以计算与由测厚计(22)检测的厚度适应的轧辊间隙改变时间, 并在计算的时间将轧辊间隙改变信号( $C_f$ )施加给所述液力轧辊间隙控制装置(66)。

3.根据权利要求2所述的系统, 其特征在于还包括: 用以检测已轧制工件(30)的厚度的测厚计(25); 轧机模数计算元件(52), 用以靠来自所述测力传感器(1)的信号( $P$ )和来自测厚计(25)的信号( $h$ )二者中的至少一个来产生一个表示最佳轧机模数的信号( $K_b$ ); 改正增益设定器(53), 用以根据轧机模数信号( $K_b$ )来产生改正增益信号( $C$ ), 并将该改正增益信号施加给所述轧机模数控制装置(54)。

4.根据权利要求 1 所述的系统,其特征 在于包括压辊 ( 35 ); 用以控制压辊 ( 35 ) 的装置包括一使压辊移动的液压缸 ( 40 ) 和一根 据信号偏差值 (  $\Delta T$  ) 来控制对所述液压缸 ( 40 ) 提供的流体的伺服 阀 ( 42 ) 。

5.根据权利要求 1 所述的系统,其特征 在于所述使工件 ( 30 ) 发 生位移的装置 ( 35 ) 包括: 用以形成流体膜以支承工件的流体支承机 构 ( 57 ); 以及根据信号偏差值 (  $\Delta T$  ) 来控制对所述流体支承机构 输出的流体流率的控制阀 ( 58 ) 。

6.根据权利要求 1 所述的系统,其特征 在于所述使工件 ( 30 ) 发 生位移的装置 ( 35 ) 包括: 对工件 ( 30 ) 施加吸力或排斥力的电磁 铁 ( 101 ) 或线性马达装置; 以及根据偏差值来调节吸力或排斥力的 调节器 ( 103 ) 。

7.根据权利要求 1 至 6 中任一项所述 的系统,其特征 在于用以产 生表示工件 ( 30 ) 上的张力的信号的装置包括测力传感器 ( 37 ; 50 ), 用以测出作用在如所述压辊 ( 35 ) 和设在工件路径上的导辊 ( 21 ) 之类的辊子或其它构件上的力。

8.根据权利要求 1 至 6 中任一项所述 的系统,其特征 在于包括: 一传感器 ( 90 ), 用以产生表示在轧机输入侧的工件 ( 30 ) 的卷材 ( 67 ) 的半径的信号; 以及一系数相乘器 ( 44 ), 将偏差值 (  $\Delta T$  ) 施加给用以控制位移发生装置 ( 35 ) 的装置 ( 40, 42 ); 该系数相 乘器 ( 44 ) 根据来自传感器 ( 90 ) 的信号 的数值来选择负的或正的 控制增益及其数值大小。

9.根据权利要求 1 至 6 中任一项所述 的系统,其特征 在于包括: 用以产生表示待轧制工件 ( 30 ) 的速度的信号的传感器 ( 93 ); 以 及一系数相乘器 ( 44 ), 将偏差值 (  $\Delta T$  ) 施加给用以控制位移发生

装置 ( 35 ) 的装置 ( 40, 42 ) ; 该系数相乘器 ( 44 ) 根据来自传感器 ( 90 ) 的信号数值来选择负的或正的控制增益及其数值大小。

轧机的板厚控制系统

本发明涉及液力加载轧机的可实现工件板厚高应答控制的板厚控制系统。

图 1 显示了传统式液力加载轧机的一种实例。一种单机架可逆冷轧机 32，其进入侧和输出侧具有退卷卷筒 20 和卷绕卷筒 27。更具体地说，待轧制工件 30 由电机 19 所驱动的卷筒 20 喂入，通过导辊 21 后在上、下工作辊 3、4 之间进行轧制。被轧好的工件 30 通过另一个导辊 26，在由电机 28 驱动的卷筒 27 上卷绕。卷筒驱动马达 19 和 28 分别与卷筒电机张力控制装置 18 和 29 相关联，以便分别保持作用在输入侧和输出侧的工件上的张力具有恒定值。通常，张力控制装置 18 和 29 以使电机电流与张力成比例那样来进行控制。利用速度控制装置 24 来控制工作辊驱动马达 23，从而控制轧制线上的轧制速度达到预定的数值。

在图 1 中，标号 1 表示测定轧制压力的测力传感器；标号 2 和 5 表示上、下支承辊；标号 6 表示调节工作辊 3 和 4 之间的轧辊间隙的液压缸；标号 8 表示通过配管 7 与缸 6 相连的伺服阀；标号 9 表示检测液压缸 6 中的压头 6' 的位移的变位计；标号 10 表示传递电流信号型式的开度指令给伺服阀 8 的伺服放大器；标号 11 表示提供控制增益  $K_G$  以对比较器 12 的输出信号进行增幅、从而控制压头 6' 的压下位置  $S'$  的系数相乘器。

在基本位置控制循环(loop)中，指令信号  $R$  与变位计 9 的输出信号  $S$  相比较，获得的偏差信号  $e$  在系数相乘器 11 中用增益  $K_G$  相乘。根据该乘出的信号，通过伺服放大器 10 来控制伺服阀 8 的开度，以调节通过配管 7 供给液压缸 6 的压力油量，从而控制压头 6' 的位置  $S'$ 。其结果，下

支承辊 5 和下工作辊 4 被移动，将工作辊 3 和 4 之间的轧辊间隙调节至预定值。这样，提供了一种轧辊间隙液压控制系统 66。

只控制压头 6' 的位置  $S'$ ，由于已承受轧制压力的轧机的伸长，就会造成上、下工作辊 3 和 4 之间的轧辊间隙的误差。为克服该问题，通常采取补偿措施如下。在轧制开始后，将基准轧制压力  $P_{ref}$  储存在适当的定时器中。基准轧制压力  $P_{ref}$  与测力传感器 1 测出的表示轧制过程中的实际轧制压力的信号  $P$  的偏差值  $\Delta P$ ，由比较器或加减器 17 进行计算，然后在轧机模数控制装置 54 的系数相乘器 16 中除以轧机模数  $K_m$ （轧机中相当于弹簧常数的数，事先已测定出），以计算出轧机的伸长量。将计算出的伸长量乘以一个确定改正百分数的改正增益  $C$ ，求出修正压头 6' 的位置  $S'$  的修正信号  $C_p$ 。该信号  $C_p$  作为上述的基本位置控制循环的指令，加到加法器 13 上，以改正压头 6' 的位置  $S'$ 。这种程序，一般称之为轧机模数控制。

另外，为了使轧机输出侧的轧制工件 30 的绝对板厚与目标值或基准值  $h_{ref}$  达到一致，将设置在轧机 32 的输出侧的厚度计 25（在逆方向轧制时使用厚度计 22）所检测出的实际板厚的信号  $h$ ，与基准值  $h_{ref}$  在比较器或加减器 31 中进行比较计算，求出厚度偏差值  $\Delta h$ 。将该偏差值输入积分控制器 15 后，在系数相乘器 14 中乘以一个用于改正为实际压下位置的改正增益  $1+(M/K_e)$ ，求出修正压头 6' 的压下位置  $S'$  的修正信号  $C_h$ 。同样将该修正信号  $C_h$  作为上述基本位置控制循环的指令加到加法器 13 上，以改正压头 6' 的位置  $S'$ 。这一程序称之为监测器 AGC。这里， $M$  是代表工件 30 硬度的常数，已事先测出。 $K_e$  是被控制的轧机模数，它满足以下关系式： $K_e = K_m / (1 - c)$ 。

在图 1 所示的轧机中，当改变压下压头 6' 的位置  $S'$  以控制工件 30 的板厚时，施加在输入侧和输出侧的工件 30 上的张力发生波动。例如，当工作辊 3 和 4 之间的轧辊间隙变窄以使工件 30 的板厚变薄时，工件 30 伸

长，输入和输出侧的张力会减小。这种张力的变化，可以由改变惯性很大的卷筒20和27的圆周速度来吸收。但是这种吸收反应通常要比液力轧辊间隙控制慢一个位数以上。这意味着，一旦轧辊间隙变化而使工件30的输入侧和输出侧上的张力波动，张力不能象液力轧辊间隙控制那么快回复到设定值。其结果，在输入侧和输出侧上的张力的减小会使工件30产生变形阻力，显著抵消了轧辊间隙变窄的作用，造成了工件厚度并没有减薄的不良效果。也就是说，当试图在高应答液力轧辊间隙控制下减薄工作厚度时，工件厚度不能在高于卷筒20和27的圆周速度变化反应的速率下被变薄。因此，在输入侧的厚度干扰，比如2-3Hz 或以上，不能靠利用上述轧机模数控制来使轧机变硬而得以消除，这是因为板厚控制由于上述原因而不能起反应。

在轧制厂里常常听说，即使压头6'的位置S'靠液力轧辊间隙控制装置66迅速地进行控制，也不能象预期那样保证板厚控制精度。这可归结于上面所述原因。

图2示出了本发明人所作的计算机模拟实例，它支持着上面提到的事实。模拟的对象是如图1中所示的单机架可逆式冷轧机，其中，工件宽度为1800mm，输入侧板厚度为0.52mm，输入侧设定张力为1.36吨，而输出侧张力设定为2.35吨，工件在轧制速度为1800m/min下被轧制成厚度为0.3mm，在轧制过程中每次 $10\mu\text{m}$ 逐级减小轧辊间隙。假定液力轧辊控制的应答周波数为20Hz，相位滞后 $90^\circ$ ，并且每级应答为0.04秒或以下可到达目标值。根据模拟的结果，当轧辊间隙变化 $10\mu\text{m}$ 时，输出侧的板厚变化 $\Delta b$ 在1秒钟左右达到定常值。在实际的液力轧辊间隙控制系统中，系统用0.04秒达到目标值，而板厚的变化迟于该时间的25倍，这是由于如上面所述，根据输入和输出侧的卷筒20和27的圆周速度变化的应答很慢的缘故造成的。也就是说，卷筒20和27的张力一般靠使电机电流恒定来控制，包含有电机19和28的卷筒20和27具有相当大的惯性，

因此，靠控制电流，使卷筒的圆周速度达到某些抑制张力波动的定常值时，需要大约 1 秒钟。

本发明的目的在于克服现有技术中存在的上述和其它问题，提供一种轧机板厚控制系统，它可提高板原控制的应答速度，以获得高精度的产品厚度。

本发明提供一种轧机板厚控制系统，该轧机具有一个可设定轧机两工作辊之间的轧辊间隙的液力轧辊间隙控制装置，以及一个根据基准轧制压力与由测力传感器测出的轧制时的实际轧制压力的差值、以对所述液力轧辊间隙控制装置施加修正信号的轧机模数控制装置，该板厚控制系统至少在轧机的输入侧设置张力控制装置，以调节工件上的张力，其中：张力控制装置包括：用以使工件在其厚度方向上发生位移的装置；用以产生表示工件上的张力的信号的装置；用以将所述信号与基准信号相比较以产生偏差值的装置；以及根据该偏差值来控制所述位移发生装置、以改变工件上的张力从而减小该偏差值的装置。

根据本发明的系统，还包括：用以检测待轧制工件的厚度的测厚计；用以测定待轧制工件的速度的测速计；轧辊间隙计算元件，由来自测厚计的信号产生轧辊间隙改变信号，以计算与由测厚计检测的厚度适应的轧辊间隙改变时间，并在计算的时间将轧辊间隙改变信号施加给所述液力轧辊间隙控制装置。

根据本发明的系统，还包括：用以检测已轧制工件的厚度的测厚计；轧机模数计算元件，用以靠来自所述测力传感器的信号和来自测厚计的信号二者中的至少一个来产生一个表示最佳轧机模数的信号；改正增益设定器，用以根据轧机模数信号来产生改正增益信号，并将该改正增益信号施加给所述轧机模数控制装置。

根据本发明的系统, 包括压辊; 用以控制压辊的装置包括一使压辊移动的液压缸和—根据信号偏差值来控制对所述液压缸提供的流体的伺服阀。

在上述系统中, 使工件发生位移的装置可包括: 用以形成流体膜以支承工件的流体支承机构; 以及根据信号偏差值来控制对所述流体支承机构输出的流体流率的控制阀。也可包括: 对工件施加吸力或排斥力的电磁铁或线性马达装置; 以及根据偏差值来调节吸力或排斥力的调节器。

图 1 是传统系统的总方块图;

图 2 是显示图 1 所示系统的计算机模拟试验结果的曲线图;

图 3 是本发明第一实施例的系统总方块图;

图 4 显示图 3 中的张力控制装置 33 和 34 的具体实例;

图 5-7 示出了卷筒电机张力控制装置 18 和 29 的应答高于图 1 所示传统系统的三倍时的计算机模拟的应答结果; 其中

图 5 显示输入侧和输出侧的张力控制装置 18 和 29 的应答较高的情况;

图 6 显示只是输出侧的张力控制装置 29 的应答较高的情况;

图 7 显示只是输入侧的张力控制装置 18 的应答较高的情况;

图 8 是本发明第二实施例的系统总方块图;

图 9 是图 8 中所示张力控制装置 48 和 49 的具体实例图;

图 10 是本发明第三实施例的张力控制装置的具体实例图;

图 11 是本发明第四实施例采用电磁铁或线性马达作为张力控制装置的具体实例的总方块图;

图 12 是卷筒 20 和 27 的张力控制原理的说明图;

图 13 是显示轧辊间隙  $\Delta S$  变化时对输出侧板厚变化  $\Delta h$  的影响的曲线图;

图14是本发明的张力控制装置的特性说明方块图;

图15是本发明第五实施例的方块图,其控制增益是按照卷取半径进行修正;

