

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁶

H02M 7/42

H02M 7/5395

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95107184. X

[45]授权公告日 1999年2月24日

[11]授权公告号 CN 1042278C

[22]申请日 95.6.2 [24]颁证日 98.12.4

[21]申请号 95107184. X

[30]优先权

[32]94.6.3 [33]EP [31]94108512.8

[73]专利权人 英万蒂奥股份公司

地址 瑞士黑吉斯维尔

[72]发明人 赫伯特·施泰姆勒 托马斯·伊铃格

[56]参考文献

DE3912706 1990.10.25 H02P7/63

JP 昭 63-148894 1988.6.21 H02P7/63

审查员 李 超

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

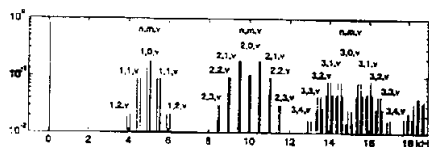
代理人 范本国

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 一种机器的低噪音操作的方法

[57]摘要

本发明为由脉冲转换开关驱动的机器的低噪音操作的方法,可以计算转换开关输出电压的谐波的振幅和频率。通过有目标地设定调制参数,频谱或噪音谱可增益,而会激发定子共振的谐波可以消除。这种对转换开关的调控是通过对三角形载波信号(U_H)的正弦脉冲宽度调制(PWM)和正弦脉冲频率调制(PFM)来完成的。根据本方法,带两个坐标序数(n, v)的主谐波被分解成带三个坐标序数的次波群。



权 利 要 求 书

1.一种机器(2)的低噪音操作方法,该机器由脉冲转换开关(1)馈给信号,其中用来控制转换开关的开关元件(3)的开关脉冲是通过载波调制或空间矢量调制来产生的,而转换开关输出电压的脉冲波形又是借助这种控制来产生的,上述方法的特征在于:以数学函数的方式计算出用于控制开关元件(3)的脉冲波形,使载波调制的脉冲频率(F)或旋转矢量序列周期的倒数(F)发生变化,以便导致干扰谐波的频率分量得以减少或消除。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于:为了产生脉冲波形,最好以正弦方式改变载波调制的载波信号(U_H)的脉冲频率(F)或旋转矢量序列的周期倒数(F)。

3.根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于:以上述的数学函数来确定转换开关输出电压($U_{a,b,c}$)的谐波分量(U_{nmv}),上述数学函数的参数包括脉冲频率调制的频率差(ΔF)和脉冲频率调制的脉冲频率调制频率(f_F)。

4.根据权利要求3所述的方法,其特征在于:上述转换开关输出电压($U_{a,b,c}$)的谐波分量(U_{nmv})取决于以调制参数比($n \cdot \Delta F/f_F$)为变量的贝塞尔函数。

5.根据权利要求4所述的方法,其特征在于:通过增加比值($n \cdot \Delta F/f_F$),增加频谱分解成次波群(m)的程度及减小谐波分量(U_{nmv})的振幅。

6.根据权利要求4或5所述的方法,其特征在于:通过选取合

适的调制参数比值 ($n \cdot \Delta F/f_F$) 以使属于次波群 (m) 的贝塞尔函数 $J_m(n \cdot \Delta F/f_F)$ 为零, 来消除频谱中的次波群。

说明书

一种机器的低噪音操作的方法

本发明涉及一种实现由脉冲转换开关馈给信号的机器的低噪音操作的方法，在该方法中，用来产生开关元件的控制脉冲的载波信号由一特定的函数来调制。

大多数由脉冲转换开关馈给信号的机器运行时的开关频率落在人听力最敏感的区域（2千赫到10千赫）。一个常用的控制原理是恒定载波频率下的分谐波振动方法。然而，由此法所产生的频谱出现高振幅的单个谐波，而这些单个的谐波会发出令人不快的噪音。该法中，经常使用的用来确定开关时间的三角形载波信号具有恒定的频率。

在文献 DE - OS 3912706 中描述了一种用分谐波振动法操作脉冲宽度调节器（PWM）的由脉冲转换开关馈给信号的机器的低噪音操作方法。这里，用来产生转换开关的脉冲宽度受到调制的控制脉冲的载波频率并不预设为在稳态下为常数的定值，而是在一预设的频带内不断变化但不依赖于机器的运作状态。这样，转换开关输出电压的频谱便不是由单个谱线组成，而是分布在整个频带上。

在上述利用脉冲宽度调制来运作的方法中，脉冲频率也是变化的。发生器给载波信号频率提供一经静态地确定了的控制信号（如具有高斯分布）。该发生器是一种随机发生器或用来产生伪

随机数的数字发生器。这里，只存在在一定范围内随机地影响频谱的可能性。由于这一随机调节原理，频谱的确定是不可能的。此外，在定子上激发机械共振的谐波只能在某些条件下被消除或被永久地减弱以及不再施加任何令人不安的影响。

