[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[6]
H04L 27/20

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 99106329.5

[43]公开日 1999年12月15日

[11]公开号 CN 1238623A

[22]申请日 99.5.5 [21]申请号 99106329.5

[30]优先权

[32]98.5.5 [33]US [31]072,813

[71]申请人 朗迅科技公司

地址 美国新泽西

[72]发明人 罗伯特·切林·王

[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

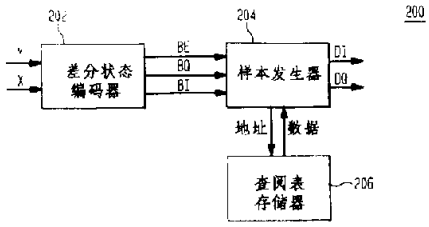
代理人 蒋世迅

权利要求书7页 说明书14页 附图页数4页

[54]发明名称 表控制的调制信号产生

[57]摘要

利用依赖于预计算的滤波器输出值以减少所需处理的方法,输入数据流中的双 位(即,位对)转换成调制信号(例如,π/4－DQPSK 调制信号)以产 生此调制信号中每个样本。预计算的滤波器输出值存储在一个或多个查阅表中 ,在信号转换期间实时访问此查阅表以检索所需要的值。通过大大地减少调制 信号中产生每个复数样本涉及的计算,本发明可用于减少实施调制过程的成本和/或增大输入数据流的附加取样率,从而减小调制信号中的失真。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1.一种从输入数据流中产生基于相位的调制信号的方法，包括的步骤有：

(a) 从输入数据流的位集合中产生状态变量；

(b) 利用状态变量产生地址指针；

(c) 利用地址指针从存储器中检索对应于滤波器输出的预计算值；和

(d) 把加法/减法运算应用于预计算值以产生调制信号。

2.按照权利要求 1 的发明，其中基于相位的调制信号是π/4 – DQPSK 调制信号，每个位集合是一个双位。

3.按照权利要求 1 的发明，其中此方法是用软件实现的。

4.按照权利要求 1 的发明，其中此方法是用硬件实现的。

5.按照权利要求 1 的发明，其中：

输入数据流是通过数字化模拟声频输入信号，加语音和信道编码给数字化信号，和隔行扫描编码的信号而产生的；和

数模转换和低通滤波加到调制信号上。

6.按照权利要求 1 的发明，其中预计算值对应于多相滤波器输出。

7.按照权利要求 6 的发明，其中：

输入数据流中的每个位集合对应于一个符号；

符号流分成偶符号流和奇符号流；和

预计算值对应于把多相滤波器分别加到偶符号流和奇符号流上。

8.按照权利要求 1 的发明，其中：

输入数据流中的每个位集合对应于一个符号；和对于输入数据流中的每个符号：

第一状态变量 BE 识别此符号究竟是偶符号还是奇符号；

第二状态变量 BI 对应于代表此符号的复数值的实部；

第三状态变量 BQ 对应于此复数值的虚部。

9.按照权利要求 8 的发明，其中：

状态变量 BE_{OLD}， BI_{OLD}，和 BQ_{OLD} 对应于输入数据流中以前的符号；

此数据流中的新符号对应于一个位对(y, x)；

当新符号是输入数据流中的奇符号时，新符号的第二状态变量 BI_{NEW} 是根据以下公式决定的：

$$BI_{NEW}=\overline{y}\cdot\overline{x}\cdot BI_{OLD}+\overline{y}\cdot x\cdot\overline{BQ_{OLD}}+y\cdot\overline{x}\cdot BQ_{OLD}+y\cdot x\cdot\overline{BI_{OLD}}=a$$

及新符号的第三状态变量 BQ_{NEW} 是根据以下公式决定：

$$BQ_{NEW}=\overline{y}\cdot\overline{x}\cdot BQ_{OLD}+\overline{y}\cdot x\cdot BI_{OLD}+y\cdot\overline{x}\cdot\overline{BI_{OLD}}+y\cdot x\cdot\overline{BQ_{OLD}}=b$$

其中“·”代表逻辑 AND 运算，“+”代表逻辑 OR 运算，“上划线”代表逻辑补。

当新符号是输入数据流中的偶符号时，新符号的第二状态变量 BI_{NEW} 是根据以下公式决定的：

$$BI_{NEW}=\overline{b}$$

及新符号的第三状态变量 BQ_{NEW} 是根据以下公式决定的：

$$BQ_{NEW}=a$$

10.按照权利要求 8 的发明，其中：

符号流分成偶符号流和奇符号流：

利用偶符号流中符号的第二状态变量 BI 产生第一地址指针 AEI(n)；

利用偶符号流中符号的第三状态变量 BQ 产生第二地址指针 AEQ(n)；

利用奇符号流中符号的第二状态变量 BI 产生第三地址指针

AOI(n);

利用奇符号流中符号的第三状态变量 BQ 产生第四地址指针 AOQ(n);

第一地址指针 AEI(n)用于从存储器中检索第一预计算值 DEI(n);

第二地址指针 AEQ(n)用于从存储器中检索第二预计算值 DEQ(n);

第三地址指针 AOI(n)用于从存储器中检索第三预计算值 DOI(n);

第四地址指针 AOQ(n)用于从存储器中检索第四预计算值 DOQ(n);

根据以下公式产生调制信号的实部 DI(n):

$$DI(n)=DEI(n)+DOQ(n)+DOI(n)$$

和

根据以下公式产生调制信号的虚部 DQ(n):

$$DQ(n)=DEQ(n)+DOQ(n)-DOI(n)$$

11.按照权利要求 10 的发明，其中：

第一预计算值 DEI(n)是基于以下公式：

$$DEI(n)=\left[\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BI(n-k)}\cdot\left(\frac{c(k)}{\sqrt{2}}\right)\right];$$

第二预计算值 DEQ(n)是基于以下公式：

$$DEQ(n)=\left[\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BQ(n-k)}\cdot\left(\frac{c(k)}{\sqrt{2}}\right)\right];$$

第三预计算值 DOI(n)是基于以下公式：

$$DOI(n)=\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BI(n-k)}\cdot\left(\frac{d(k)}{2}\right);$$

第四预计算值 DOQ(n)是基于以下公式:

$$DOQ(n) = \sum_{k=0}^{N-1} (-1)^{BQ(n-k)} \cdot \left(\frac{d(k)}{2} \right),$$

其中 c(k)和 d(k)代表多相滤波器的系数。

12.按照权利要求 10 的发明，其中，除了是相应状态变量的函数以外，地址指针 AEI(n), AEQ(n), AOI(n), 和 AOQ(n)是利用时钟信号产生的，以实现输入数据流的附加取样。

13.一种从输入数据流中产生基于相位的调制信号的方法，包括的步骤有:

(a) 从输入数据流的位集合中完成差分状态编码以产生状态变量; 和

(b) 从状态变量中完成样本产生以产生调制信号，其中样本产生包括以下步骤:

(1) 利用状态变量更新寄存器;