图16是本发明第六实施例的方块图,其中,控制增益是按照轧机速度进行修正的;

图17是显示相对于输入侧板厚波动的输出侧板厚波动和输入侧张力波动的计算机模拟结果的曲线图;

图18是显示在图3的系统中相对于输入侧板厚波动的输出侧板厚波动和输入侧张力波动的计算机模拟结果的曲线图;

图19是显示在图1的传统系统中相对于轧辊偏心的输出侧板厚波动和输入侧张力波动的计算机模拟结果的曲线图;

图20是显示在图1的传统系统中相对于轧辊偏心的输出侧板厚波动和输入侧张力波动的计算机模拟结果的曲线图;

图21是本发明第七实施例的系统总方块图;

图22是在图21的系统中轧机模数增加三倍时的情况的计算机模拟的结果曲线;

图23是在图21的系统中采用自然轧机模数时的情况的计算机模拟结果曲线。

### 第一实施例

图3示出了本发明应用于单机架可逆式冷轧机的第一实施例,其中,在图1所示传统轧机32的输入和输出侧配置有张力控制装置33和34。与图1中相同的零部件使用同一标号来表示,其中的说明部分此处省略。

图4示出了张力控制装置33和34的一种实例,其中,压住工件30的压辊35可转动地支承在臂36上。测力器或测力传感器37安装在压辊35的支承上,以测出来自工件30的反作用力。臂36与连杆38相连,可绕支轴

39 回转，使压辊35可垂直移动。连杆38还与一根延伸通过液压缸40的活塞杆41相连，靠伺服阀42调节供应给缸筒40的液体流率，就可使连杆38绕支轴39摆动。连杆38的摆动，使与之相连的臂36也相应摆动，从而使压辊35垂直移动。伺服阀42的开启度按下述方式调节：在由测力传感器37测出的工件30的反作用力的基础上，利用张力计算元件46可求出工件30的张力  $T$ ，然后利用比较器或加减器45与设定张力值  $T_{ref}$  相比较，求出偏差值  $\Delta T$ 。偏差值  $\Delta T$  在系数相乘器44中乘以系数  $K_T$ ，再通过伺服放大器43放大后用来控制伺服阀42，使差值  $\Delta T$  变为零值。

根据图 4 中所示的张力控制装置33和34，轧辊间隙的任何变化所引起的张力波动，由压辊35的轴承上的测力传感器检测出。为了使该张力波动值与目标值  $T_{ref}$  相等，利用高应答伺服阀42调节流入和流出液压缸40的流体的流入量和流出量，使压辊35垂直移动，从而使工件30上的张力迅速变化。因此，液力轧辊间隙控制装置的任何轧辊间隙的变化，立即影响工件30的输出侧板厚，与传统的靠电机电流的张力控制装置的情况相比，可以实现高应答的板厚控制。在图 3 所示的系统中，卷筒电机张力控制装置18和29较慢地抑制张力波动，而张力控制装置33和34迅速地吸收张力波动。

图 5 显示了使图 1 所示轧机32的输入和输出侧的卷筒电机张力控制装置18和29的应答速度高出三倍、并与图 2 具有相同条件的模拟实例的情况。与图 2 所示模拟实例相比，当轧辊间隙逐步减小  $10 \mu m$  时，输出侧板厚变化  $\Delta h$  在大约 0.3 秒之后达到定常值，即速度高出达三倍。

图 4 所示张力控制装置33和34，与液力轧辊间隙控制装置具有同样高的应答速度，它能够以比图 5 所示模拟实例更快的速度抑制张力变动，从而控制工件板厚。

图 6 是在图 1 所示的轧机上，使输出侧卷筒电机张力控制装置29的应答高出三倍速度，而输入侧卷筒电机张力控制装置18的应答与图 2 所

示相同的情况下的模拟实例。与此相反，图 7 是使输入侧卷筒电机张力控制装置 18 的应答高出三倍速度，而输出侧卷筒电机张力控制装置 29 的应答与图 2 所示相同的情况下模拟实例。

从图 6 和图 7 中可清楚看出，输入侧张力控制装置，比输出侧张力控制装置可对工件变形有更大的影响，只在输入侧设张力控制装置可高速应答控制，可以基本上达到如图 5 所示的输入和输出侧都有张力控制装置时的快速控制的同样效果。这意味着，在图 3 所示实施例的输入和输出侧张力控制装置中，在图示的轧制方向的情况下，只控制输入侧的张力控制装置 33 就可获得足够的效果。因此，虽然可逆式轧机由于其轧制方向的可逆性要求在轧机两侧设置张力控制装置，但是对于只在单方向上进行轧制的不可逆轧机来说，只在输入侧设张力控制装置就已经足够。

## 第二实施例

图 8 示出本发明的第二实施例，其中，导辊 21 和 26 的轴承上的测力传感器 50 检测工件 30 上的张力。张力控装置 48 和 49 根据测出的张力调节压辊 35（见图 9）的压下量，以控制工件 30 的张力。与图 3 和图 4 所示第一实施例中相同的零部件，使用同一标号。

图 9 示出图 8 中的张力控制装置 48 和 49 的一种实例，它们基本上与图 3 和 4 所示的第一实施例中的控制装置 48 和 49 相同，只是其中不使用压辊 35 的测力传感器 37，而是使用安装在导辊 21 和 26 的每个轴承上的测力传感器 50，以便检测来自工件 30 的反作用力。

根据图 9 中的张力控制装置 48 (49)，当轧辊间隙变化时，引起的张力波动由导辊 21 (26) 的轴承上的测力传感器 50 测出。为使该张力波动与目标值  $T_{ref}$  一致，利用高应答伺服阀 42 调节流入和流出液压缸筒 40 的流体流入量和流出量，使压辊 35 垂直移动，即刻改变工件 30 上的张力。因此，液力轧辊间隙控制装置的任何轧辊间隙的变化，迅速影响工件 30 的

输出侧板厚。与第一实施例的情况一样，张力控制装置48和49与传统的使用电机电流控制的卷筒电机张力控制装置相结合，从而可实现高应答板厚控制。

### 第三实施例

图3示出了本发明的第三实施例。其中，张力控制装置61是用流体膜来代替压辊，它包括流体座57、控制阀58、流体源59及连接这些部件的配管60。与上述第一和第二实施例中的零部件相同的零部件使用相同的标号表示。

流体座57将来自流体源59并通过阀58的流体以流体膜的形式喷向工件30的底面，靠其压力支承工件30并施加张力。导辊21(26)的轴承上的测力传感器50检测工件30上的反作用力。

将测力传感器50的检测输出输进张力计算元件62，以求出工件30上的张力 $T$ 。将该张力 $T$ 在比较器或加减器63中与张力基准值进行比较，求得偏差值 $\Delta T$ 。系数相乘器64将该偏差值 $\Delta T$ 乘以系数 $K_{TV}$ ，再将其输入控制阀调节器65，控制阀调节器根据输入信号调节控制阀58的开启度，从而控制从流体座57喷出的流体量。更具体地说，在测出的张力 $T$ 小于张力基准值 $T_{ref}$ 的情况下，控制阀58被进一步打开以增加流体流率，从而增大张力。反之，当测出的张力 $T$ 大于张力基准值 $T_{ref}$ 时，控制阀58被节流以减小流体流率，从而减小张力。按此方式，加在工件30上的张力由流体膜的压力来控制，以使偏差值 $\Delta T$ 变为零。

### 第四实施例

图11所示为其张力控制装置100采用电磁铁101的吸力的实例，待轧制工件限制为铁之类的铁磁材料。与图10中相同的零部件用相同标号表示出。标号103表示一个电磁输出调节器。电磁铁101根据测出的张力 $T$ 与张力基准值 $T_{ref}$ 的偏差值 $\Delta T$ 来驱动，对工件30产生垂直吸力以控制张力。可以不用电磁铁101，而是在工件上方和下方配置线性马达，

靠吸力或反作用力对工件施加张力。在这种情况下，工件局限于导电材料。

上面已经就图 5、6、7 和 12 描述了，板厚控制的应答可以通过加速张力控制的应答来提高。下面进行一步详述本发明的张力控制装置的特性。

图 12 说明了卷筒 20 和 27 的张力控制装置的原理。当卷材 67 的直径是  $D$ ，为在卷材 67 上产生张力  $T$  所需的电机 19(28) 的扭矩  $\tau$  与  $T$  和  $D$  的乘积成正比，即：

$$\tau \propto T \cdot D \quad (1)$$

另一方面，电机 19(28) 的输出扭矩由下式表示：

$$\tau \propto i \cdot \varphi \quad (2)$$

由(1) 和(2) 式可得：

$$T \propto i \cdot (\varphi / D) \quad (3)$$

式中  $i$  代表电机电流， $\varphi$  代表电机场磁通量。如果控制卷材直径  $D$  使之与电机场磁通量成正比例，则  $(\varphi / D)$  成恒定值，而张力  $T$  与电机电流  $i$  成正比。因此，在卷筒 20 和 27 的张力控制中，使卷材直径  $D$  与电机场磁通量  $\varphi$  成正比，所需的张力  $T$  就可以靠设定电机电流来获得。以上是轧制速度在加速后达到恒定时的稳定轧制过程中的卷筒 20 和 27 的传统张力控制方法。

如图 2 中所示，当采用传统的张力控制法时，由于卷筒 20 和 27 具有很大的惯性，张力控制的应答很慢，轧辊间隙的任何变化，只有在张力控制的应答时间，才能使输出侧的板厚发生变化。因此，在高应答液力轧辊控制中，不能改善板厚精度。

图 13 显示轧辊间隙  $\Delta S$  的变化对输出侧板厚变化  $\Delta h$  的影响的博德图。虚线表示采用传统张力控制装置的实例，而实线表示本发明的张力控制装置（例如图 9 中的 49 部分）设置在轧机的输入侧的实例。在虚线

所示传统实例中，轧辊间隙 $\Delta S$ 的影响，在3.75Hz时甚至被削弱至1/1000。如后面所要叙述的那样，该向下的尖峰是由于卷筒20(27)的惯性和工件30的弹簧常数的共振引起的。与此相反，在实线所示的本发明装置中，向下的峰向着低频率位置偏移，峰衰减值减少至大约1/10。在2-10Hz处，特性变得完全平坦， $\Delta b / \Delta S$ 近似等于1，轧辊间隙 $\Delta S$ 对板厚 $\Delta b$ 起影响。

图14是说明本发明的张力控制装置的特性或功能的方块图。由于其快速应答，控制装置部分被省略。虚线内的部分表示根据本发明的张力控制装置的特性，而其它部分表示轧制过程中的物理现象。使用的符号如下：

- E : 工件的杨氏模量，
- b : 工件宽度，
- H : 工件厚度，
- L1 : 轧机和卷筒之间的距离，
- J : 包括卷材的卷筒的惯性矩，
- R : 卷材半径 (=D/2)，
- Kt : 张力控制装置的增益，
- S : 拉普拉斯算子，
- $\Delta V$  : 轧制速度变量，
- $\Delta T_b$  : 后方张力波动。

下面，应用该方块图来说明，在轧制过程中产生的实际张力波动，以及本发明的张力控制装置的功能或特性。首先，包含卷材67的卷筒20(27)（见图12）由张力 $T_b$ （ $T_b$ 与来自图中未示的电流控制器的电机电流值成比例）来加速，在方块69部分，卷筒产生圆周速度V。该卷筒圆周速度V，受到工件30由于轧机32输入和输出侧的张力波动和/或工件30的板厚变化引起的速度变化 $\Delta V$ 的干扰，通过加法器72会引起速度不平

衡。它由积分器73进行积分，变成工件30长度方向上的伸长差 $\Delta l$ 。该伸长差 $\Delta l$ 在方块76计算出张力应力变化 $\Delta\delta$ 。计算出的 $\Delta\delta$ 在方块78乘以 $bH$ ，求得后方张力波动 $\Delta T_b$ ，在加法器80将 $\Delta T_b$ 与张力值 $T_b$ 相比较，求得差值 $T_b - \Delta T_b$ 。这样，利用差值 $T_b - \Delta T_b$ 驱动卷筒20(27)以修正 $\Delta V$ 的影响。但是，如方块69所示，卷筒20(27)具有大的惯性，所以修正速度象前述那样是很慢的。这些就是在轧制过程中实际产生的张力波动以及利用卷筒20(27)来作传统的张力波动修正的情况。与此不同，根据本发明的张力控制系统，张力波动 $\Delta T_b$ 被测出，并乘以由方块82给出的换算系数，变成伸长变化 $\Delta l_r$ 。伸长变化 $\Delta l_r$ 在方块84中乘以增益 $K_t$ ，得到控制量 $\Delta l_c$ ，用以进行张力控制。从图14清楚可见，由于不涉及卷筒的惯性（方块69），加速了应答。

在不考虑图14的虚线中的特性时，从 $\Delta V$ 向 $\Delta T_b$ 的变换函数，可根据以下等式得出：

$$\frac{\Delta T_b}{\Delta V} = \frac{\frac{S}{\left(\frac{R^2}{J}\right)}}{\frac{S^2}{\left(\frac{EbH}{L_1}\right)\left(\frac{R^2}{J}\right)} + 1} \quad (4)$$

由等式(4)，可得出共振频率 $\omega_n$ 如下：

$$\omega_n = \sqrt{\left(\frac{EbH}{L_1}\right)\left(\frac{R^2}{J}\right)}$$

在图13的虚线所示的传统系统中，该值为3.75 Hz。

其次，在考虑了虚线内的本发明的张力控制系统的特性的情况下，由 $\Delta V$ 向 $\Delta T_b$ 的变换函数可由下式给出：

$$\frac{\Delta T_b}{\Delta V} = \frac{\frac{S}{\left(\frac{R^2}{J}\right)}}{S^2 + \frac{1}{\left(\frac{EbH}{L_1} \cdot \frac{1}{1+K_t \cdot G}\right) \left(\frac{R^2}{J}\right)}} \quad (5)$$