本发明基于这样一个目的，提出一种上面初步提及的一类由脉冲转换开关馈给信号的机器的低噪音操作的方法，该方法能避免前述老方法的缺陷，并能产生出更适合人耳的噪音特征及减少所感觉到的响度。

为实现以上目的，本发明提出了一种机器低噪音操作的方法，该机器由脉冲转换开关馈给信号，其中用来控制转换开关的开关元件的开关脉冲是通过载波调制或空间矢量调制来产生的，而转换开关输出电压的脉冲波形又是借助这种控制来产生的，上述方法的特征在于：以数学函数的方式计算出用于控制开关元件的脉冲波形，使载波调制的脉冲频率或旋转矢量序列周期的倒数发生变化，以便导致干扰谐波的频率分量得以减少或消除。

该发明的优点主要表现在有可能对脉冲波形采取有可预测结果的有目标的影响。由于用一确定的函数对载波信号进行了调制，转换开关输出电压的谐波的振幅和频率便可给予准确计算。这就意味着转换开关输出电压波在任何时刻都是知道的。谐波频率可通过有目标的参数预设来实现均匀分布。这样，谐波振幅变小。结果，由于较小的谐波振幅和谐波在整个频谱上的均匀分布，使得产生的噪声比起用传统方法得到的要较不令人不安且响度也比较低。

上述方法的有效发展和改进可通过采用下面所说明的措施来

实现。会激发机械定子共振的频带可借助贝塞尔函数来消除。

本发明的两个实施例在附图中有展示并在下面予以详细说明。附图中：

图 1 为转换开关的示意图；

图 2a 至 2d 是调制信号 U_{sta} 、载波信号 U_H 和转换开关输出电压 U_a 的基本电压曲线；

图 3 是具有恒定载波频率的分谐波振动方法中定子电压的频谱；

图 4 是用来展示带脉冲宽度和脉冲频率调制的由本发明中所述方法所得到的定子电压的频谱散开情况的说明图；

图 5 是根据本发明的方法所得到的大幅度散开了的频谱；

图 6 是贝塞尔函数；

图 7 是已消除频带的频谱详图；和

图 8a 和 8b 是本发明实施例 2 中的一个列出转换开关输出电压的可能组合的表及根据空间矢量调制方法得到的旋转矢量。

图 1 为一由三相脉冲转换开关 1 馈给信号的电机的示意图。转换开关 1 由六个可开关的元件 3 组成。在调制器 4 中，开关元件 3 的开关脉冲通过比较调制信号 $U_{sta,b,c}$ 和载波信号 U_H 来确定。电压 $U_{a,b,c}$ 为转换开关的输出电压， $U_{a,b,c}$ 为定子电压， U_0 为星形接线零点。而电压 U_d 为输入直流电压。转换开关输出电压 $U_{a,b,c}$ 的产生是由于有一半输入直流电压即 $U_d/2$ 带着正或负号被接通至输出端。

图 2a 显示调制信号 U_{sta} 和载波信号 U_H 的电压曲线。信号 U_{sta} 和信号 U_H 的交汇点给出开关元件 3 的开关时间 5。对于正弦调制

信号 U_{sta} 和三角形载波信号 U_H 的每一次交汇，转换开关输出电压 U_a 改变极性。调制度 a_0 （或称调制指数）和调制信号 $U_{sta,b,c}$ 的固有振动频率 f_1 决定着 $a_0 \cdot (U_{d/2})$ 的振幅和转换开关输出电压 $U_{a,b,c}$ 的固有振动 U_{GS} 的频率 f_1 。三角形载波信号 U_H 的周频 F 决定转换开关的开关频率 F ：

$$F = F_0 + \Delta F \cdot \text{Sin}(2 \pi f_F t + \varphi_F).$$

式中， F_0 为固有脉冲频率， ΔF 为脉冲频率调制（PFM）的频率差， f_F 为脉冲调制频率，而 φ_F 为按正弦变化的脉冲频率的相位。图 2b 显示具有固有振动频率 f_1 且其脉冲宽度受到调制的正弦信号 U_{sta} 的曲线，其中 U_{sta} 由下式给出：

$$U_{sta,b,c} = U_{st} \cos(2 \pi f_1 t + \delta_0 + D)$$

图 2c 代表频率为 f_F 且其脉冲频率受到调制的正弦信号的曲线，该信号调制三角形载波信号 U_H 。这种对载波信号 U_H 进行调制的目的在于通过经常变动转换开关的开关频率 F 来产生均匀频率分布。利用具有曲线形状的信号如三角形、锯齿形等等来调制三角形载波信号 U_H 也是可能的。图 2d 展示一画有转换开关输出电压 U_a 的一种可能曲线的说明图。电压区域 6 的边界对应着接通瞬间 5。

图 3 表示根据分谐波振动方法产生的定子电压的频谱。由于载波信号 U_H 的脉冲频率 F 为一定值，此法所产生的电压 U_a 只在脉冲频率 F 的倍数附近的单个频率出现高振幅。这些谐振产生令人难受的刺耳的噪音。