(2) 从寄存器中的值产生查阅表地址;

(3) 利用查阅表地址从存储器中检索对应于滤波器输出的预计算值; 和

(4) 把加法/减法运算应用于预计算值以产生调制信号。

14.一种有调制器的集成电路，用于从输入数据流中产生基于相位的调制信号，包括:

(a) 差分状态编码器，适合于从输入数据流的位集合中产生状态变量; 和

(b) 样本发生器，适合于从状态变量产生调制信号，其中样本发生器包括:

(1) 寄存器，利用状态变量更新寄存器值，寄存器值用于产生查阅表地址，以便从存储器中检索对应于滤波器输出的预计算值; 和

(2) 加法/减法运算器，适合于从预计算值产生调制信号。

15.按照权利要求 14 的发明，其中基于相位的调制信号是π/4 -

DQPSK 调制信号，每个位集合是一个双位。

16.按照权利要求 14 的发明，其中：

输入数据流是通过数字化模拟声频输入信号，加语音和信道编码给数字化信号，和隔行扫描编码的信号而产生的；和

数模转换和低通滤波加到调制信号上。

17.按照权利要求 14 的发明，其中预计算值对应于多相滤波器输出。

18.按照权利要求 17 的发明，其中：

输入数据流中的每个位集合对应于一个符号；

符号流分成偶符号流和奇符号流；和

预计算值对应于把多相滤波器分别加到偶符号流和奇符号流上。

19.按照权利要求 14 的发明，其中：

输入数据流中的每个位集合对应于一个符号；和

对于输入数据流中的每个符号：

第一状态变量 BE 识别此符号究竟是偶符号还是奇符号；

第二状态变量 BI 对应于代表此符号的复数值实部；

第三状态变量 BQ 对应于此复数值的虚部。

20.按照权利要求 19 的发明，其中：

状态变量 BE_{OLD}，BI_{OLD}，和 BQ_{OLD} 对应于输入数据流中以前的符号；

此数据流中的新符号对应于一个位对(y, x)；

当新符号是输入数据流中的奇符号时，新符号的第二状态变量 BI_{NEW} 是根据以下公式决定的：

$$BI_{NEW}=\overline{y}\cdot\overline{x}\cdot BI_{OLD}+\overline{y}\cdot x\cdot\overline{BQ_{OLD}}+y\cdot\overline{x}\cdot BQ_{OLD}+y\cdot x\cdot\overline{BI_{OLD}}=a$$

及新符号的第三状态变量 BQ_{NEW} 是根据以下公式决定：

$$BQ_{NEW}=\overline{y}\cdot\overline{x}\cdot BQ_{OLD}+\overline{y}\cdot x\cdot BI_{OLD}+y\cdot\overline{x}\cdot\overline{BI_{OLD}}+y\cdot x\cdot\overline{BQ_{OLD}}=b$$

其中“·”代表逻辑 AND 运算，“+”代表逻辑 OR 运算，“上划线”代表逻辑补。

当新符号是输入数据流中的偶符号时，新符号的第二状态变量 BI_{NEW} 是根据以下公式决定的：

$$BI_{NEW}=\overline{b}$$

及新符号的第三状态变量 BQ_{NEW} 是根据以下公式决定的：

$$BQ_{NEW}=a$$

21.按照权利要求 19 的发明，其中：

符号流分成偶符号流和奇符号流；

利用偶符号流中符号的第二状态变量 BI 产生第一地址指针 AEI(n)；

利用偶符号流中符号的第三状态变量 BQ 产生第二地址指针 AEQ(n)；

利用奇符号流中符号的第二状态变量 BI 产生第三地址指针 AOI(n)；

利用奇符号流中符号的第三状态变量 BQ 产生第四地址指针 AOQ(n)；

第一地址指针 AEI(n)用于从存储器中检索第一预计算值 DEI(n)；

第二地址指针 AEQ(n)用于从存储器中检索第二预计算值 DEQ(n)；

第三地址指针 AOI(n)用于从存储器中检索第三预计算值 DOI(n)；

第四地址指针 AOQ(n)用于从存储器中检索第四预计算值 DOQ(n)；

根据以下公式产生调制信号的实部 DI(n)：

DI(n)=DEI(n)+DOQ(n)+DOI(n)

和

根据以下公式产生调制信号的虚部 DQ(n):

DQ(n)=DEQ(n)+DOQ(n)-DOI(n)

22.按照权利要求 21 的发明，其中：

第一预计算值 DEI(n)是基于以下公式：

$$DEI(n) = \left[\sum_{k=0}^{N-1} (-1)^{BI(n-k)} \cdot \left(\frac{c(k)}{\sqrt{2}}\right)\right];$$

第二预计算值 DEQ(n)是基于以下公式：

$$DEQ(n) = \left[\sum_{k=0}^{N-1} (-1)^{BQ(n-k)} \cdot \left(\frac{c(k)}{\sqrt{2}}\right)\right];$$

第三预计算值 DOI(n)是基于以下公式：

$$DOI(n) = \sum_{k=0}^{N-1} (-1)^{BI(n-k)} \cdot \left(\frac{d(k)}{2}\right);$$

第四预计算值 DOQ(n)是基于以下公式：

$$DOQ(n) = \sum_{k=0}^{N-1} (-1)^{BQ(n-k)} \cdot \left(\frac{d(k)}{2}\right), \qquad (20)$$

其中 c(k)和 d(k)代表多相滤波器的系数。

23.按照权利要求 21 的发明，其中，除了是相应状态变量的函数以外，地址指针 AEI(n), AEQ(n), AOI(n), 和 AOQ(n)是利用时钟信号产生的，以实现输入数据流的附加取样。

24.按照权利要求 14 的发明，其中样本发生器包括不多于四个寄存器和不多于四个加法/减法运算器。

说　　明　　书

表控制的调制信号产生

本发明涉及信号处理，尤其涉及π/4 - 差分编码的四相移相键控（π/4 - DQPSK）调制。

图 1 表示编码和调制语音相关的声频信号的普通数字系统 100 的方框图，采用π/4 - DQPSK 进行传输。如图 1 所示，模数转换器 102 数字化输入信号，语音编码器 104 编码此数字化流，信道编码器 106 给编码的数据添加冗余位，数字复用器 108 隔行扫描（interleave）编码的数据（能使接收机在传输的信号中存在突发差错情况下完成差错纠正），和调制器 110 对隔行数据流中的双位（即，位对）施加π/4 - DQPSK 调制，以产生对应于调制信号中同相部分（或实部）和正交相位部分（或虚部）的多位数字值 DI 和 DQ 。这两个数字流 DI 和 DQ 由数模（D/A）转换器 112 转换成模拟信号，然后由低通滤波器 114 滤波此模拟信号，以产生对应于调制信号中同相部分和正交相位部分的两个模拟输出信号 AI 和 AQ 。