这里，G代表张力控制装置（图14中的方块86）的动特性，并且

$$G = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2}$$

由等式(5)，共振频率 $\omega_n$ 可给出如下：

$$\omega_n = \sqrt{\left(\frac{EbH}{L_1} \cdot \frac{1}{1+K_t \cdot G}\right) \left(\frac{R^2}{J}\right)} \quad (6)$$

也就是说，本发明的张力控制装置起到改变工件30的杨氏模数的作用，使其偏离由卷筒20(27)的惯性和工件30的弹簧常数（杨氏模数）引起的共振频率 $\omega_n$ ，达到一个对板厚控制没有影响的区域。当 $K_t$ 取正值时，共振频率偏向低于实际共振频率的低频率一侧。当 $K_t$ 取负值时，共振频率偏向较高频率一侧。如果这样做，就可以防止在传统控制系统中所常遇到的现象，即张力由于卷筒20(27)的共振而显著变化，并且即使高频改变轧辊间隙也不能改变板厚。由于轧辊间隙的控制直接影响板厚，诸如向前喂给AGC或BISRA(英国钢铁研究协会)AGC的传统板厚控制模式就得以有效地应用。

#### 第五实施例

图15示出了本发明基于上述构思的一种实施例。从等式(6)可见，当改变卷材半径R时，卷筒惯性就会变化。在图15中，半径R可用例如光学传感器90测出。根据测出的半径值，计算元件91可求出控制增益 $K_t$ 的修正量 $\Delta K_t$ ，以此来修正控制增益 $K_t$ 。

## 第六实施例

图16示出了本发明的另一种实施例。其中，工件30的速度由检测器93测出。根据测出的速度计算输入侧板厚干扰频率，求出要求的 $\omega_n$ 值，再利用等式(6)由计算元件94逆算出所需的控制增益的修正量 $\Delta K_t$ ，从而改变控制增益 $K_t$ 。

## 第七实施例

当轧机靠模数控制加固(hardened)以消除任何输入侧板厚干扰时，诸如轧机自身产生的偏心的干扰当然地要影响板厚，导致板厚精度的降低。为解决该问题，传统实践上采用了所谓的轧辊偏心消除控制装置，其中，轧辊偏心度可以从例如轧制压力信号来求得，在求得轧辊偏心度的基础上，轧辊间隙可以靠将轧辊向着偏心的相反方向移动而得以纠正。但是，该方法在高速轧制下不能很好地消除偏心的影响，因为轧辊偏心的变化周期太快，不能及时反应给液力轧辊间隙控制装置。

图17至20显示了本发明为观察上述问题而作的计算机模拟试验的结果。模拟是在图1和3所示的单机架冷轧机上进行的，输入侧设定张力为1.42吨，输出侧设定张力为3.04吨，工件输入侧板厚0.28mm，宽度1800mm，工件在轧制速度为1800m/min下轧制至要求厚度0.2mm，假定输入侧板厚干扰的振幅为 $\pm 4\mu\text{m}$ 、脉动频率为5Hz，而轧辊偏心的振幅为 $\pm 3\mu\text{m}$ 、脉动频率为6.53Hz。

图17和图18显示只研究输入侧板厚波动的影响的情况。

图17显示在图1的传统轧机上靠轧机模数控制将轧机模数加固十倍的实例，对于输入侧板厚波动 $8\mu\text{m}^{P-P}$ ，输出侧板厚波动 $5.4\mu\text{m}^{P-P}$ 。在图3所示的轧机输入侧具有张力控制装置33的本发明系统中，输出侧板厚波动可以减少至如图18所清楚可见的 $3.4\mu\text{m}^{P-P}$ 。这是因为输入侧板厚波动可以靠轧机模数控制装置的加固轧机作用来减小，如同输入侧张力波动可以靠张力控制装置33来抑制一样。

与此不同，图19和20显示只研究轧辊偏心的影响的情况。

图19显示在图1的传统轧机32上靠轧机模数控制将轧机模数加固10倍的实例，其中，轧辊偏心  $6\mu\text{m}^{P-P}$  几乎不引起输出侧板厚波动。关于输入侧张力波动，该张力波动高达0.88吨<sup>P-P</sup>，使得轧辊偏心几乎不对板厚产生影响。相反，当张力控制装置33如图20所示那样配置在轧机32的输入侧，输入侧张力波动显著减小至0.2吨<sup>P-P</sup>，使得输出侧板厚波动的增大达到  $3.2\mu\text{m}^{P-P}$ 。换句话说，输入侧的张力波动被抑制，就会使轧辊偏心所引起的轧辊间隙的波动对工件的板厚施加影响。

上述结果显示出，当输入侧或者输入和输出侧上配置有张力控制装置33和34以便调节施加在工件30上的张力时，诸如输入侧厚度干扰等归因于工件自身的因素，以及诸如轧辊偏心等归因于机器的因素，都很重要而必须加以考虑。

图21是本发明第七实施例的总方块图。与图3中相同的零部件用同一标号表示。

如图21所示，调节作用在工件30上的张力的张力控制装置33和34，配置在轧机32的输入侧或输入和输出两侧。检测工件30厚度的测厚计22和检测工件30的进给速度的测速计55都配置在轧机32的输入侧。另外，检测工件30厚度的测厚计25配置在轧机32的输出侧。

轧辊间隙计算元件51根据输入侧的测厚计22输出的信号  $t$ ，计算出用于平衡输入侧板厚干扰的轧辊间隙改变量。计算元件51根据测速计输出的信号  $V$  计算出改变轧辊间隙的时间，即输入侧板厚干扰通过轧机32的工作辊3和4之间的时间。计算元件51在计算出的时间将作为基本位置控制循环指令的轧辊改变信号  $C$  加到加法器13上。

另外，设有轧机计算元件52，可将一个代表来自测力传感器1的轧辊压力的输出信号  $P$  和 / 或一个代表来自输出侧测厚计25的输出侧厚度的信号  $h$  进行分析，求出输出侧板厚波动的频率成分，并在此基础上计

算出一个最佳的轧机模数。代表该最佳轧机模数的轧机模数信号 $K_B$ ，从计算元件52传递给改正增益设定器53。设定器53根据信号 $K_B$ 求出改正增益，并输出一个改正增益信号 $C$ 给轧机模数控制装置54。

下面，对上述实施例的操作进行说明。

张力控制装置33和34测出工件30上的张力波动，将图4所示压辊35进行移动以减小波动量。因此，由于轧辊间隙改变而引起的张力波动很快被抑制，从而轧辊间隙的改变影响着输出侧板厚。

此外，输入侧板厚波动由轧机32输入侧的测厚计22进行测量，而工件30的速度 $V$ 由测速计55进行测量。根据分别来自测厚计22和测速计55的信号 $t$ 和 $V_s$ ，轧辊间隙改变量计算元件51可计算出轧辊间隙改变量和输入侧板厚波动通过轧机32的上、下工作辊3和4之间的时间。轧辊间隙改变量信号 $C$ 被输出至基本位置控制循环的加法器13。这样，工作辊3和4之间的轧辊间隙被调节，并且输入侧板厚波动得以被消除。而且，根据来自测力传感器1的信号 $P$ 和/或来自输出侧测厚计25的信号 $h$ ，可以获得输出侧板厚波动的频率成分，并且靠轧机模数计算元件52可以获得用以消除干扰成分的影响的最佳轧机模数，该干扰成分是由轧辊偏心等轧机32自身引起的。改正增益设定器53根据轧机模数计算元件52输出的轧机模数信号 $K_B$ ，可以求出改正增益。改正增益设定器53输出改正增益信号 $C$ ，借助该信号 $C$ 又可改变轧机模数控制装置54中的系统相乘器16的改正增益。不需要将来自测力传感器1的信号 $P$ 和来自输出侧测厚计25的信号 $h$ 都综合进轧机模数计算装置52，只要输入其中一个就已经足够。

如图19和20所示，如果轧辊偏心是输出侧板厚波动的主要原因，不希望靠轧机模数控制来加固(harden)轧机，因为这会加剧输出侧板厚波动。但是，在图21所示的实施例中，当轧辊偏心的影响很大时，利用轧机模数控制来调节轧机模数，使轧机多少软化(soften)一些。这样，由

轧辊偏心引起的输出侧板厚波动被抑制。

另一方面，利用轧机模数控制来调节轧机模数，使轧机多少软化一些，这意味着输入侧板厚干扰对输出侧板厚波动有很大的影响。

但是，在图21所示的实施例中，输入侧板厚波动是由轧机32输入侧的测厚计22测量的，而工件30的速度是由测速计测量的。输入侧板厚波动通过轧机32的工作辊3和4之间的时间是由轧辊间隙改变量计算元件51获得的，轧辊间隙按照该时间不时地在改变着。这样，输入侧板厚干扰被抑制，并且输入侧板厚干扰对输出侧板厚波动的影响得以被降低。

图22和23是显示本发明实施例的效果而进行的计算机模拟的结果，这里，输入侧板厚波动和轧辊偏心都作为干扰同时加进去。试验条件与图17至图20中的相同。图22的情况，其轧机模数利用轧机模数控制增加，在图21的实施例上增大3倍（当 $K_c = K_m / (1 - C)$ 时， $C = 0.67$ ）。图23是自然轧机模数的情况（ $C = 0$ ）。在图22中，受到轧辊偏心影响的输出侧板厚波动约为 $3.4 \mu m$ 。而在图23中，轧机模数设为最佳值，板厚波动减小至约为 $2.6 \mu m$ ，这呈现出本发明的极优效果。

不需要总是计算最佳轧机模数，只要根据轧制压力或输出侧板厚计算一次最佳轧机模数并设定该值就已经足够。

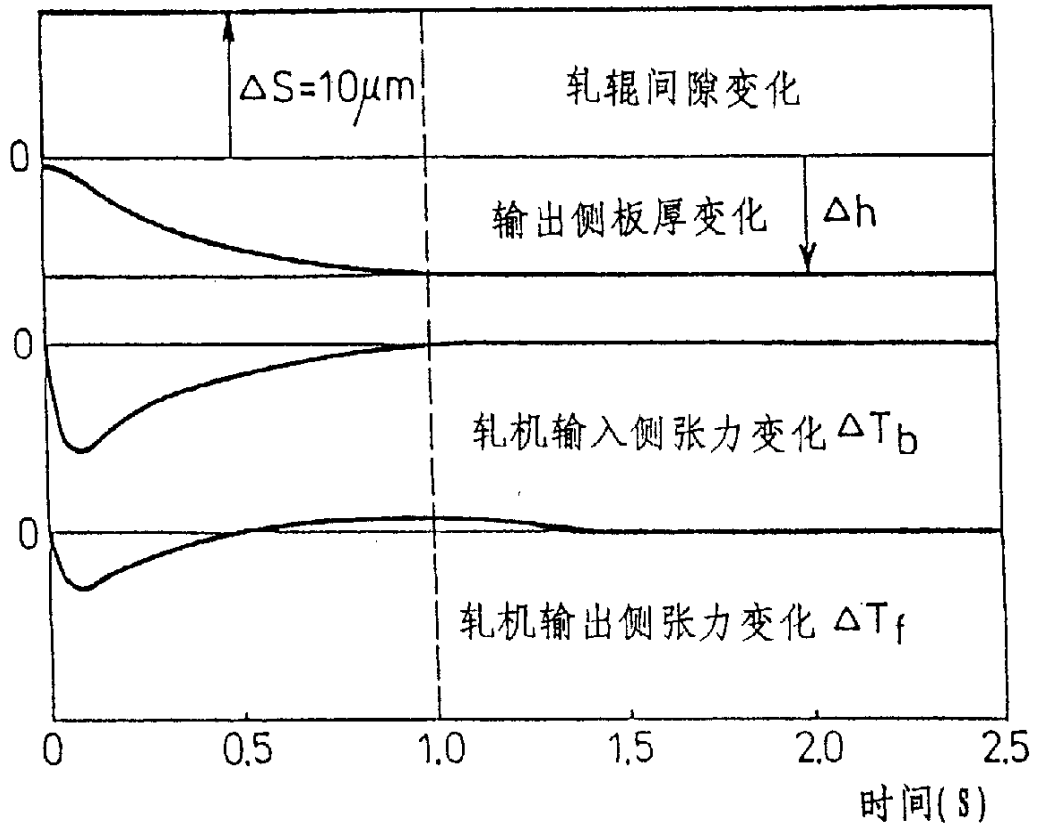
在上述各实施例中，本发明是按照应用于单机架可逆式冷轧机的情况来进行说明的。但是，必须明白，本发明还可以应用于单方向轧制的不可逆轧机、包括两个或多个机架的串列式轧机以及其它各种轧机中，这些轧机都存在上面所述的现有技术中所遇到的问题。张力可以从工件作用在工件路径上的除压辊或导辊以外的辊子或其它部件的反作用力来测出。还可作出其它的变型而不脱离本发明的精神。

综上所述，本发明的轧机板厚控制系统，在轧机的输入侧，或者在输入和输出两侧设置有张力控制装置，使得当改变轧机压下位置以控制工件厚度时，在轧机输入侧或输入和输出两侧所引起的张力波动得以

迅速地被抑制。另外，输入侧板厚干扰利用设在输入侧上的测厚计来测出，以便消除之；并且，轧辊偏心等等的任何影响可以靠改变改正增益而改变轧机模数来抑制，使板厚控制的应答较高，从而获得高精度的产品厚度。