图 4 展示附加有对载波信号 U_H 进行正弦脉冲频率调制（PFM）的定子电压的频谱的说明图。三角形信号 U_H 的频率 F

的经常的变动导致谐波沿整个频率范围的均匀分布。这样，具有恒定载波频率的分谐波振动方法中的主谐波（由参数 n, v 标记）便被分散成本发明方法所涉及的次谐波（由参数 n, m 和 v 标记），其中 n 表示固有脉冲频率 F_0 的坐标序数， V 表示脉冲宽度调制频率 f_1 的坐标序数，而 m 表示脉冲频率调制频率 f_F 的坐标序数。上述频谱可以通过有目标地设定以下将要给予解释的用来计算转换开关输出电压 $U_{a,b,c}$ 的公式（即公式 1）中的参数 ΔF 和 f_F 来进行大范围地散开。

图 5 展示采用本发明的方法得到的定子电压的大范围分散后的频谱。转换开关输出电压 $U_{a,b,c}$ 和谐波分量 U_{nmv} 可由下列公式算出：（公式 1）

$$U_{a,b,c} = U_d/2 \cdot a_0 \cos(2\pi f_1 t + \delta_0 + D) + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{v=0}^{\infty} U_{nmv} \cdot \left[\begin{array}{l} \cos[2\pi(nF_0 + mf_F + vf_1)t + (n\gamma_0 - m\pi/2 + m\varphi_F + v\delta_0) + vD] + \\ + \cos[2\pi(nF_0 + mf_F - vf_1)t + (n\gamma_0 - m\pi/2 + m\varphi_F - v\delta_0) - vD] + \\ + \cos[2\pi(nF_0 - mf_F + vf_1)t + (n\gamma_0 - m\pi/2 - m\varphi_F + v\delta_0) + vD] + \\ + \cos[2\pi(nF_0 - mf_F - vf_1)t + (n\gamma_0 - m\pi/2 - m\varphi_F - v\delta_0) - vD] \end{array} \right]$$

式中，谐波分量 U_{nmv} 由下式给出：

$$U_{nmv} = \frac{\sin[(n+v)\pi/2]}{\begin{array}{l} +1 \text{ for } n+v=1,5,9,\dots \\ -1 \text{ for } n+v=3,7,11,\dots \\ 0 \text{ for } n+v=0,2,4,6,\dots \end{array}} \cdot \sqrt{\pi} \cdot U_d/2 \cdot \sqrt{n} \cdot \left[2 - \binom{0}{m} \right] \cdot \left[2 - \binom{0}{v} \right] \cdot J_m(n\Delta F/f_F) \cdot J_v(n\pi/2 \cdot a_0)$$

$$\begin{array}{ll} 2 & \text{for } m > 0 \\ 1 & \text{for } m = 0 \end{array} \quad \begin{array}{ll} 2 & \text{for } v > 0 \\ 1 & \text{for } v = 0 \end{array}$$

其中 $\delta_{m0}=1$ （如果 $m=0$ ）或 0 （如果 $m>0$ ），其余符号定义如下：

U_d ：输入直流电压

a_0 ：调制指数（0.1）

f_1 ：固有振荡频率，脉冲宽度调制频率

U_{nmv} ：谐振的电压振幅

n ：固有脉冲频率 F_0 的坐标序数

v ：脉冲宽度调制频率 f_1 的坐标序数

m ：脉冲频率调制频率 f_F 的坐标序数

f_F ：脉冲频率调制的频率

ΔF ：脉冲频率调制的频率差

F ：脉冲频率

F_0 ：固有脉冲频率

J_m, J_v ：贝塞尔函数

D ：相位移 0° （a）， -120° （b）， $+120^\circ$ （c）

δ_0 ：调制电压 U_{st} 和转换开关输出电压 $U_{a,b,c}$ 的固有振荡的相位

γ_0 ：载波信号 U_H 的相位

φ_0 ：脉冲频率调制函数 F 的相位

鉴于脉冲频率调制的频率 f_F 和该脉冲频率调制的频率差 ΔF 的固有或基态振荡

$$u_{GS} = (U_d/2) \cdot a_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t + \delta_0 + D)$$

的独立性，可随意改变频谱而不致影响固有振荡 U_{GS} 。

贝塞尔函数 $J_m(n \cdot \Delta F/f_F)$ 和 $J_v(n \cdot \pi/2a_0)$ 或比值 $\Delta F/f_F$ 决定谐波分量的振幅 U_{nmv} 。该比值越大，坐标数据为 m 的次谐波的数目也就越大，因而也就意味着较宽的频谱分布。显然，这里最大的优点是频谱的形状可随意改变。为了获得尽可能均匀的频率分布，可以设定合适的调制参数 f_F 和 ΔF 使得频谱中部分重叠的相邻主波群 n 的谐波分量 U_{nmv} 的频率不重合在一起。使用贝塞尔函数来计算谐波分量 U_{nmv} ，不仅使频谱大范围增益，而且还可消除会激发机械定子共振的次波群 m 的谐波。