在π/4 - DQPSK 调制中，用（y, x）表示的输入双位流转换成调制的复数值输出流 I + jQ，其中 I 是每个复数值的同相部分或实部，Q 是每个复数值的正交相位部分或虚部。在典型的数字设备中，这个转换过程涉及到把计算繁重的有限脉冲响应（FIR）滤波器应用于附加取样的数据流，以产生一连串附加取样的内插复数值。转换过程中附加取样的程序往往受到实施此调制方案的处理器有限能力的限制。因此，调制信号中失真电平可能高于所要求的。采用较昂贵的处理器能够获得较小的失真，这种处理器具有对付较高附加取样程度的处理能力。

本发明的目的是一种调制方案（例如π/4 - DQPSK），这种调制方案大大地简化了输入数据转换成调制信号中涉及的实时计算。所以，对于一个给定的处理器，本发明的调制方案能够实施较高程度的

附加取样，因此提供了比普通π/4 - DQPSK 调制方案较小失真的调制信号，而不必采用较昂贵的处理器。

按照一个实施例，本发明是一个从输入数据流中产生基于相位的调制信号方法。在基于相位的调制方案中，把信息编码成调制信号内的相位变化。从输入数据流的位集合中产生状态变量，利用状态变量产生地址指针。利用地址指针从存储器中检索对应于滤波器输出的预计算值，把加法/减法运算应用于预计算值以产生调制信号。利用预计算的滤波器输出值减小计算负荷，从而对于一个给定的处理器允许有较高程度的附加取样。

在另一个实施例中，完成差分状态编码以便从输入数据流的位集合中产生状态变量，完成样本产生以便从调制信号中产生状态变量。样本产生包括以下步骤：（1）利用状态变量更新寄存器：（2）根据寄存器中的值产生查阅表地址；（3）利用查阅表地址从存储器中检索对应于滤波器输出的预计算值；和（4）把加法/减法运算应用于预计算值以产生调制信号。

按照又一个实施例，本发明是一个有调制器的集成电路，用于从输入数据流中产生基于相位的调制信号。此电路包括：（a）差分状态编码器，适合于从输入数据流的位集合中产生状态变量，和（b）样本发生器，适合于从状态变量中产生调制信号。样本发生器包括：（1）寄存器，利用状态变量更新寄存器值，寄存器值用于产生查阅表地址，以便从存储器中检索对应于滤波器输出的预计算值，和（2）加法/减法运算器，适合于从预计算值中产生调制信号。

从以下的详细描述，所附权利要求书和附图中，本发明的其他方面，特征和优点会变得更加显而易见，这些附图是：

图 1 表示编码和调制语音信号的普通数字系统方框图，采用π/4 - DQPSK 调制进行传输；

图 2 表示按照本发明一个实施例的π/4 - DQPSK 调制器方框图；

图 3 表示π/4 - DQPSK 调制中符号群的星座图；

图 4 表示把一个 16 - 系数 FIR 滤波器应用于一列连续时间间隔的输入符号流的星座图；和

图 5 表示图 2 的调制器中样本发生器的硬件电路设备示意图。

图 2 表示按照本发明一个实施例的π/4 - DQPSK 调制器 200 方框图。调制器 200 可以用在数字系统中调制信号，例如，调制语音信号。因此，调制器 200 可用于替代图 1 系统 100 中的普通数字调制器 110。由于调制器 200 完成数字处理，它可以在一个适当的处理平台上用软件，固件，硬件，或其组合加以实现，例如，通用微处理机，现场可编程门阵列（ FPGA ），数字信号处理器（ DSP ），或专用集成电路（ ASIC ）。

调制器 200 包括差分状态编码器 202 和复数样本发生器 204。编码器 202 利用每个输入双位（ y, x ）以更新用三个二进制数（ BE，BQ， BI ）表示的状态变量，其中 BE 位识别双位在π/4 - DQPSK 星座中究竟是偶符号或奇符号，BI 位和 BQ 位分别对应于同相信号 I 和正交相位信号 Q。双位是从串行位流中转换成的，从串行流的位 1 开始。 x 位是奇数位， y 位是偶数位。样本发生器 204 利用状态变量（ BE， BQ， BI ）的历史产生多位数字复数样本 DI + jDQ，其取样率是符号率的倍数（即，附加取样）。样本发生器 204 利用状态变量的历史和时钟信号作为地址，以检索存储在存储器装置 206 （例如，只读存储器或 ROM ）中一个或多个查阅表内预计算的滤波器输出值。于是，通过对检索的值完成四个加法功能，样本发生器 204 产生数字复数样本。样本发生器中的运算完成对应于内插和低通滤波的功能。所用的滤波器是一个滚降因子为 0.35 的平方根上升余弦滤波器，作为一个有限脉冲响应（ FIR ）滤波器。

差分状态编码

在π/4 - DQPSK 调制中，每个双位（ y, x ）模式确定符号间隔处的数字复数样本 I(n) + jQ(n)的相位变化，在此文件中数字复数样本称为符号样本。表 I 规定相位变化值。

表 I	
双位(y, x)	相位变化
00	π/4
01	3π/4
10	-π/4
11	-3π/4

符号样本 I(n) + jQ(n)在复平面内的运动受输入双位流的控制。然而，符号样本的踪迹并不占满整个复平面，而只有图 3 中标记为 S0， S1，… S7 八个点。例如，在时刻 n，符号样本可能在点 S4。若新的双位(y, x) = （ 0， 1），在时刻 n + 1 符号样本就在点 S3，其相位变化为 3π/4。而且，符号样本交替地在奇符号组（即， S0， S1， S2，和 S3）与偶符号组（即， S4， S5， S6 和 S7）之间移动。

表 II 中所示点 S0， S1，… S7 的值是这样选的，它们能够有效地用三个二进制变量（ BE， BQ， BI）表示，这就可以给滤波器的输出构造简洁的查阅表。偶符号的复数值可以按照如下公式（ 1）写出：

$$(I+jQ)_{EVEN}=\frac{1}{\sqrt{2}}[(-1)^{BI}+j(-1)^{BQ}] \qquad (1)$$

其中：

$$(-1)^{BI}=(1-2\cdot BI)=\begin{cases}1 & if\ BI=0\\ -1 & if\ BI=1\end{cases} \qquad (2)$$

和

$$(-1)^{BQ}=(1-2\cdot BQ)=\begin{cases}1 & if\ BQ=0\\ -1 & if\ BQ=1\end{cases} \qquad (3)$$

表 II		
符号	复数值(I+jQ)	状态变量(BE, BQ, BI)
S0	1	000
S1	j	001
S2	-j	010
S3	-1	011
S4	$1/\sqrt{2}(1+j)$	100
S5	$1/\sqrt{2}(-1+j)$	101
S6	$1/\sqrt{2}(1-j)$	110
S7	$1/\sqrt{2}(-1-j)$	111