图 2



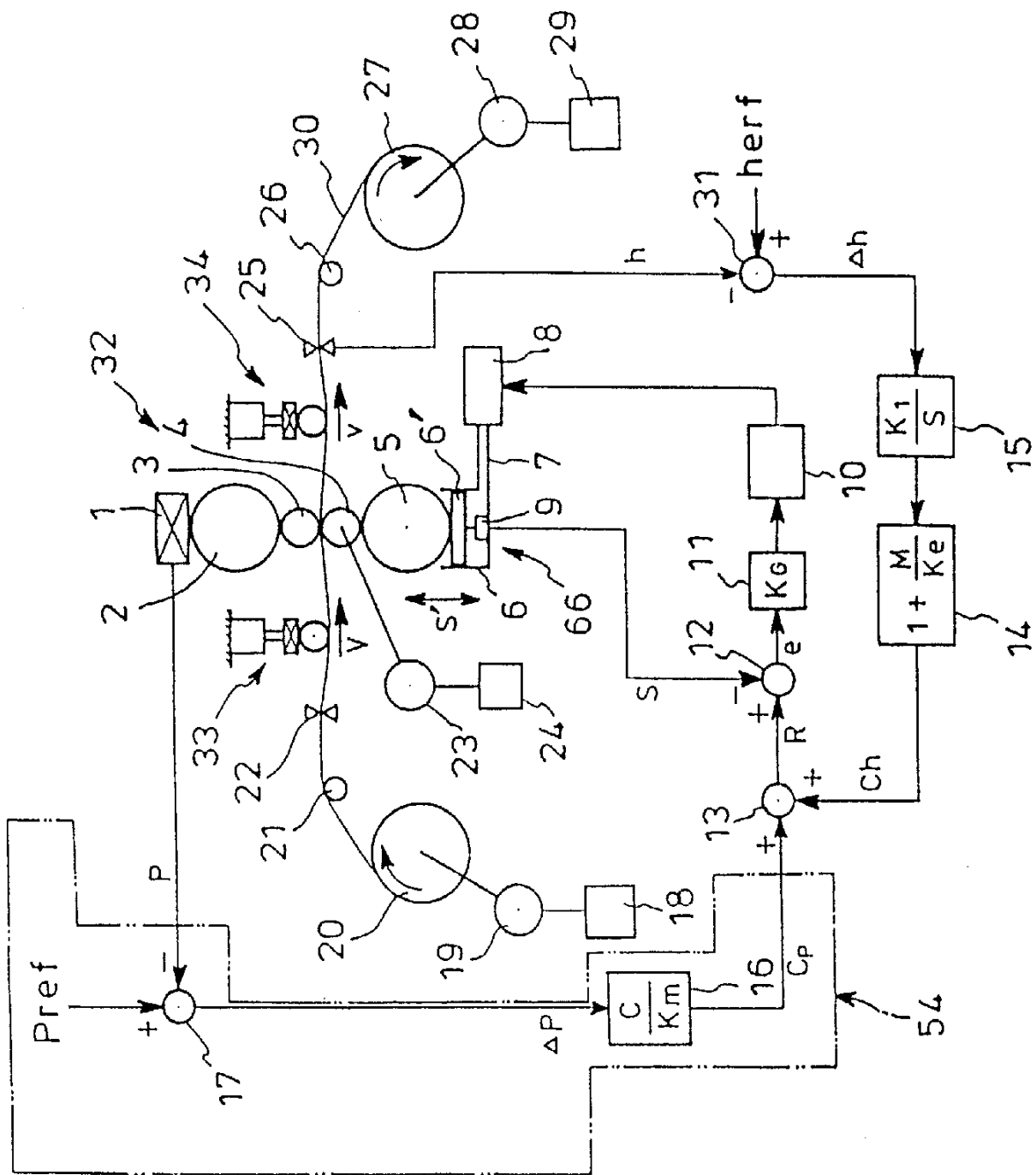


图 3

图 4

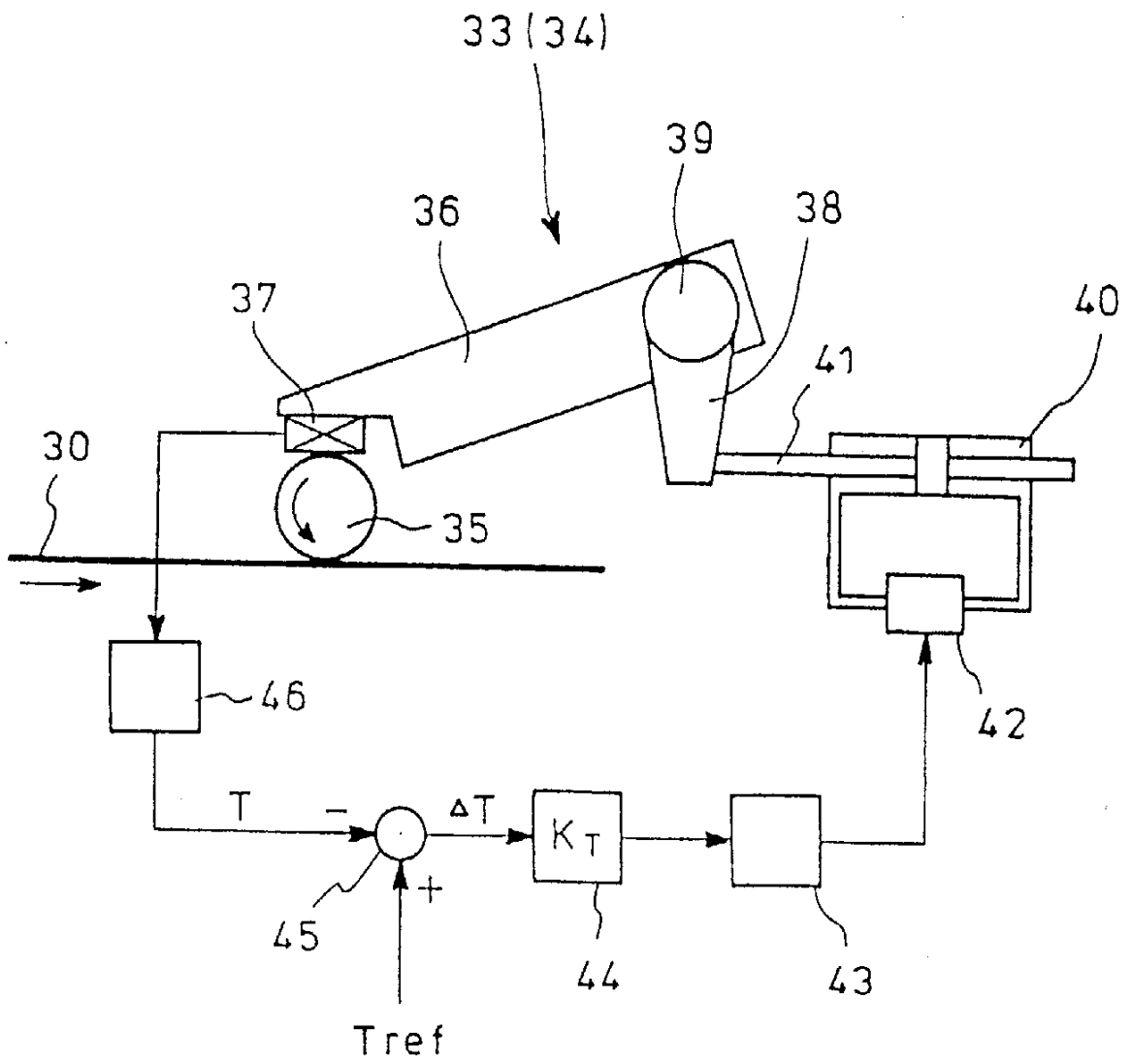


图 5

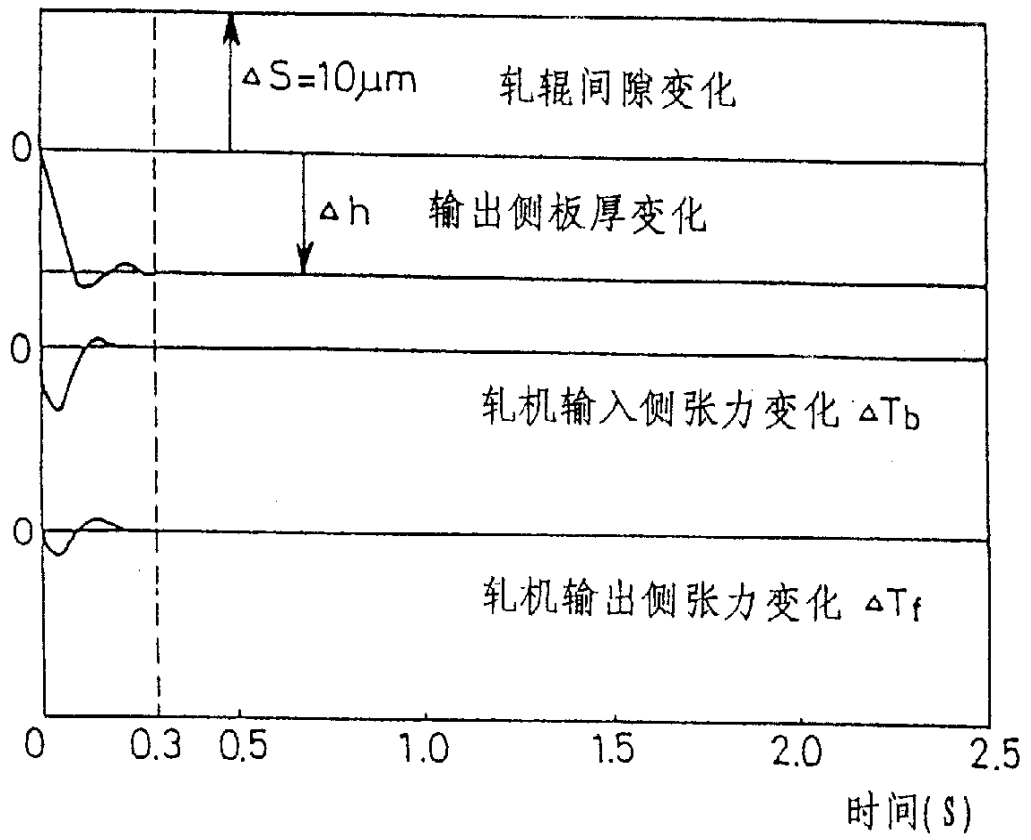


图 6

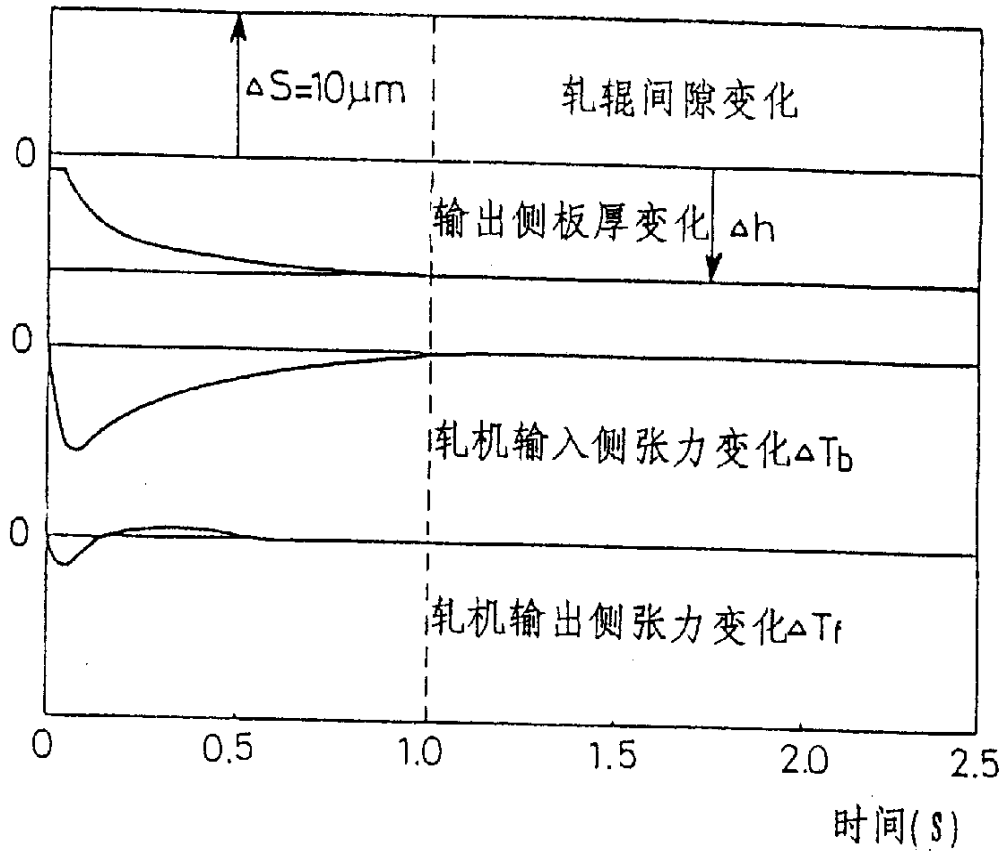
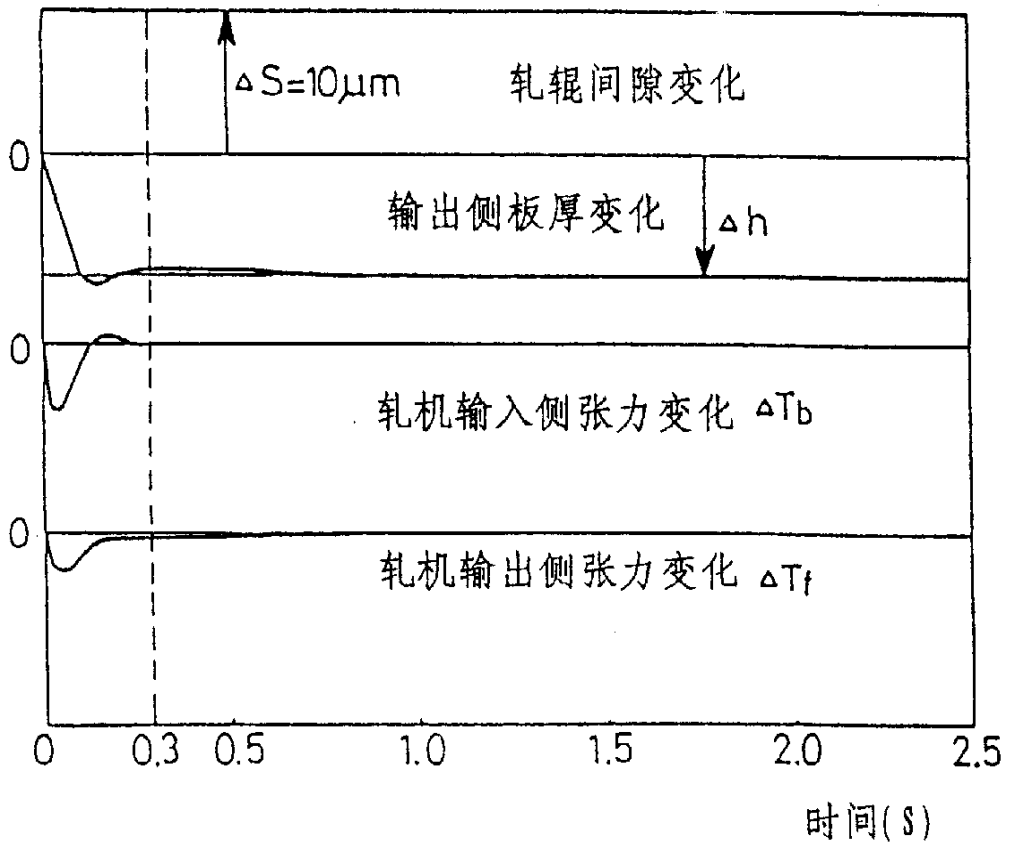
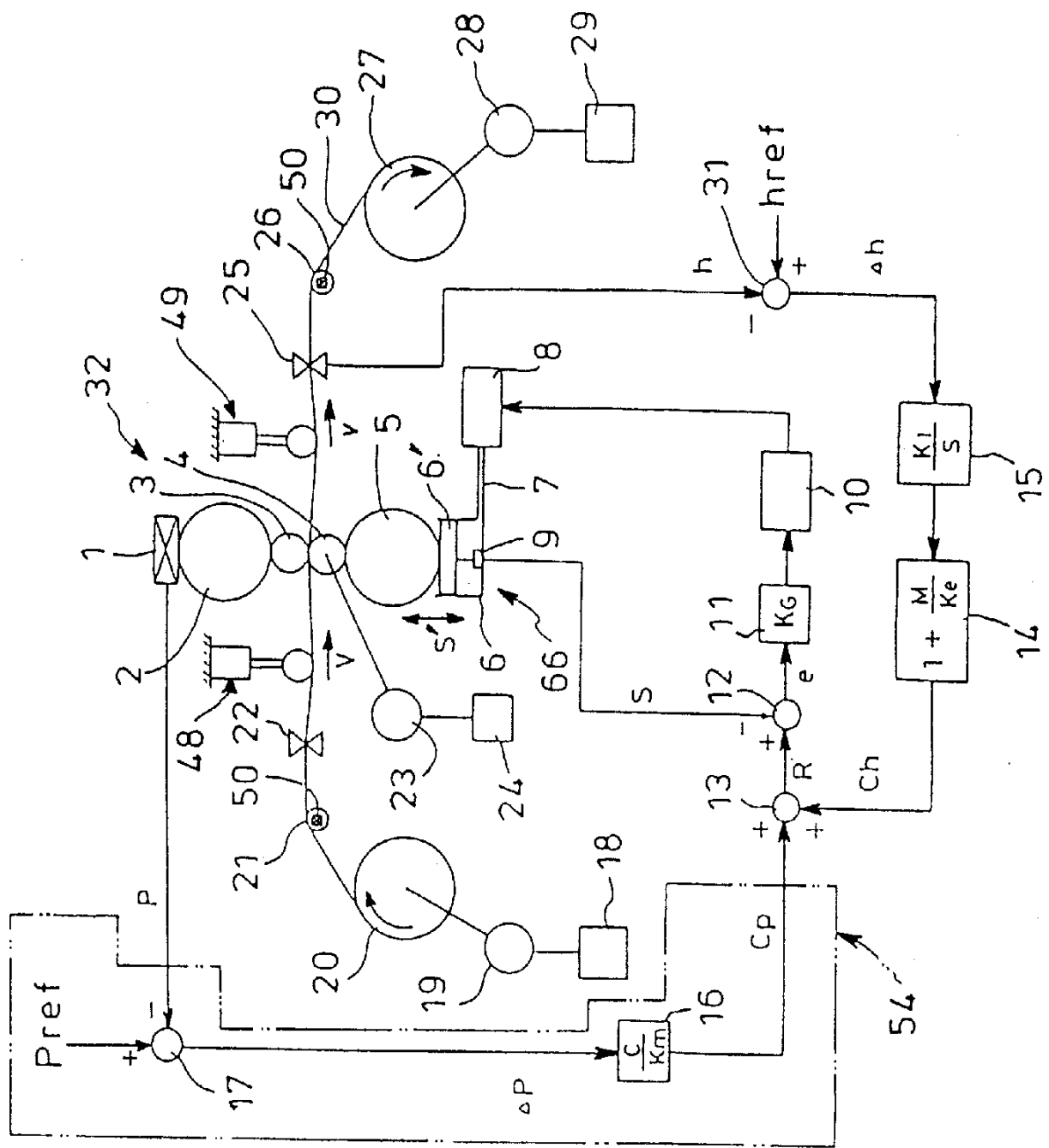