脉冲频率调制的频率 f_F 直接决定着边带频率与固有脉冲频率 F_0 的谐波 $n \cdot F_0$ 之间的间距

$$\pm m \cdot f_F \pm v \cdot f_1$$

余下要指出的便是谐波分量 U_{nmv} 的相位出现在乘子

$$[+\cos\{2\pi(n \cdot F_0 + m \cdot f_F + v \cdot f_1)t + \dots\}]$$

内。

定子由于受到径向磁力的作用而产生振动并进而发出噪声，该噪声的频率分布与径向气隙的力分布 P 相同。基于已知计算结果发现，对于恒定的磁性气隙的磁感的固有振荡振幅（用通常使用的对异步机的调节的方式予以保证），径向气隙的力分布 P 的谐波振幅 P_{nmv} 与上述公式中的谐波振幅 U_{nmv} 成正比。即

$$P_{nmv} \propto U_{nmv}$$

这意味着噪声的降低基本上是通过减小谐波振幅来实现的。

由于频谱的分散，一方面转换开关输出电压的谐波振幅减小，另一方面又产生了一种虽不再显示任何明显的单个频率但可看作为规则噪声的声音波形。这样，不仅可看到噪音响度的降低，而且还由于许多频率分布在整个谱图上而产生较为令人满意的噪音。图6示出了用于优化调制方法和消除频带的贝塞尔函数的曲线。

图7为根据本发明的方法并除去了频带的频谱详图。其中频带的消除是借助贝塞尔函数来完成的。要除去的频率可由比值 $\Delta F/f_F$ 来确定。在频率

$$n \cdot F_0 \pm m \cdot f_F \pm v \cdot f_1$$

处的谐波振幅 U_{nmv} 与贝塞尔函数

$$J_m(n \cdot \Delta F / f_F)$$

成正比。

通过适当设定参数 ΔF 和 f_F ，可使贝塞尔函数对于某些载波乘子 n 和次波群 m 取零值。其步骤将在下面作详细说明。三角形载波信号 U_H 的固有脉冲频率 F_0 是固定的。次波群 m 的位置可通过选择脉冲频率调制的频率 f_F 来确定。干扰频率范围可参照已知的机械定子共振频率来选定。贝塞尔函数的坐标序数可通过次波群的坐标序数来确定。为了消除频带或次波群 m ，具有已事先知道的坐标序数的图6中所示的贝塞尔函数就应设定为零。在这个零点处的自变量等于比值 $(n \cdot \Delta F) / f_F$ 。脉冲频率调制的频率 f_F 事先固定。因而，可确定脉冲频率调制的频率差 ΔF 以便指定的次波群不在频谱上出现。所选次波群的消除取决于调制指数 a_0 和固有振荡频率 f_1 ，因而也就与机器的操作状态无关。

第二实施例涉及一种用空间矢量调制代替载波调制的方法。

由脉冲宽度调制方法得到的具有可变脉冲频率的转换开关输出电压 $U_{a,b,c}$ 的频谱的推导是建立在载波调制基础之上的，这是因为与空间矢量调制相比载波调制能更好地代表脉冲宽度调制和脉冲频率调制的时间依赖性。当然，采用两种方式（载波或空间矢量调制）的实际装置所得到的结果相同。

为了说明空间矢量调制，不仅转换开关的输出电压 $U_{a,b,c}$ 还有控制电压 $U_{sta,b,c}$ 将根据以下规则被转换到空间矢量区域：

$$\bar{X} = 2/3 \cdot [X_a + X_b e^{j120^\circ} + X_c e^{-j120^\circ}]。$$

对于控制电压 $U_{sta,b,c} = U_d/2 \cdot a_0 \cdot \cos(2\pi f_1 t + \delta_0 + D)$ ，由上述规则可得下列旋转矢量：

$$\bar{U}_{st} = U_d/2 \cdot a_0 e^{j(2\pi f_1 t + \delta_0)} = U_d/2 \cdot a_0 \cdot e^{j\delta(t)}$$

其中 $\delta(t) = 2\pi f_1 t + \delta_0$ 。由于开关元件（3）（见图1）使得转换开关输出电压 $U_{a,b,c}$ 只能取值 $\pm U_d/2$ ，因而重复所希望的连续转动旋转矢量便只能以不完整地方式进行。图8a中的表显示瞬时转换开关输出电压中的三个量只能有8种可能的组合，而这8种组合中又只能产生两个零位矢量（ \bar{U}_0 和 \bar{U}_1 ）及六种可能的离散的旋转矢量位置（ \bar{U}_1 ， \bar{U}_2 ， \bar{U}_3 ， \bar{U}_4 ， \bar{U}_5 和 \bar{U}_6 ）。