表 III 列出输入数据流中每个可能的连续双位组合的状态变量（BE，BQ，BI）之间关系，其中以前的双位称之为旧双位，当前的双位称之为新双位。

表 III																
旧	旧状态变量			新符号				新	新 BQ				新 BI			
				新双位(y,x)				BE	新双位(y,x)				新双位(y,x)			
Si	BE	BQ	BI	00	01	10	11		00	01	10	11	00	01	10	11
S0	0	0	0	S4	S5	S6	S7	1	0	0	1	1	0	1	0	1
S1	0	0	1	S5	S7	S4	S6	1	0	1	0	1	1	1	0	0
S2	0	1	0	S6	S4	S7	S5	1	1	0	1	0	0	0	1	1
S3	0	1	1	S7	S6	S5	S4	1	1	1	0	0	1	0	1	0
S4	1	0	0	S1	S3	S0	S2	0	0	1	0	1	1	1	0	0
S5	1	0	1	S3	S2	S1	S0	0	1	1	0	0	1	0	1	0
S6	1	1	0	S0	S1	S2	S3	0	0	0	1	1	0	1	0	1
S7	1	1	1	S2	S0	S3	S1	0	1	0	1	0	0	0	1	1

利用以下逻辑公式，可以写出转换到新的 BQ 值和 BI 值。若以前的符号是奇符号（即，$BE_{OLD} = 0$），则有：

$$BI_{NEW}=\overline{y}\cdot\overline{x}\cdot BI_{OLD}+\overline{y}\cdot x\cdot\overline{BQ_{OLD}}+y\cdot\overline{x}\cdot BQ_{OLD}+y\cdot x\cdot\overline{BI_{OLD}}=a \quad (4)$$

和

$$BQ_{NEW}=\overline{y}\cdot\overline{x}\cdot BQ_{OLD}+\overline{y}\cdot x\cdot BI_{OLD}+y\cdot\overline{x}\cdot\overline{BI_{OLD}}+y\cdot x\cdot\overline{BQ_{OLD}}=b \quad (5)$$

其中“·”代表逻辑 AND 运算，“+”代表逻辑 OR 运算，和“上划线”代表逻辑补。另外，若以前的符号是偶符号（即，$BE_{OLD}=1$），则

$$BI_{NEW}=\overline{b} \quad (6)$$

和

$$BQ_{NEW}=a \quad (7)$$

在任一情况下，

$$BE_{NEW}=\overline{BE_{OLD}} \quad (8)$$

在本发明一个实施例中，图 2 的差分状态编码器 202 执行所需要的公式（4）-（8），把输入数据流中的每个双位转换成三个状态变量（BE，BQ，BI）。

样本产生

样本发生器 204 以附加取样率把差分状态编码器 202 产生的状态变量（BE，BQ，BI）转换成一连串数字复数样本 DI + jDQ，其中 DI 和 DQ 分别对应于同相部分（实部）和正交相位部分（虚部）。利用滚降因子为 0.35 的 FIR 平方根上升余弦滤波器，样本发生器 204 内插符号样本流到一连串数字复数样本中。

作为应用到偶和奇符号流的多相滤波器实现的 FIR 滤波器

图 4 表示图 3 样本发生器 204 中的一个内插过程实例。令 x1, x2, x3,... 代表要以四倍符号率转换成一连串样本的符号样本。注意，图 4

中图形（A）表示，为了便于说明，x1, x2,…是实数。令 x1, x3, x5,…是奇符号，x2, x4, x6,…是偶符号。FIR 滤波器有 16 个系数的长度。为了内插符号样本，有 0 值的三个样本插入在每个相继符号样本对之间。生成附加取样的样本流在图形（A）中表示。

在每个时间间隔 n，具有系数（f_1, f_2,…, f_{16}）的 FIR 滤波器加到图形（A）附加取样符号流的相应部分。例如，图形（B）对应于在时刻 n = 15 加 16 - 系数 FIR 滤波器，图形（C）对应于在时刻 n = 16 加 16 - 系数 FIR 滤波器，等等。在时刻 n = 15，FIR 滤波器的输出 FOUT 由以下公式（9）给出：

$$F_{OUT}(n\text{-}15) = f_{16} \cdot x1 + f_{12} \cdot x2 + f_8 \cdot x3 + f_4 \cdot x4 , \qquad (9)$$

其中在内插的符号流中另外 12 个 FIR 系数乘以零。把奇符号 x1 和 x3 与偶符号 x2 和 x4 进行组合，公式（9）变成：

$$F_{OUT}(n\text{-}15) = (f_{16} \cdot x1 + f_8 \cdot x3) + (f_{12} \cdot x2 + f_4 \cdot x4) . \qquad (10)$$

多相滤波器(f_{16}, f_8)加到奇符号(x1, x3)，和多相滤波器(f_{12}, f_4)加到偶符号(x2, x4)。类似地，在时刻 n=16，转换的输出由以下公式给出：

$$F_{OUT}(n\text{-}16) = f_{13} \cdot x2 + f_9 \cdot x3 + f_5 \cdot x4 + f_1 \cdot x5 , \qquad (11)$$

它可以重新安排成如下的奇部分和偶部分：

$$F_{OUT}(n\text{-}16) = (f_9 \cdot x3 + f_1 \cdot x5) + (f_{13} \cdot x2 + f_5 \cdot x4) . \qquad (12)$$

多相滤波器(f_9, f_1)加到奇符号(x3, x5)，多相滤波器(f_{13}, f_5)加到偶符号(x2, x4)。重复这个过程表明，虽然不同的滤波器是在不同的时刻加上的，奇符号和偶符号都通过以下八个多相滤波器的相同序列：(f_9, f_1), (f_{10}, f_2), (f_{11}, f_3), (f_{12}, f_4), (f_{13}, f_5), (f_{14}, f_6), (f_{15}, f_7), (f_{16}, f_8)。这个方法是，把奇符号和偶符号当作两个分开的样本流，把多相滤波器加到特定的序列中。

对于每个时间周期 n，能够产生安排成偶部分和奇部分的类似公式。这些公式展示一般的原理，FIR 滤波器加到符号流中可以这样实现：把符号流分成奇符号流和偶符号流，多相滤波器加到奇符号流和偶符号流中，然后，组合多相滤波器的输出以产生 FIR 滤波器的输出。

偶符号表示

再参照表 II，对于偶符号 S4，S5，S6，和 S7，复数值$(I+jQ)_{EVEN}$的实部 I 和虚部 Q 是$1/\sqrt{2}$或$-1/\sqrt{2}$。这个二值情况就可以按照如下公式（13）把偶符号的复数值表示成偶符号的二值状态变量 BI 和 BQ：

$$(I+jQ)_{EVEN}=\frac{1}{\sqrt{2}}[(-1)^{BI}+j(-1)^{BQ}] \qquad (13)$$

注意：

$$(-1)^{BI}=(1-2\cdot BI)=\begin{Bmatrix}1 & if\ BI=0\\ -1 & if\ BI=1\end{Bmatrix} \qquad (14)$$

和

$$(-1)^{BQ}=(1-2\cdot BQ)=\begin{Bmatrix}1 & if\ BQ=0\\ -1 & if\ BQ=1\end{Bmatrix} \qquad (15)$$