图 7





8

图 9

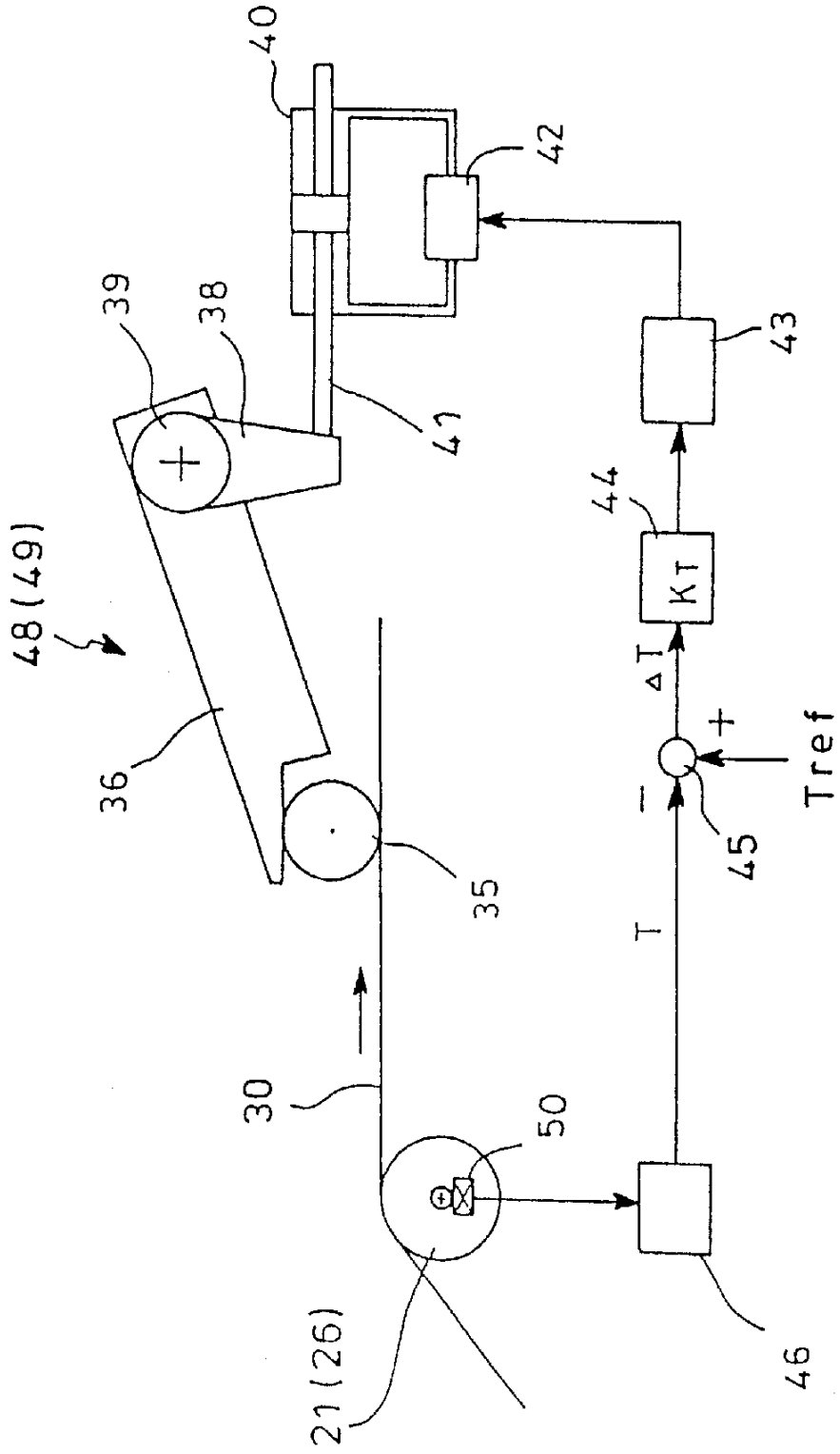


图 10

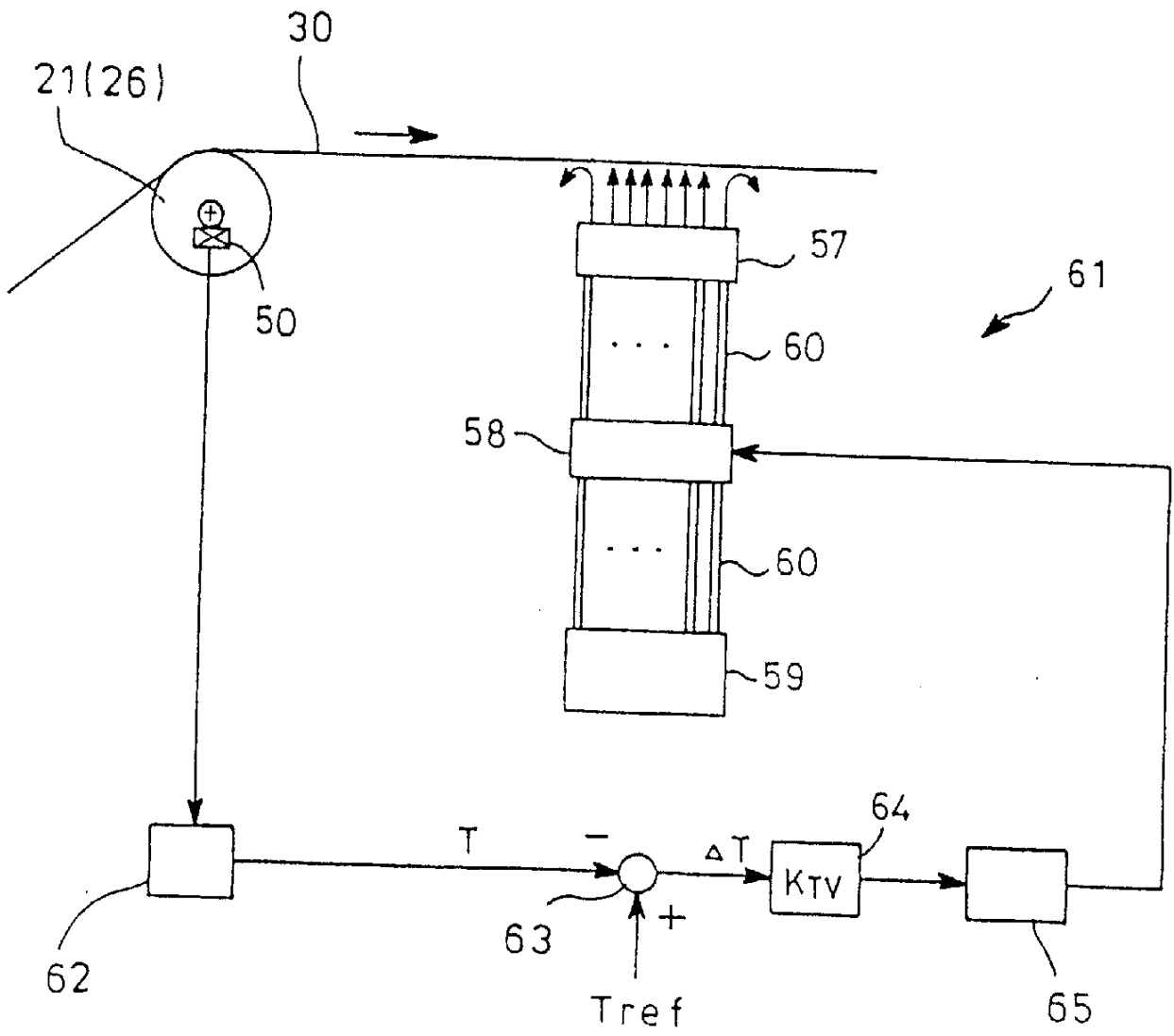


图 11

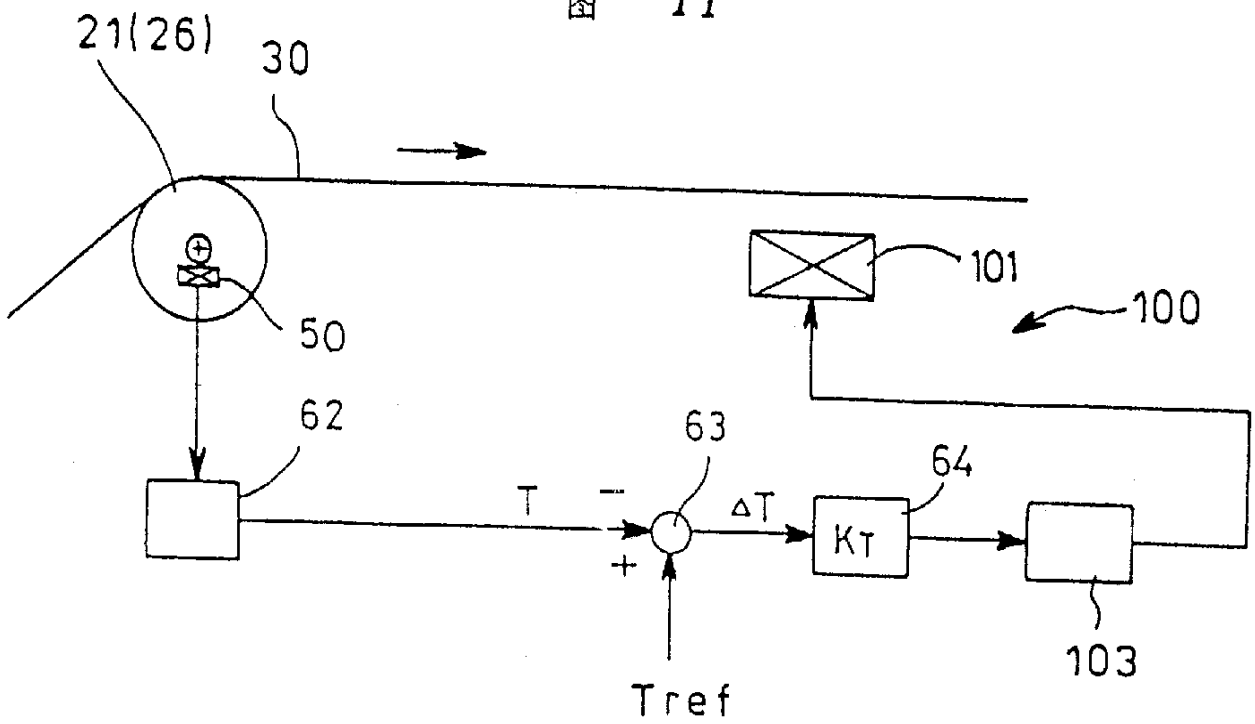


图 12

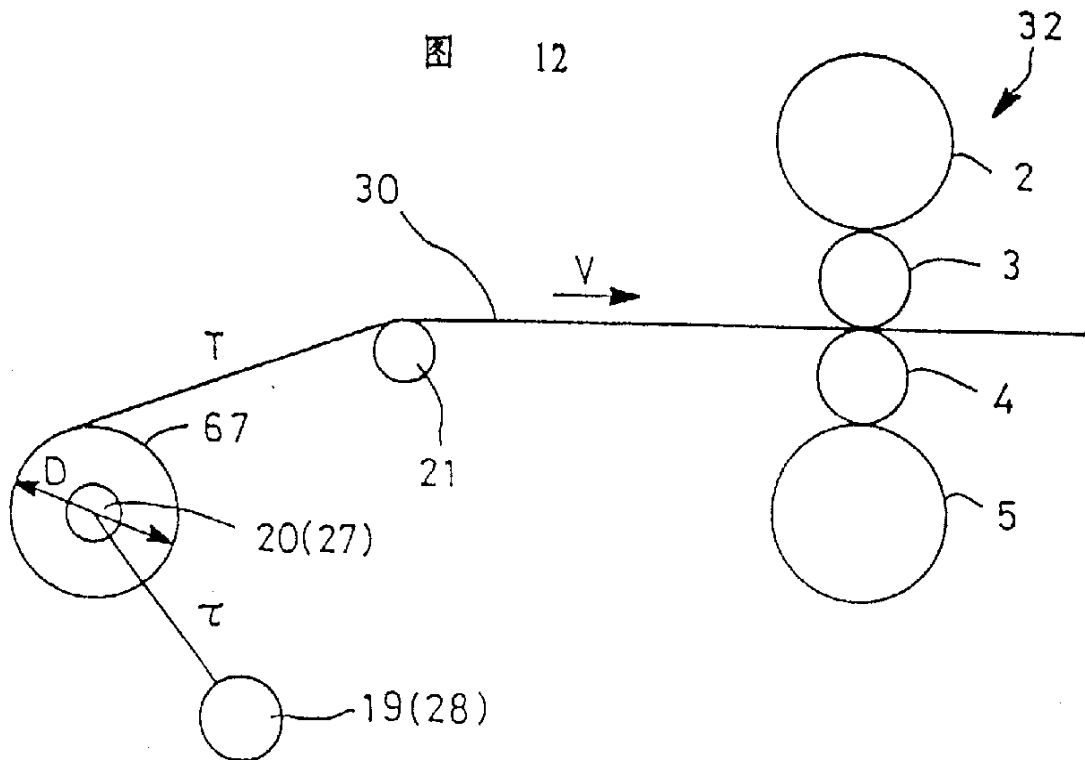