图8b中所示的“旋转矢量”被分成从I到VI共六个区间。对于具有恒定脉冲频率 $F = F_0$ 的分谐波振动法来说，离散的旋转矢量按照一定顺序在每一脉冲周期 $T = 1/F_0$ 内变化六次。这个离散旋转矢量序列在同一区间内保持相同并在完成一个周期后重复。

一个离散旋转矢量 \bar{U}_x 在一个区间内有效的时间间隔 $t_x(t_x=t_1, t_2, \dots, t_6)$ 取决于调制指数 a_0 和角度 $\delta(t)$ 。

区间序列 (I, II, ..., IV) 由旋转矢量的位置决定。对应于区间 I 到 VI 的离散旋转矢量序列定义如下:

区间 I:	:	\bar{u}_1	\bar{u}_0	\bar{u}_1	\bar{u}_2	\bar{u}_7	\bar{u}_2
区间 II:	:	\bar{u}_3	\bar{u}_0	\bar{u}_3	\bar{u}_2	\bar{u}_7	\bar{u}_2
区间 III:	:	\bar{u}_3	\bar{u}_0	\bar{u}_3	\bar{u}_4	\bar{u}_7	\bar{u}_4
区间 IV:	:	\bar{u}_5	\bar{u}_0	\bar{u}_5	\bar{u}_4	\bar{u}_7	\bar{u}_4
区间 V:	:	\bar{u}_5	\bar{u}_0	\bar{u}_5	\bar{u}_6	\bar{u}_7	\bar{u}_6
区间 VI:	:	\bar{u}_1	\bar{u}_0	\bar{u}_1	\bar{u}_6	\bar{u}_7	\bar{u}_6

时间间隔序列为 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$, 其中

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = T = 1/F_0.$$

根据本发明的方法, 对于变脉冲频率 F , 其离散旋转矢量序列保持相同。不同的只是一个旋转序列的脉冲周期 $T = 1/F$ 起了变化。在 0 时向序列 t 内的单个时间部分 t_1, t_2, \dots, t_6 还取决于函数 $F = F_0 + \Delta F \cdot \text{Sin} (2\pi f_F \cdot t + \varphi_F)$ 。