加到偶符号流的多相滤波器是用一组 N 个多相滤波器系数{c(0), c(1), …, c(N-1)}表示。偶符号输入的多相滤波器输出是由如下公式（16）表示：

$$\begin{aligned}DEI(n)+jDEQ(n)=&\sum_{k=0}^{N-1}[I(n-k)+jQ(n-k)]_{EVEN}\cdot c(k)\\ &\cdot\left[\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BI(n-k)}\cdot\left(\frac{c(k)}{\sqrt{2}}\right)\right]+j\left[\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BQ(n-k)}\cdot\left(\frac{c(k)}{\sqrt{2}}\right)\right]\end{aligned} \qquad (16)$$

其中 n 是附加取样数据流的时间点指数，$[I(n)+jQ(n)]_{EVEN}$是对应于偶符号的复数符号样本。

根据公式（ 14 ）和（ 15 ）的关系，公式（ 16 ）中 DEI(n)和 DEQ(n)的值是 $\frac{\pm c(0)}{\sqrt{2}}, \frac{\pm c(1)}{\sqrt{2}}, \ldots, \frac{\pm c(N-1)}{\sqrt{2}}$ 诸项之和，其中正号或负号取决于 BI(n-k)和 BQ(n-k)的值。对于一个有 N 个系数的多相滤波器，就有 2^N 个不同的 BI(n-k)和 BQ(n-k)可能组合，因而有 2^N 个相应的 DEI(n)和 DEQ(n)值。

按照本发明， 2^N 个 DEI(n)和 DEQ(n)值是预先计算出的，存储在图 2 存储器 206 的查阅表中，供样本发生器 204 使用。在一个实施例中，预计算的值存储在存储器 206 中，而使查阅表地址是根据 2^N 个不同的 BI(n-k)和 BQ(n-k)组合的二值模式。尤其是，地址指针 AEI(n)是用于查找 DEI(n)的预计算值，按照如下的公式（ 17 ），其中地址指针 AEI(n)是由偶符号流状态变量 BI 的 N 个最近值所确定：

$$AEI(n)=[BI(n),BI(n-1),\ldots,BI(n-N+1)]_{EVEN} \qquad (17)$$

类似地，地址指针 AEQ(n)是用于查找 DEQ(n)的预计算值，按照如下的公式（ 18 ），其中地址指针 AEQ(n)是由偶符号流状态变量 BQ 的 N 个最近值所确定：

$$AEQ(n)=[BQ(n),BQ(n-1),\ldots,BQ(n-N+1)]_{EVEN} \qquad (18)$$

不是对每个新符号实时地（即，在实际的滤波过程期间）完成公式（ 16)的计算，样本发生器 204 只是更新为地址指针 AEI(n)和 AEQ(n)保持的地址缓冲器（例如，先进先出移位寄存器），利用这些地址指针从查阅表存储器 206 中分别检索 DEI(n)和 DEQ(n)相应的预计算值。

奇符号表示

如图 3 所示，偶符号与奇符号相差 45°。因此，对应于奇符号的复数符号样本可以把对应于偶符号的复数符号样本旋转－ 45°来表示，即，旋转－π/4 弧度，如以下公式（ 19 ）所示：

$$(I+jQ)_{ODD} = (I+jQ)_{EVEN} \cdot e^{-j\pi/4} \qquad (19)$$

把公式（13）代入公式（19）得到如下公式（20）：

$$(I+jQ)_{ODD}=\frac{1}{\sqrt{2}}[(-1)^{BI}+j(-1)^{BQ}]\cdot e^{-j\pi/4} \qquad (20)$$

把公式（20）中的指数项展开得到如下公式（21）：

$$(I+jQ)_{ODD}=\frac{1}{2}[(-1)^{BI}+j(-1)^{BQ}]\cdot(1-j) \qquad (21)$$

加到奇符号流的多相滤波器是用一组多相滤波器系数{d(0), d(1), ... d(N-1)}表示。奇符号输入的多相滤波器输出是用如下的公式（22）表示：

$$\sum_{k=0}^{N-1}[I(n-k)+jQ(n-k)]_{ODD}\cdot d(k) \qquad (22)$$

其中 n 是附加取样数据的时间点指数，$[I(n)+jQ(n)]_{ODD}$ 是对应于奇符号的复数符号样本。

把公式（21）代入公式（22）得到如下公式（23）：

$$\sum_{k=0}^{N-1}\frac{1}{2}\left[(-1)^{BI(n-k)}+j(-1)^{BQ(n-k)}\right]\cdot(1-j)\cdot d(k) \qquad (23)$$

重新安排（23）得到如下公式（24）：

$$\left(\left[\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BI(n-k)}\cdot\left(\frac{d(k)}{2}\right)\right]+j\left[\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BQ(n-k)}\cdot\left(\frac{d(k)}{2}\right)\right]\right)\cdot(1-j) \qquad (24)$$

按照如下的公式（25）和（26），令 DOI(n)和 DOQ(n)代表公式（24）中括号内的实部和虚部：

$$DOI(n)=\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BI(n-k)}\cdot\left(\frac{d(k)}{2}\right) \qquad (25)$$

和

$$DOQ(n)=\sum_{k=0}^{N-1}(-1)^{BQ(n-k)}\cdot\left(\frac{d(k)}{2}\right) \qquad (26)$$

假设偶符号和奇符号的多相滤波器有相同的系数，公式（25）和（26）中 DOI(n)和 DOQ(n)的表达式与公式（16）中 DEI(n)和

DEQ(n)的表达式相差 $1/\sqrt{2}$。

把公式（25）和（26）代入公式（24），再重新安排各项，得到如下奇符号输入的多相滤波器输出的公式（27）：

$$(DOI(n)+j\cdot DOQ(n))\cdot(1-j)=(DOQ(n)+DOI(n))+j\cdot(DOQ(n)-DOI(n)) \qquad (27)$$

因此，FIR 滤波器输出的实部是 DOQ(n)与 DOI(n)之和，FIR 滤波器输出的虚部是 DOQ(n)与 DOQ(n)之差。

如同公式（16）中 DEI(n)和 DEQ(n)的情况一样，公式（25）和（26）中有 2^N 个不同的 BI(n-k)和 BQ(n-k)组合，因而有 2^N 个相应的 DOI(n)和 DOQ(n)值。这些 2^N 个值可以预计算出，并存储在存储器 206 的查阅表中，样本发生器 204 能够在实时信号处理期间检索正确的值。如同以前一样，在一个实施例中，预计算出的值存储在存储器 206 中，而使地址是根据 2^N 个不同的 BI(n-k)和 BQ(n-k)组合的二值模式。尤其是，地址指针 AOI(n)是用于查找 DOI(n)的预计算值，按照如下的公式（28），其中地址指针 AOI(n)是由奇符号流状态变量 BI 的 N 个最近值所确定：

$$AOI(n)=[BI(n),BI(n-1),...,BI(n-N+1)]_{EVEN} \qquad (28)$$

类似地，地址指针 AOQ(n)是用于查找 DOQ(n)的预计算值，按照如下的公式（29）其中地址指针 AOQ(n)是由偶符号流状态变量 BQ 的 N 个最近值所确定：

$$AOQ(n)=[BQ(n),BQ(n-1),...,BQ(n-N+1)]_{EVEN} \qquad (29)$$

取决于存储器空间与处理时间之间的折衷，样本发生器 204 能够访问奇符号流唯一的查阅表，或访问偶符号流所用同一个查阅表，然后调整偶符号项与奇符号项之间的 $1/\sqrt{2}$ 因子值。若处理速度比存储器使用更重要，每个滤波器访问其自己的具有 2^N 个项目的预计算的查阅表。