图 13

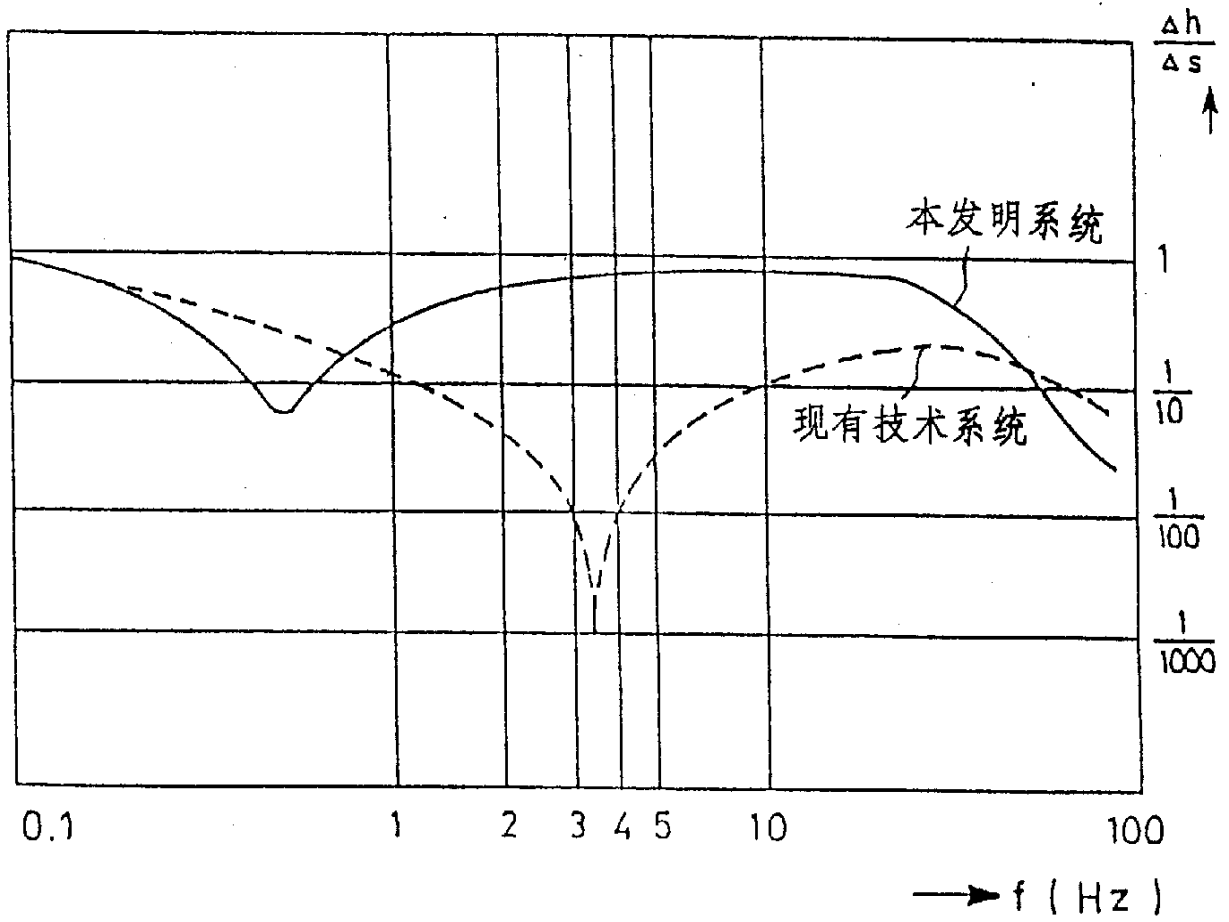


图 14

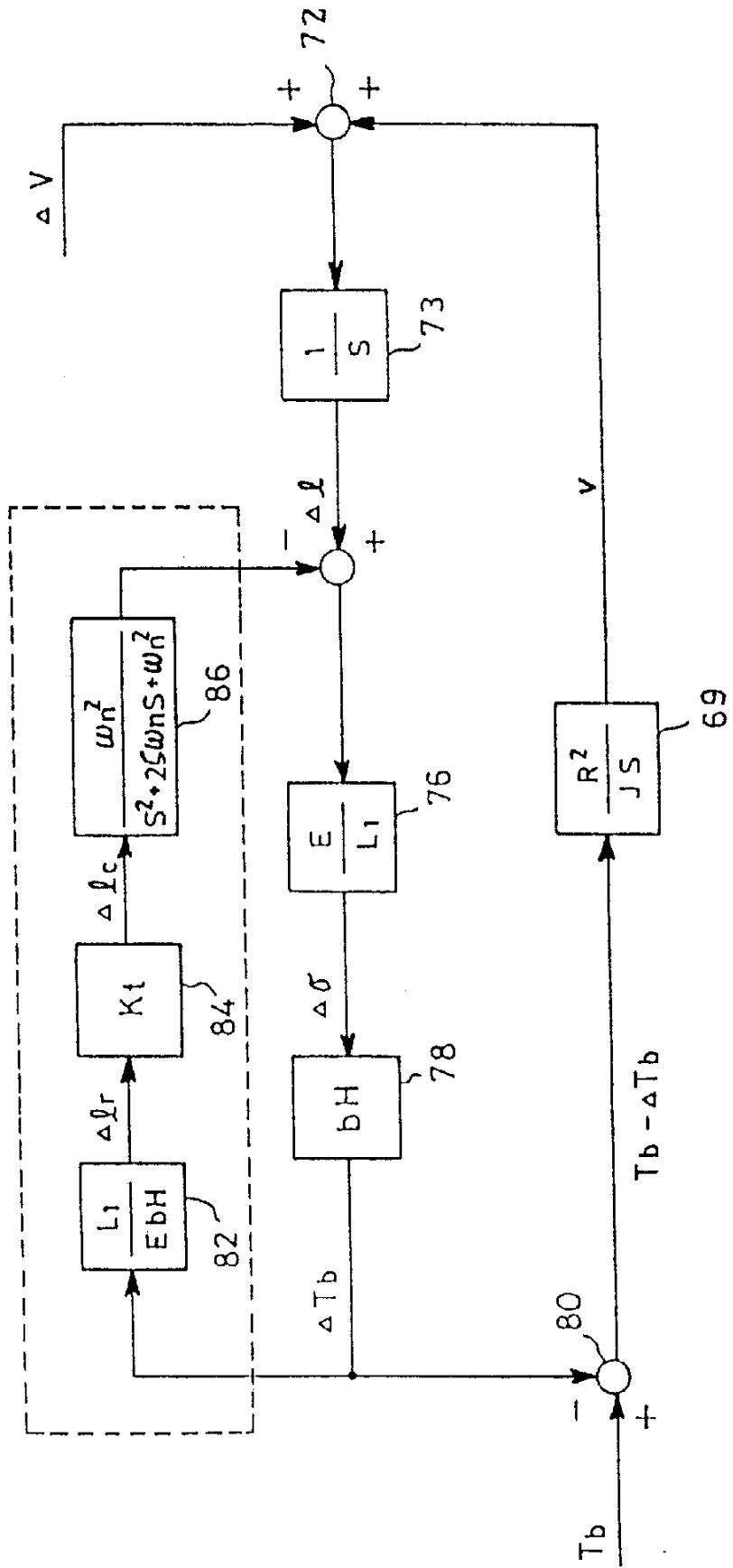


图 15

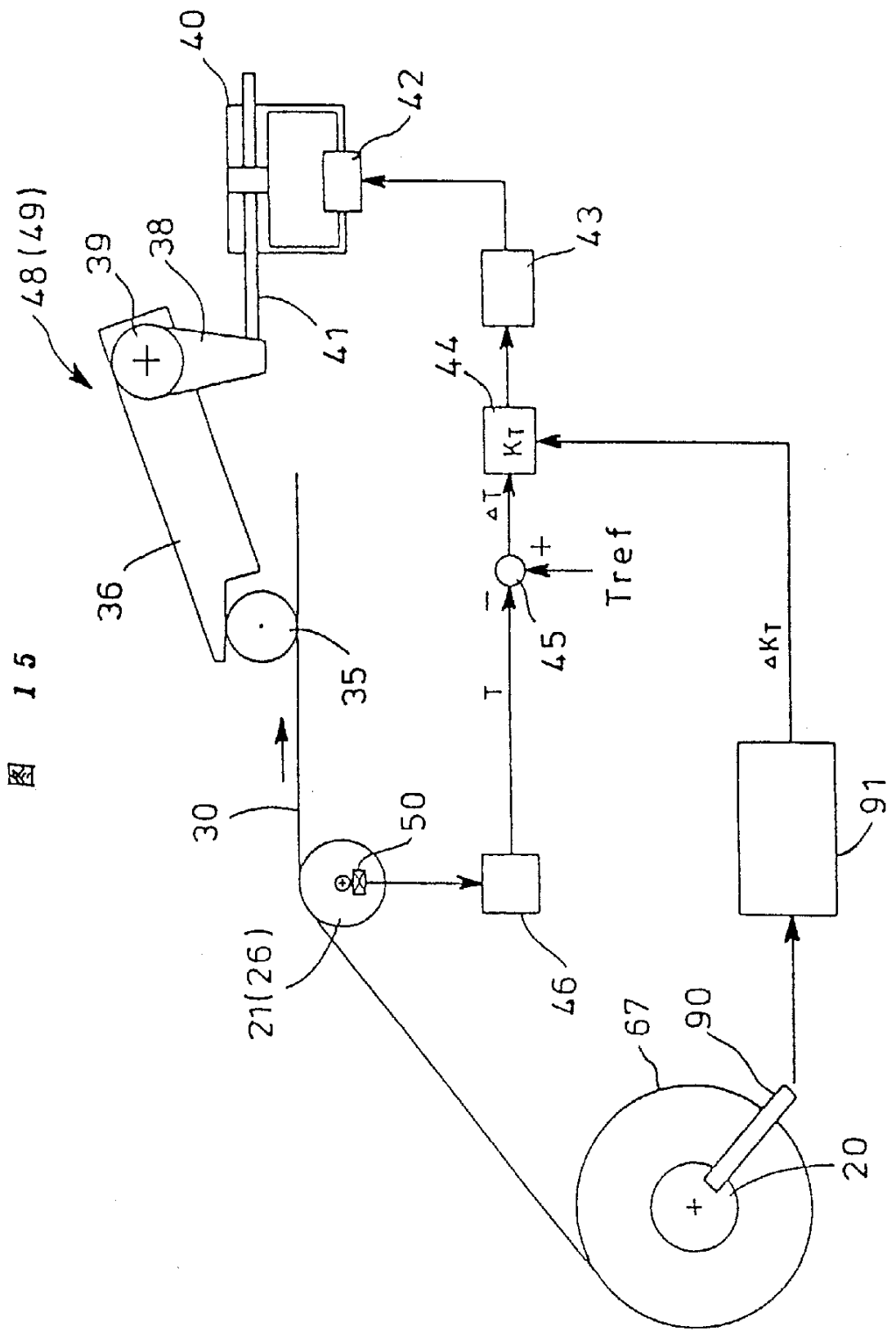


图 16