图1

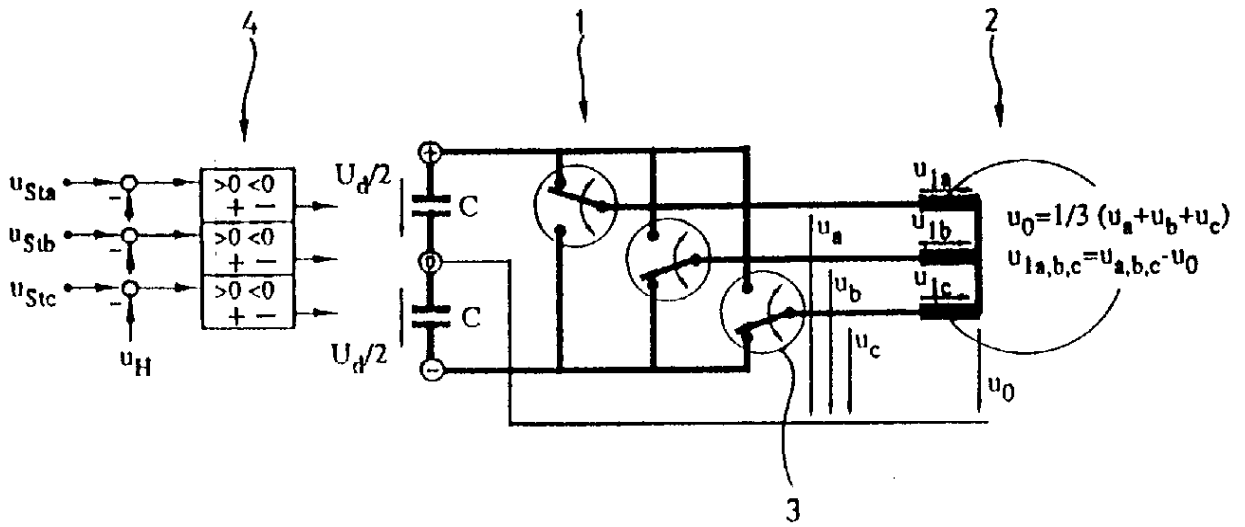


图2a

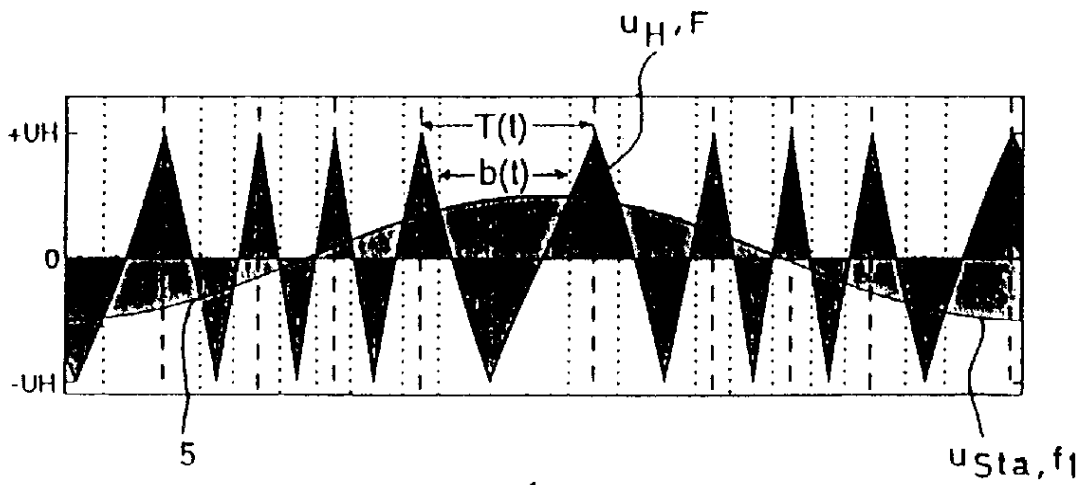


图2b

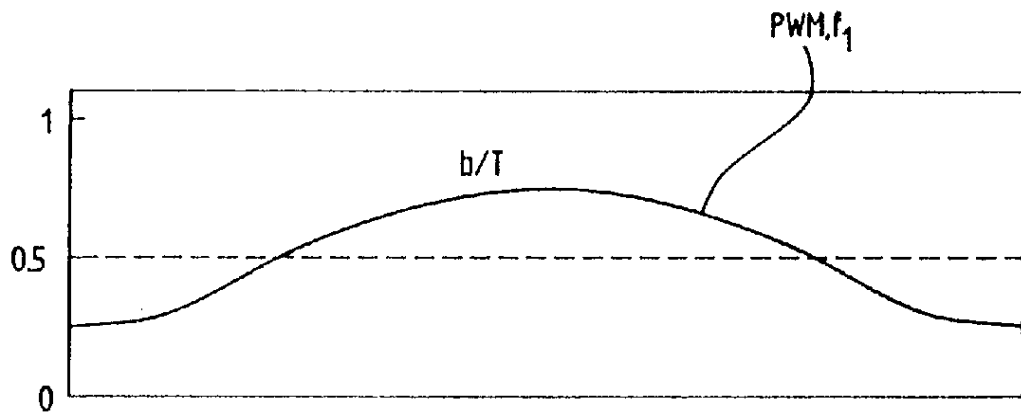


图2c

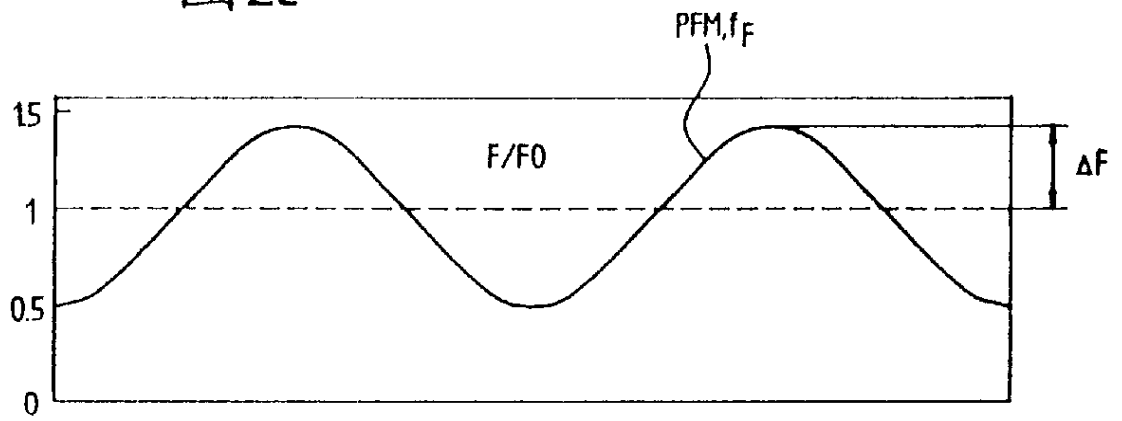


图2d