组合多相滤波器输出

2N－系数 FIR 滤波器的输出（ DI(n)+jDQ(n)）是来自偶符号多相滤波器的输出（ DEI(n)+jDEQ(n)）与来自奇符号多相滤波器的输出（(DOQ(n)+DOI(n)+j(DOQ(n)-DOI(n))）之和，如以下公式（ 30 ）和（ 31 ）所表示的：

$$DI(n)=DEI(n)+DOQ(n)+DOI(n) \quad (30)$$

和

$$DQ(n)=DEQ(n)+DOQ(n)-DOI(n) \quad (31)$$

如以前几节所描述的，对于每个附加取样符号，样本发生器 204 的整个处理可以通过以下步骤实现：（ 1 ）更新四个移位寄存器（根据公式(17), (18), (28), 和(29)），（ 2 ）从存储器检索四个预计算值（根据移位寄存器中的地址）和（ 3 ）完成三个加法/减法功能（根据公式(30)和(31)）。

由于涉及到简单的运算，对于一个给定的处理平台，本发明应该比常规方法能够支持更大的附加取样率，其中当调制信号时，实时地完成 FIR 滤波器计算。例如，在输入数据流包含每秒 24.3K 双位（即，每秒 24,300 双位）的应用中， 32 样本/符号的附加取样率导致含每秒 777.6K 样本的调制信号。典型的现场可编程门阵列能够支持 64 样本/符号的附加取样率。因此，可以大大地减少调制信号中的失真。

样本发生器电路

图 5 表示按照本发明一个实施例部分的集成电路 500 示意图，对应于图 2 中样本发生器 204 和存储器 206 相对低成本的硬件设施。电路 500 是基于 32 样本/符号的附加取样率，低通 FIR 滤波器有滚降因子为 0.35 的平方根上升余弦响应。电路 500 有两个 1： 2 多路分解器 502 和 504，四个 13 位寄存器 506 － 512，和四个加法器 514 － 520，而存储器 206 有两个 8 千字节 ROM。在每个寄存器 506 － 512 内，位 A0 － A4 是由时钟信号控制，时钟信号是根据图 5 指定的输出样本率 FS，位 A5 与状态变量 BE 相联系，位 A6 硬连线到高电平

（例如 + 5V）或低电平（例如， GND），位 A7 - A12 的功能是移位寄存器，其中在位 A12 处进入，在位 A7 处出去。

由于图 2 的差分状态编码器 202 产生输入数据流中偶符号和奇符号的三个状态变量（ BE， BQ， BI），偶符号的 BI 值加到寄存器 506 的移位寄存器 SREI，奇符号的 BI 值加到寄存器 508 的移位寄存器 SROI，偶符号的 BQ 值加到寄存器 510 的移位寄存器 SREQ，奇符号的 BQ 值加到寄存器 512 的移位寄存器 SROQ。 BI 值和 BQ 值加到移位寄存器是由多路分解器 502 和 504 控制，这两个多路分解器作为开关是由状态变量 BE 控制，它指出当前的符号是偶符号或奇符号。

每次在输入数据流中遇到一个新符号，两个移位寄存器被更新－或偶符号的 SREI 和 SREQ，或奇符号的 SROI 和 SROQ。时钟信号与输入数据流中的每个符号同步，因而，每当遇到一个新符号和两个移位寄存器被更新时，位 A0 - A4 中的值都为 0。这 5 位按照它们的时钟信号进行切换，在输入数据流中遇到下一个符号之前，位 A0 - A4 中的值以二进制增量从全部为 0 变到全部为 1。

在基于样本率 F_S 的每个时钟周期，两个寄存器（例如，或寄存器 506 和 508，或寄存器 510 和 512）中的 13 位值用作查阅表地址，以便从两个 8 千字节 ROM 的存储器 206 中检索数据。因此，对于数据流中每个符号，给每个移位寄存器中存储的每个位集合完成 2^5 或 32 次不同的表查找。 A6 位硬连线的或高或低保证正确的数据被检索，其中位 A6 高对应于利用偶符号公式（ 16 ）的预计算值，位 A6 低对应于利用奇符号公式（ 25 ）和（ 26 ）的预计算值。

然后，按照公式（ 30 ）和（ 31 ）由加法器 514 - 520 对从查阅表中检索的值进行组合，以产生样本发生器 204 的输出 DI 和 DQ。

图 5 的电路 500 只是本发明的一个可能的硬件实施办法，用于特定的 32 样本/符号的附加取样率和 FIR 滤波器中特定的系数。对于这种附加取样率和 FIR 滤波器，其他的硬件实施办法也是可能的。此外，本发明可以用软件或软件与硬件的组合来实现。而且，对于其

他的 FIR 滤波器以及包括以样本率取样在内的其他取样率，也可以实现本发明。

虽然本发明的描述是在符号流的π/4 – DQPSK 调制范围内，其中每个符号对应于一个双位，专业人员明白，本发明可应用于基于相位不是π/4 – DQPSK 的调制方案和/或不是 2 位符号的符号流。