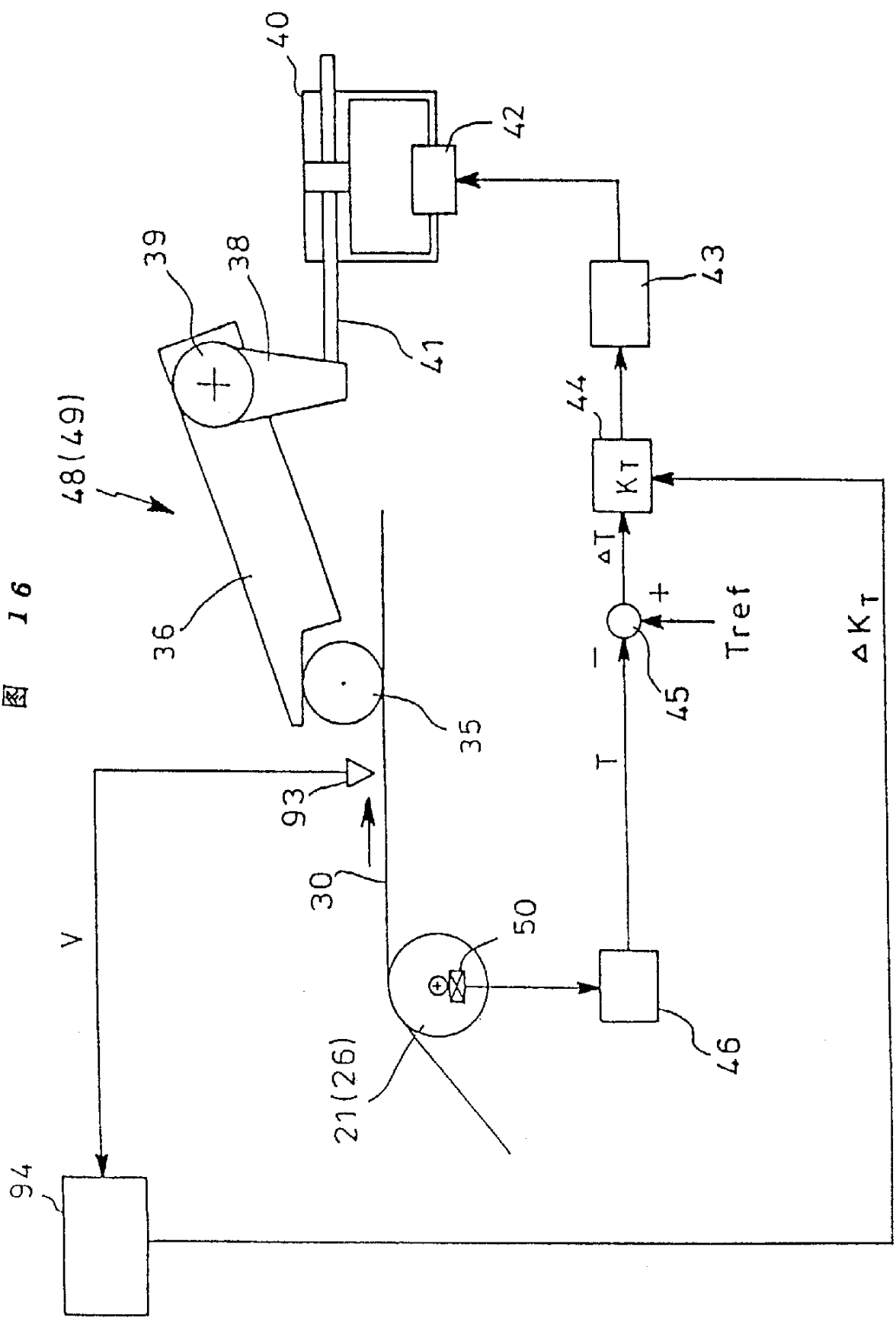


图 17

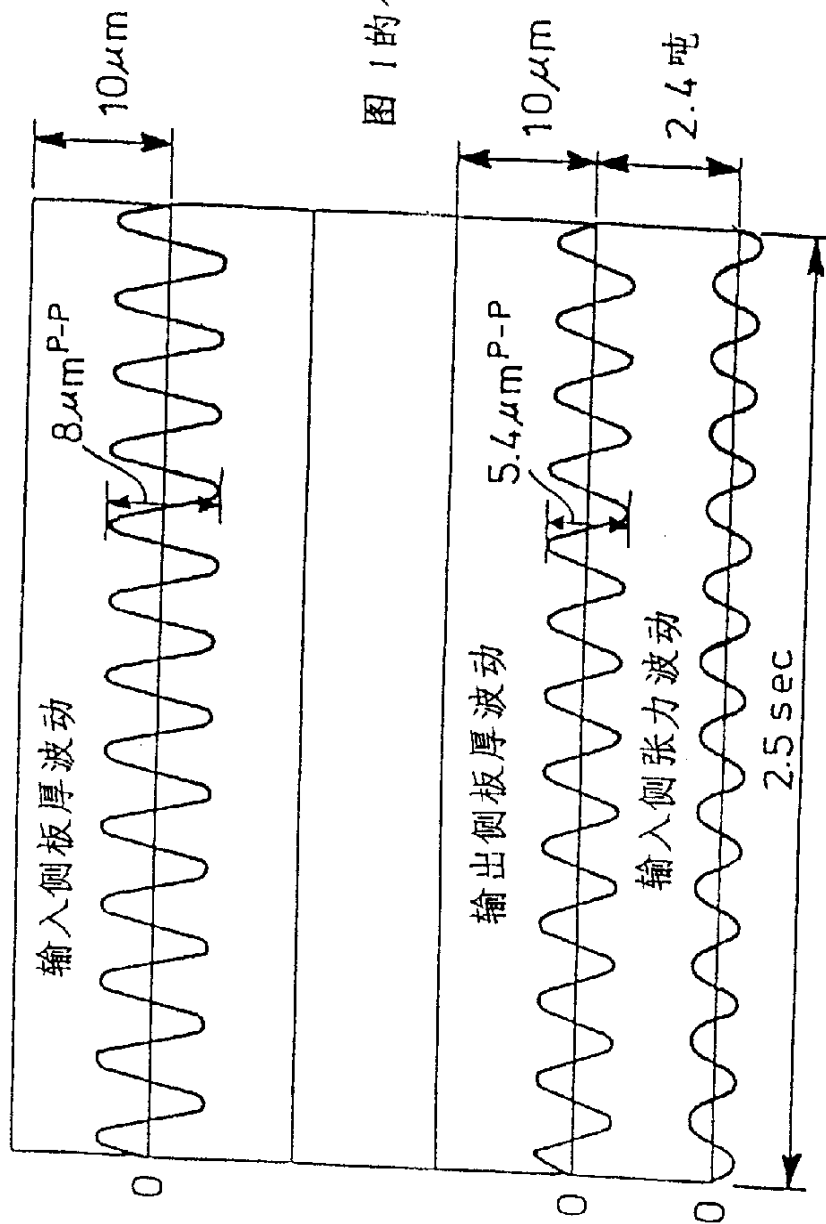


图 1 的传统系统

图 18

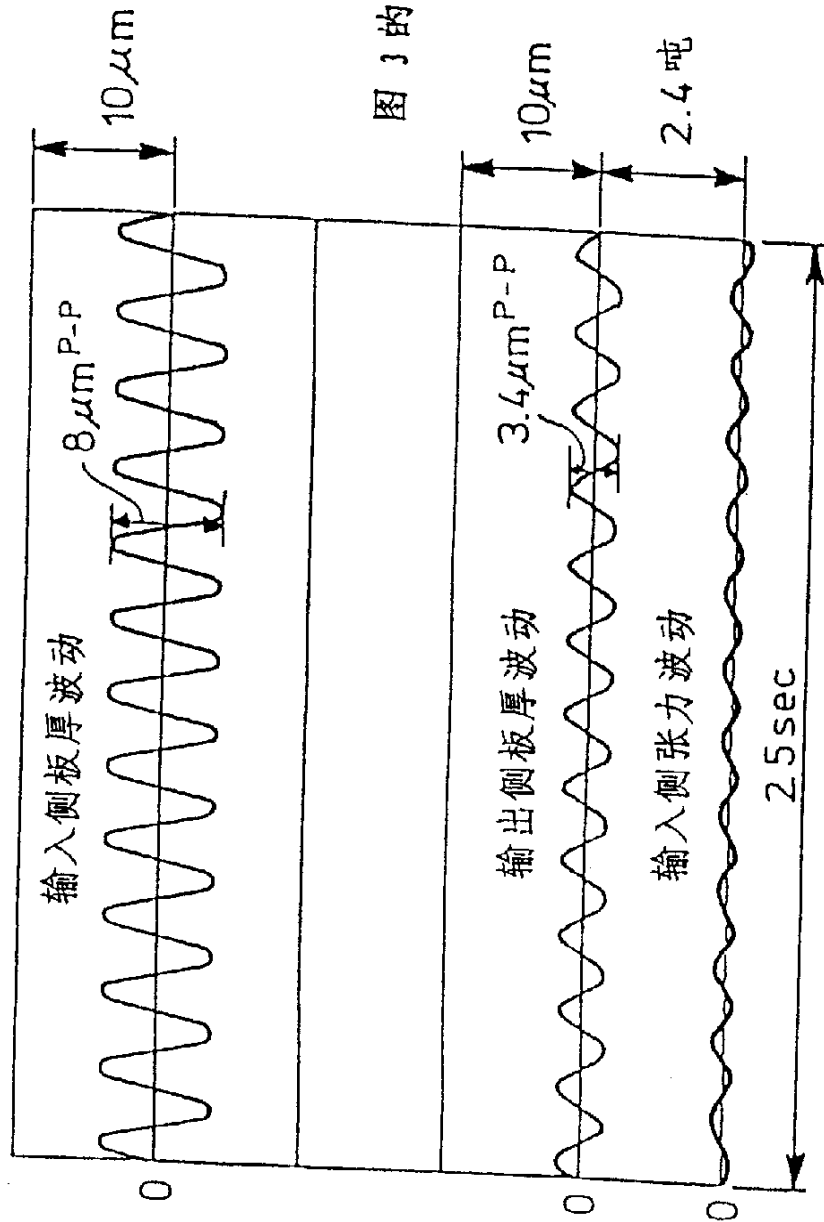


图 3 的系统

图 19

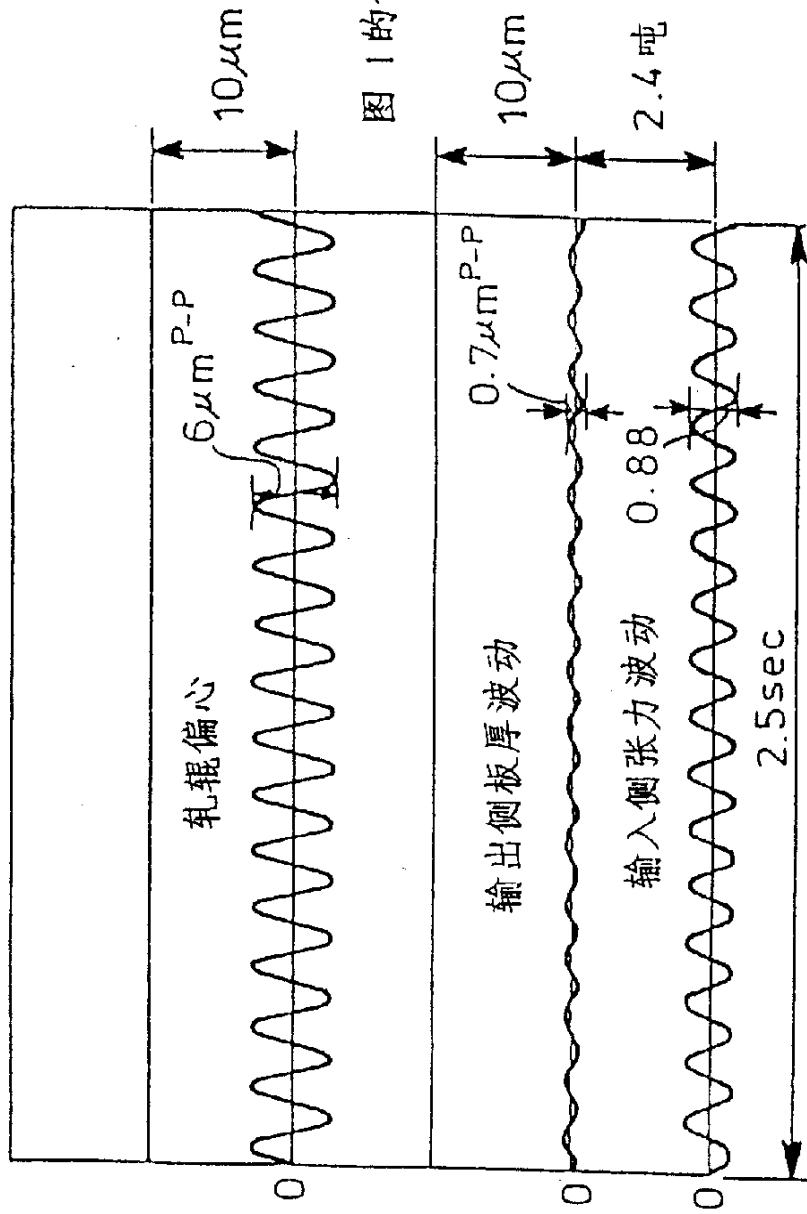