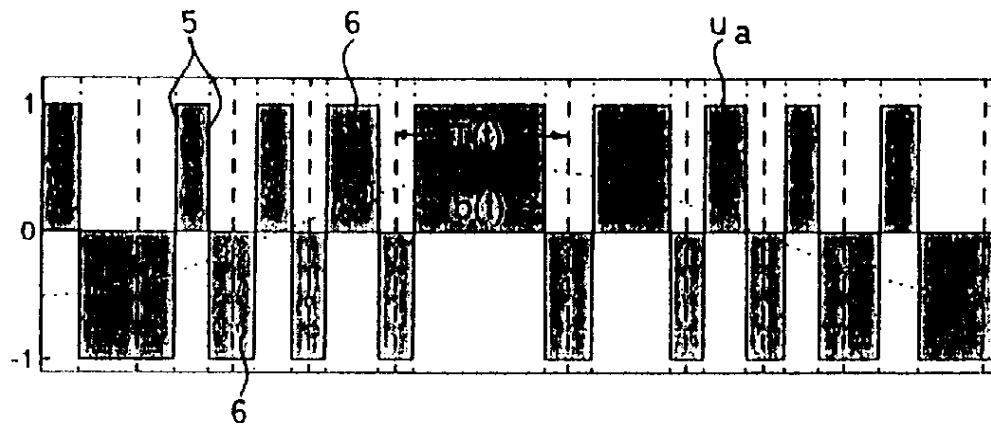


图3

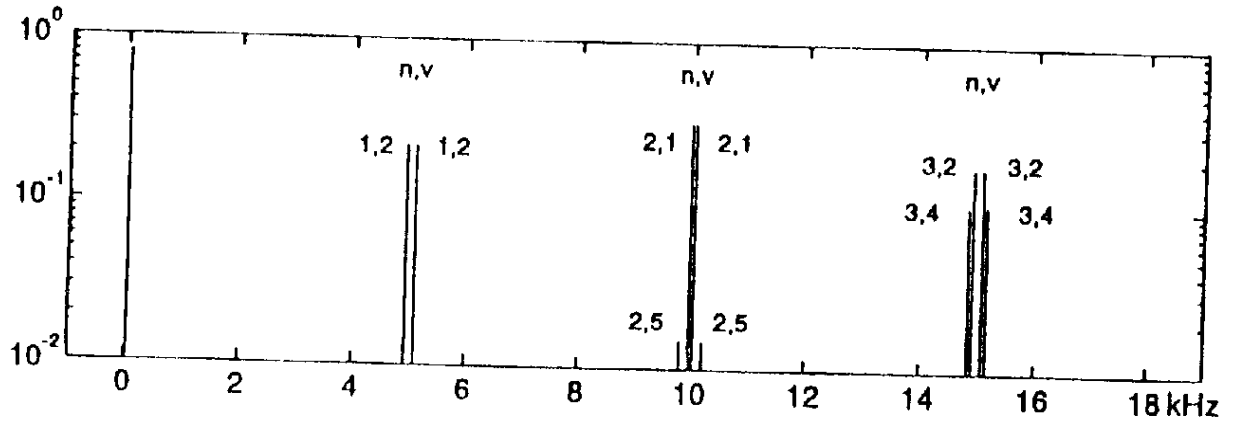


图4

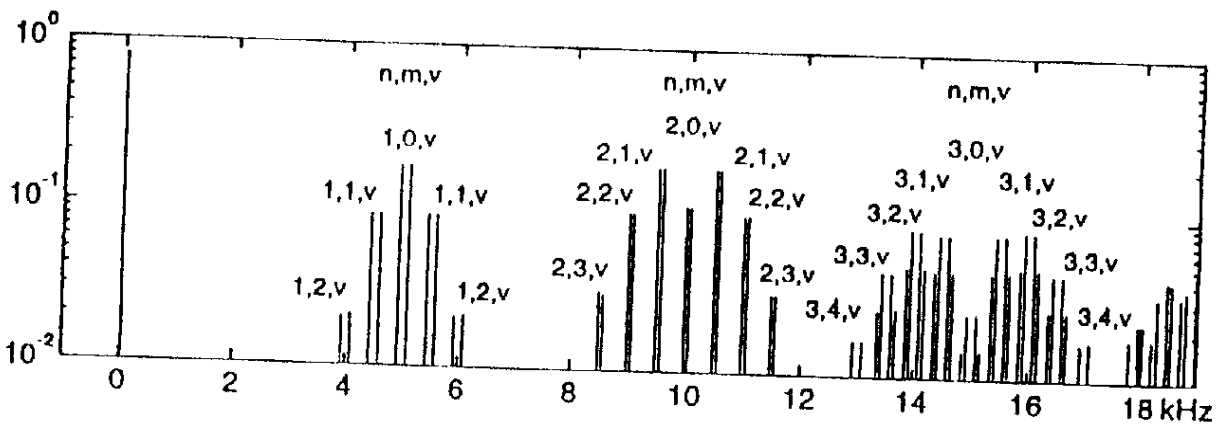


图5

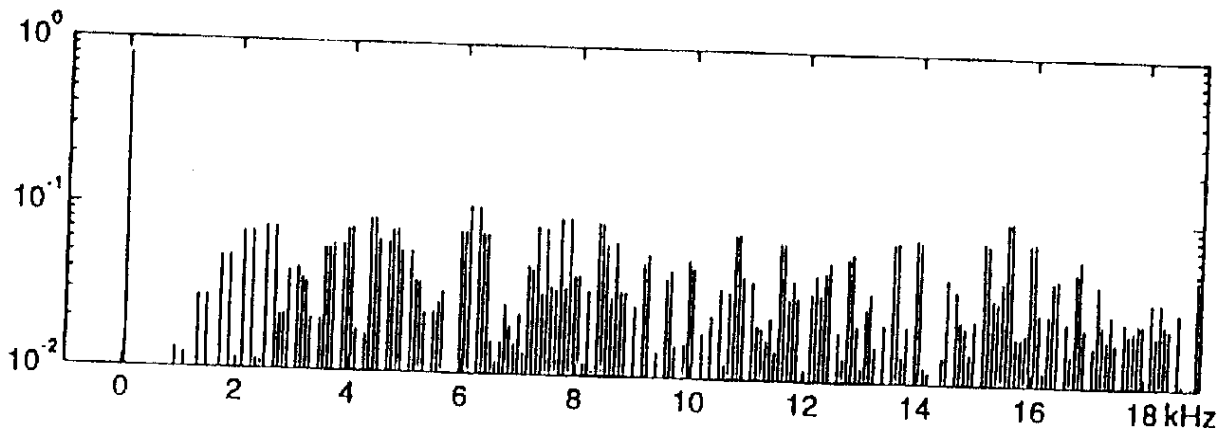


图 6

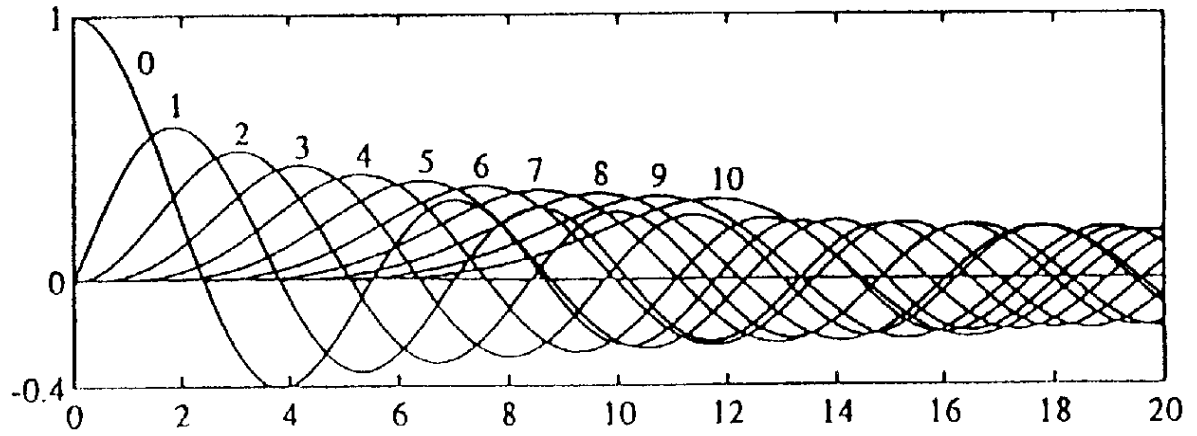