还应当明白，在不偏离以下权利要求书表示的原理和范围条件下，专业人员可以对为了描述和说明本发明性质的细节，材料，和部件安排作各种变化。

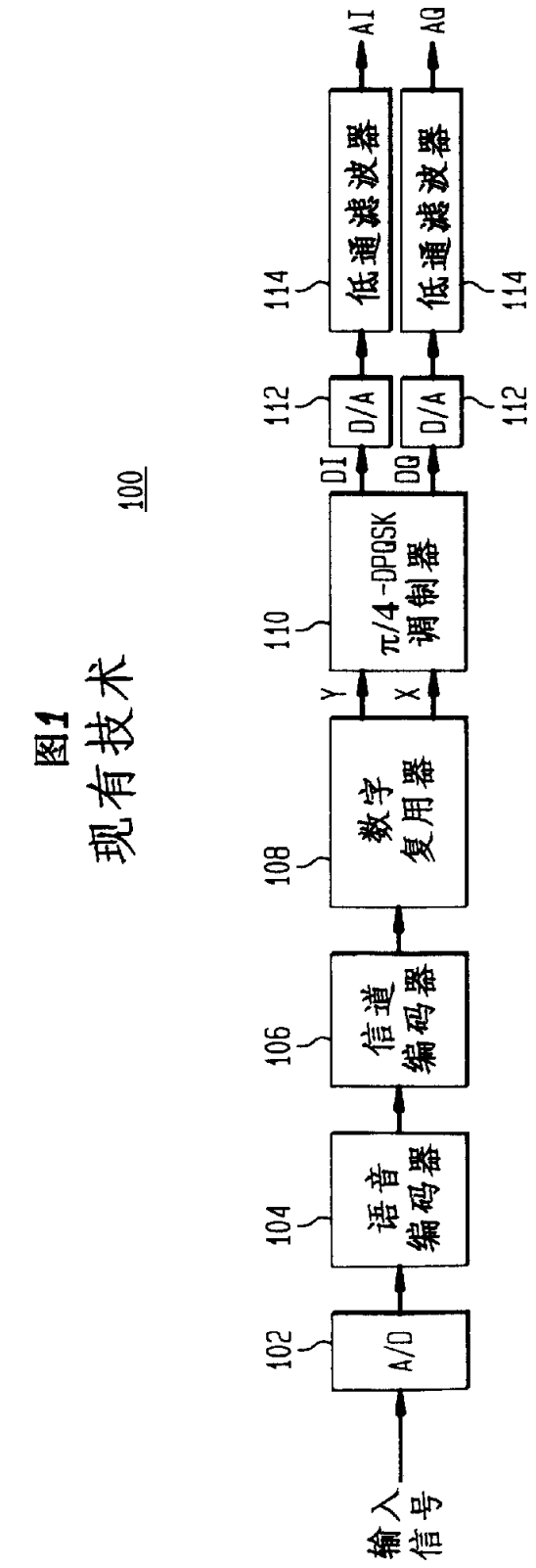

输入信号
A/D
102
语音编码器
104
信道编码器
106
数字复用器
108
π/4-DPQSK调制器
110
Y
X
DI
DQ
D/A
112
D/A
112
低通滤波器
114
低通滤波器
114
AI
AQ