图 1 的传统系统

图 20

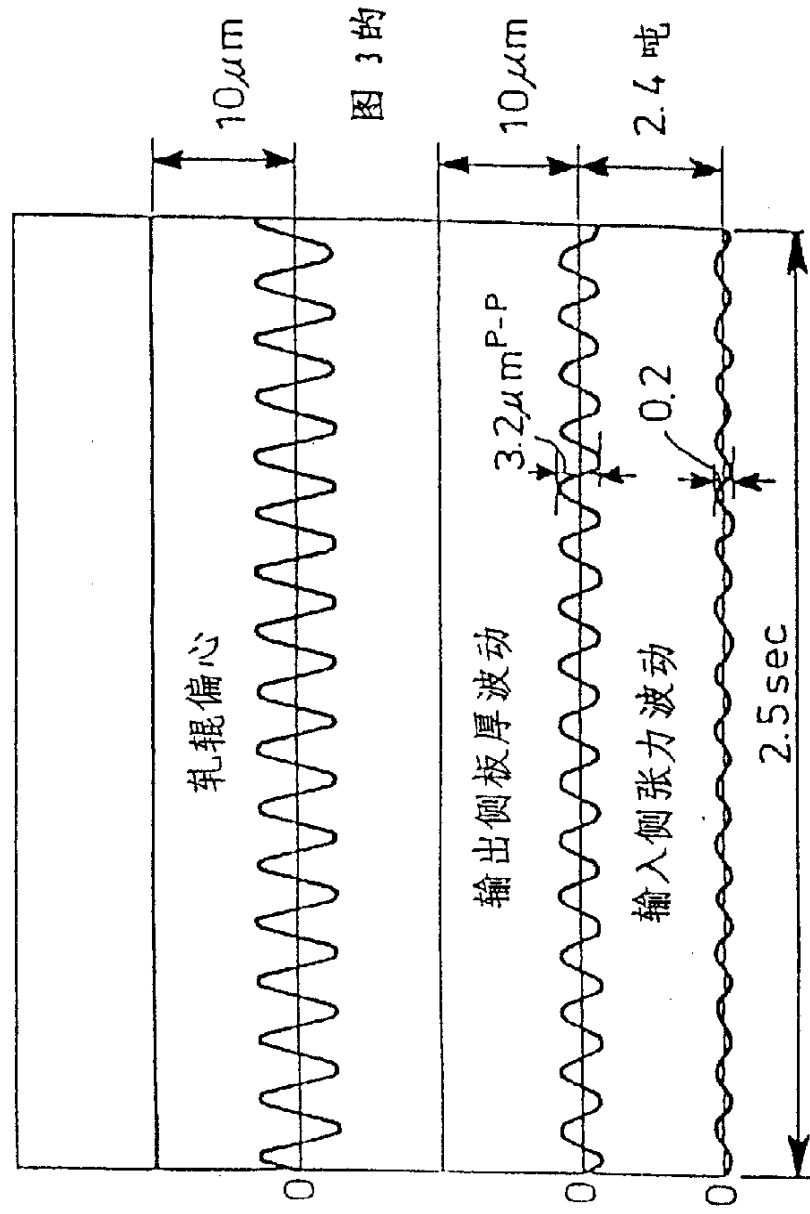


图 3 的系统

图 21

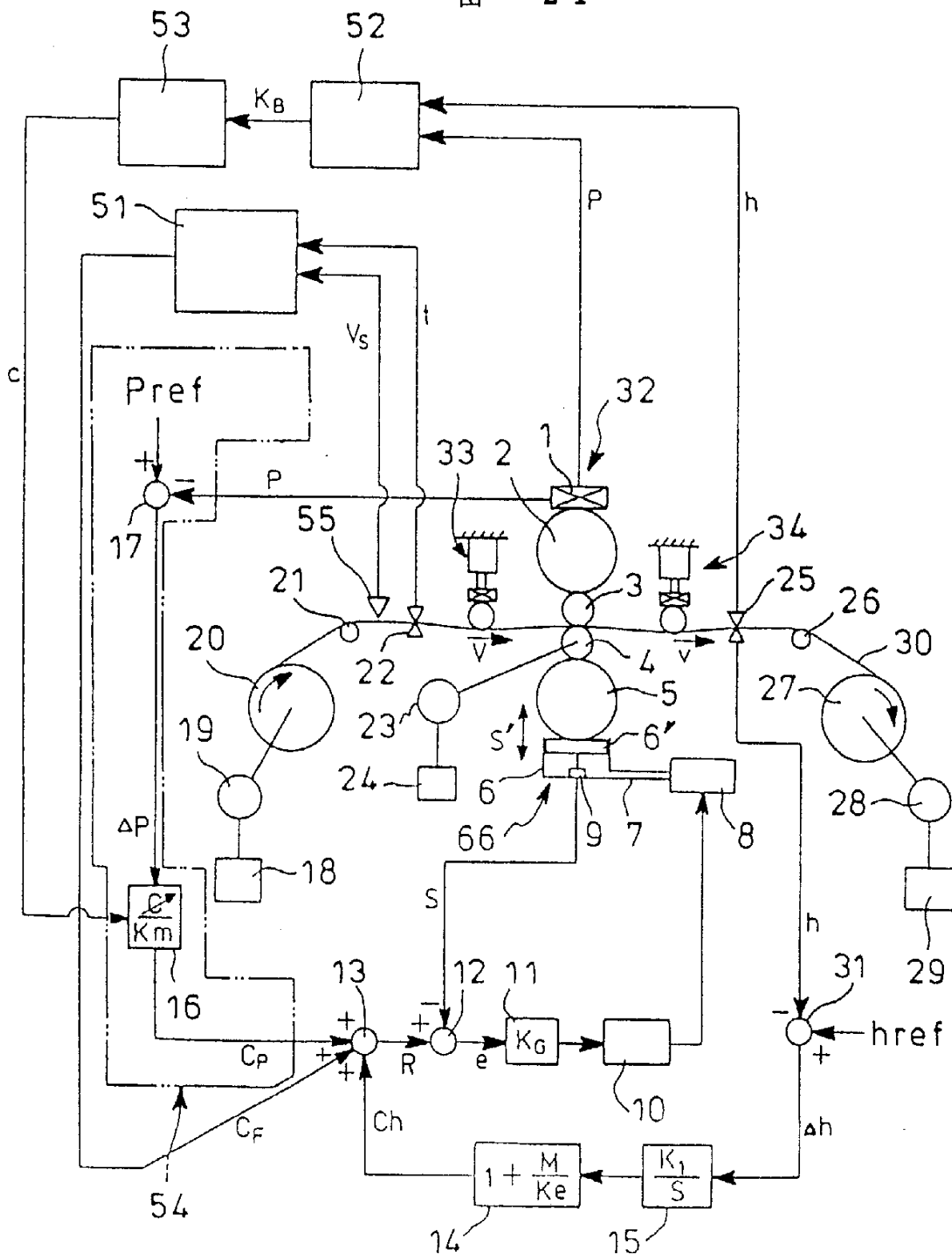


图 22

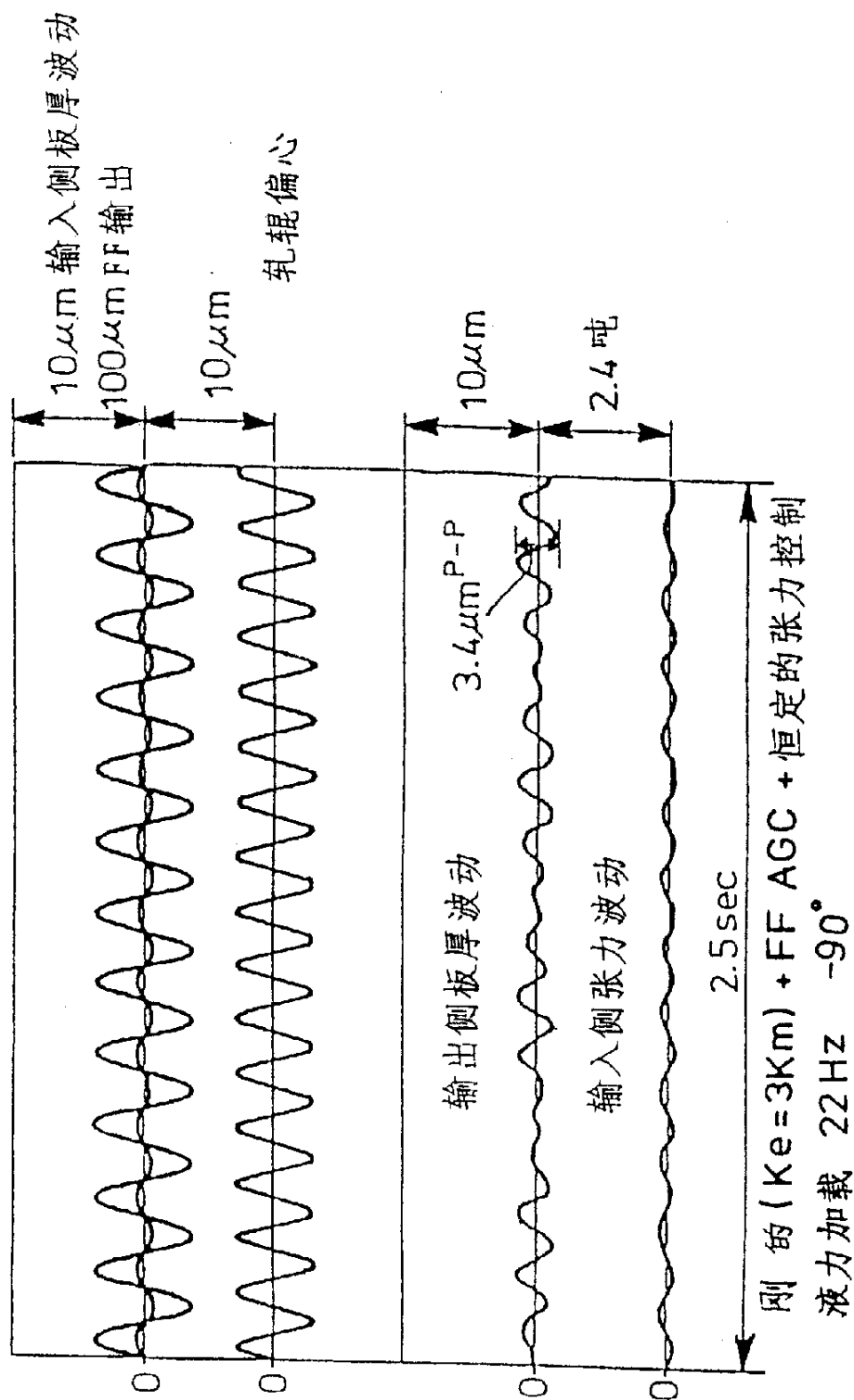


图 23