图 7

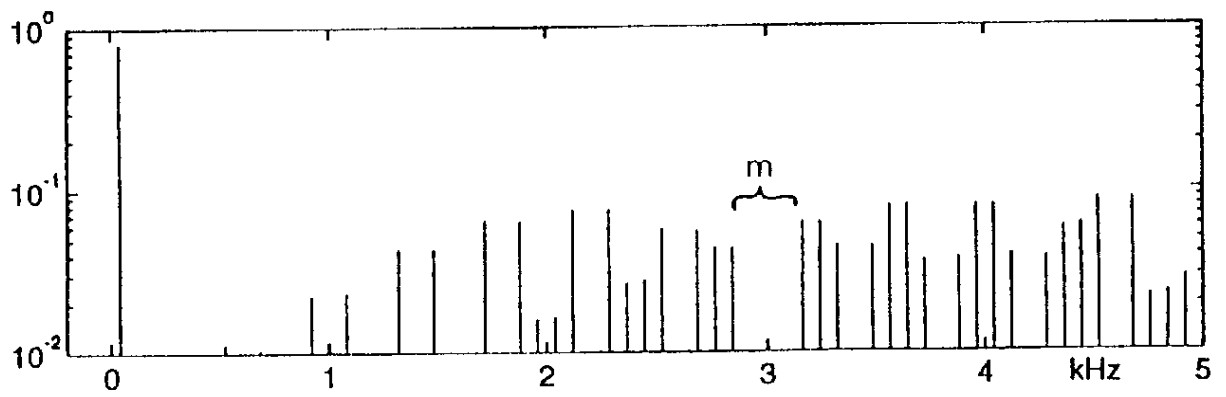


图 8a

u_a	u_b	u_c	\bar{u}_x
-	-	-	\bar{u}_0
+	-	-	\bar{u}_1
+	+	-	\bar{u}_2
-	+	-	\bar{u}_3
-	+	+	\bar{u}_4
-	-	+	\bar{u}_5
+	-	+	\bar{u}_6
+	+	+	\bar{u}_7

图 8b