图1
现有技术

100

图2

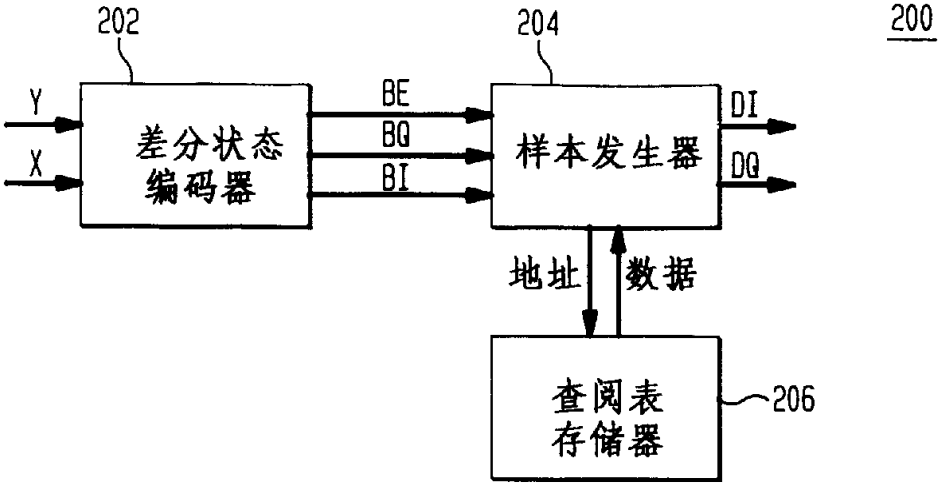

200
202
204
Y
X
差分状态
编码器
BE
BQ
BI
样本发生器
DI
DQ
地址
数据
查阅表
存储器
206

图3

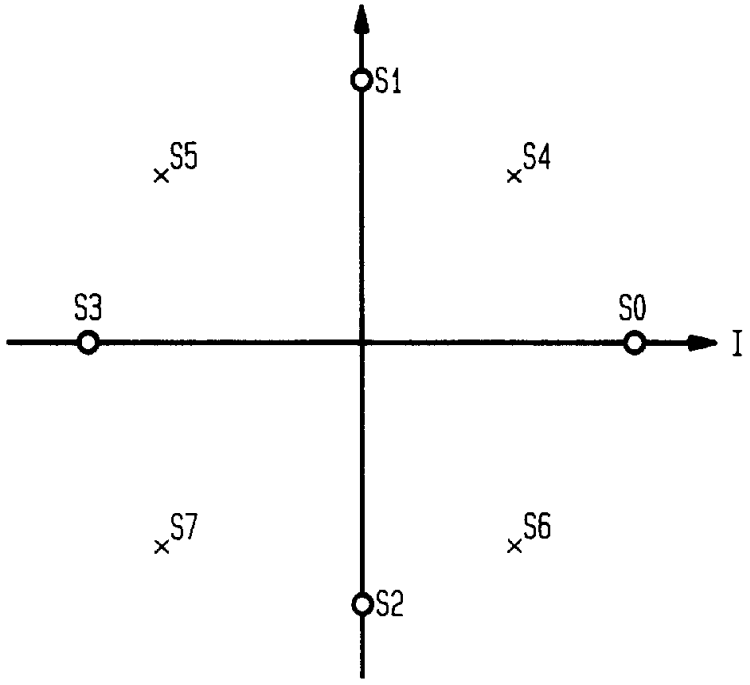

S1
S5
S4
S3
S0
I
S7
S6
S2

图 4

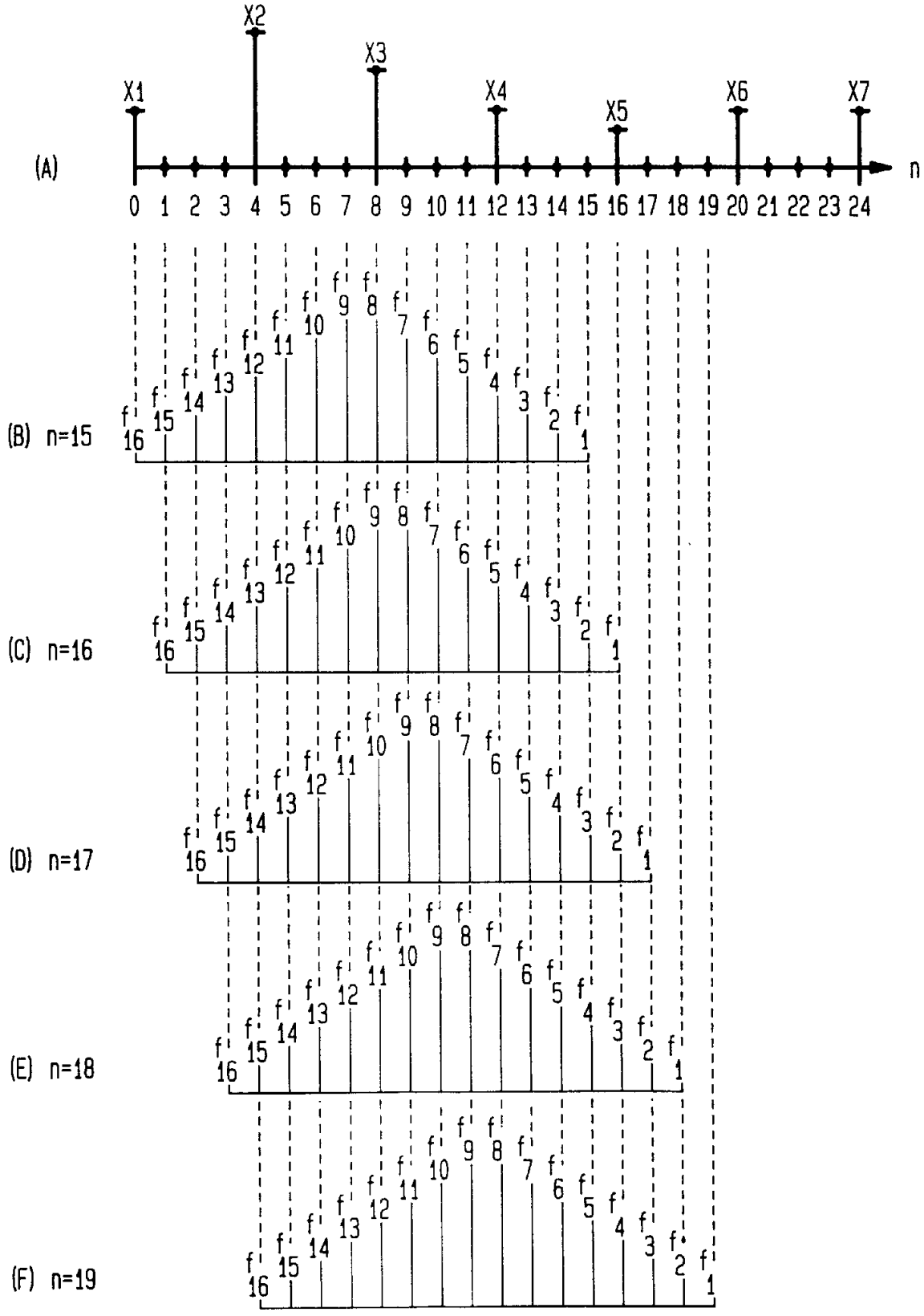
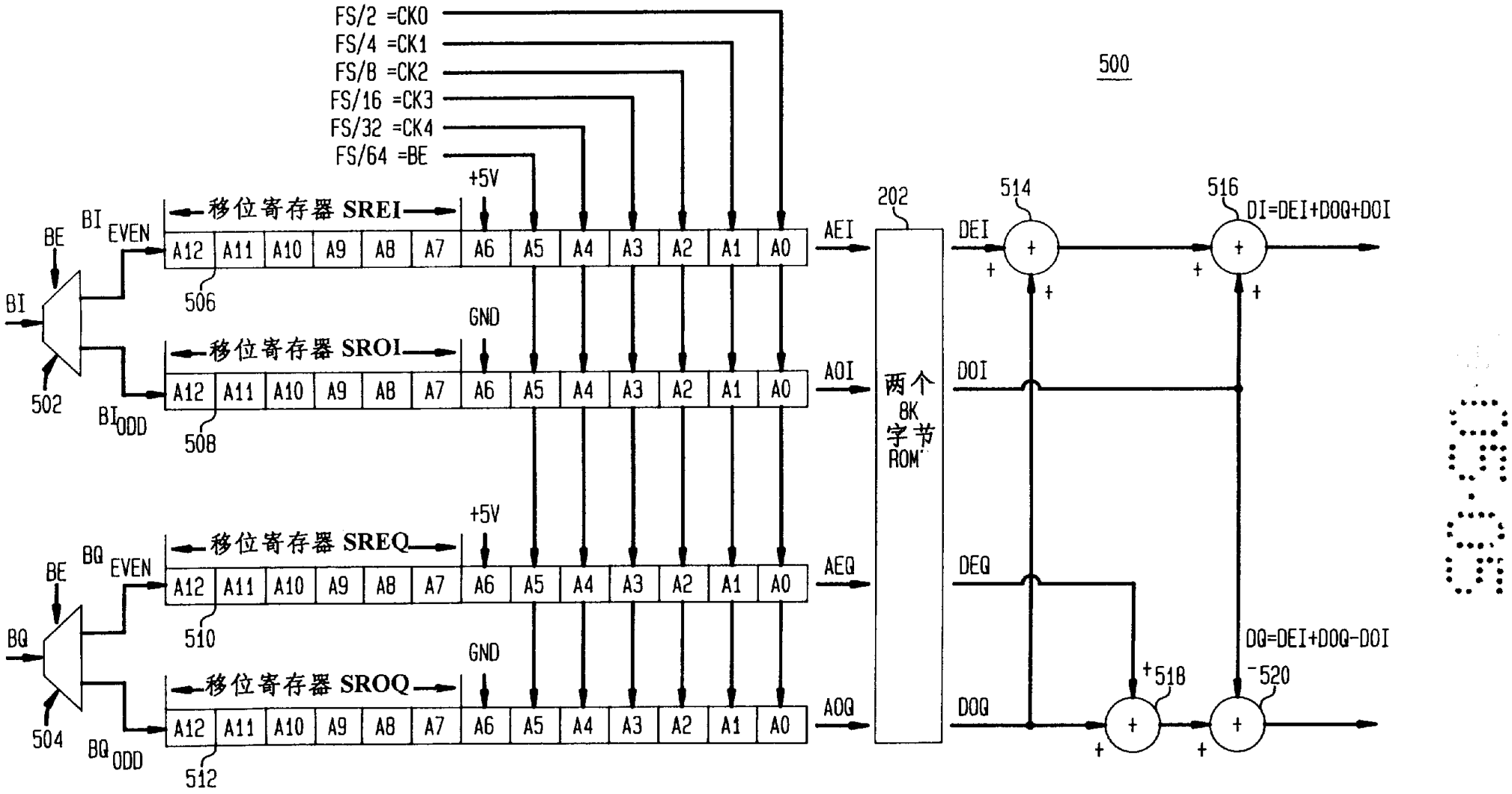

(A)
X1
X2
X3
X4
X5
X6
X7
n
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
(B) n=15
(C) n=16
(D) n=17
(E) n=18
(F) n=19
f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 f10 f11 f12 f13 f14 f15 f16

图5


500
FS/2 =CK0
FS/4 =CK1
FS/8 =CK2
FS/16 =CK3
FS/32 =CK4
FS/64 =BE
+5V
GND
移位寄存器 SREI
移位寄存器 SROI
移位寄存器 SREQ
移位寄存器 SROQ
BE
BI
BI EVEN
BI ODD
BQ
BQ EVEN
BQ ODD
A12 A11 A10 A9 A8 A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0
502
504
506
508
510
512
AEI
AOI
AEQ
AOQ
202
两个 8K 字节 ROM
DEI
DOI
DEQ
DOQ
514
516
518
520
DI=DEI+DOQ+DOI
DQ=DEI+DOQ-DOI