

부호 분할 다중화 통신 시스템을 위한
다중 루프 주파수 합성기에서의
주파수 분주 정수에 관한 분석

◦ 김 도 옥 · 한 영 령 *
한양대학교 공과대학 전자통신공학과

A Analysis of Frequency Divider Ratio
in N-Loop Frequency Synthesizer
for CDMA Communication System

◦ Kim Do Wook Han young yeonl *
Dept. of Electronic Communication Engineering, Han-Yang Univ.

* ABSTRACT

For code division multiple access, A frequency synthesizer of elementary components is necessary the system application of frequency hopped spread spectrum communication.

This paper proposes the model of N-Loop frequency synthesizer to be adapted for generating the output frequency resulted in the frequency hopped pattern and to be easy in practical application of the system.

It was analysed how the frequency divider ratio distribute, what the method to decide frequency divider ratio is and what relationship bandwidth of BPF and degree of multiple have is also analysed in order to hop the desired frequency output.

1. 序 論

Digital 주파수 합성기(Frequency Synthesizer)의 출력 주파수(Frequency Output)는 Accumulator의 입력의 변화에 따라 원하는 출력으로 신속히 변화하며, Direct 주파수 합성기에서도 RF switches가 선택 신호(Selected Signal)를 변화시킴에 따라 한정된 주파수(Definited Frequency)의 출력이 빠르게 변한다. 이에 반해, PLL(Phase Lock Loop) 주파수 합성기의 출력은 분주 수(Divider Number)를 변화시킴으로서 변화하는데, 이 순간에 발생하는 위상 비교기의 오류신호(Error Signal)는 출력 주파수에 변화를 일으키기 때문에 Direct Type이나 Digital Type 주파수 합성기에 비해 원하는 주파수를 출력시키는 시간이 길다.

그러나, 부호 분할 다중화(Code Division Multiple Access : CDMA)를 위한 주파수 도약(Frequency Hopping)통신 방식을 이용한 이동 통신(Mobile Communication)에서는 UHF 대의 주파수를 빠른 속도로 도약시켜야 하며, 많은 사용자에게 이미 결정된 주파수 도약 형태에 따라 빠르게 도약시키는데 적합해야 한다. 따라서 이에 적합한 PLL 주파수 합성기의 특성을 살리면서, 다른 유형의 주파수 합성기 만큼의 주파수 출력 속도를 얻을수 있는 N-Loop PLL 주파수 합성기의 Model을 제시하고,

이에 따르는 UHF 대의 주파수를 출력시키는데 필요한 분주기에서의 분주 정수의 분포와 임의의 두 기준 주파수를 선택했을 경우 주파수 도약 형태에 따른 분주 정수의 결정 방법을 제시하였다.

2. Phase Lock Loop 周波數 合成器의 原理

PLL 주파수 합성기는 Locked된 상태에서 위상 비교기(Phase Detector)에 들어오는 기준 주파수(Reference Frequency)와 출력 주파수(Frequency Output)를 주파수 분주 정수(Frequency Divider Ratio)로 나눈 주파수의 입력은 Constant Phase Relationship을 갖으므로 동일한 주파수를 갖게된다. 따라서, 출력 주파수는 기준 주파수와 주파수 분주 정수의 곱으로 출력된다.

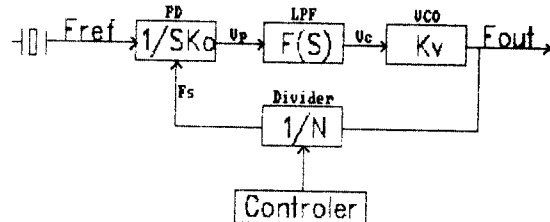


그림 2-1 PLL 주파수 합성기의 Block 도 위의 관계를 수학적으로 표시하면 다음과 같다. 출력 주파수(Fout)는 주파수 분주 정수(N)로 나누어져, 위상 비교기에 입력되어 기준 주파수와의 차가 얻어지며, 이 차 주파수(Difference Frequency)는 적분되어 위상차(Phase Difference)를 얻는다.

$$\Delta \theta = \int (Fref - Fs) dt = \int (Fref - 1/N Fout) dt$$

또한, 위상 비교기에서 위상은 전압으로 변화하여 출력 전압 Vp을 출력한다.

$$Vp = Ko \int (Fref - 1/N Fout) dt$$

Ko : 위상 비교기의 Ratio of Voltage to Phase
위상비교기 출력 전압은 Loop Filter의 전달 함수(Transfer Function)와 급해져서 VCO의 주파수를 제어하는 주파수 제어 전압(Frequency control Voltage, Vc)이 된다.

$$Vc = Vp f(t)$$

VCO의 Ratio of Frequency to Control Voltage를

Kv라 할때, 주파수 제어 전압은 계수Kv에 의해 주파수로 변화되어 다음과 같은 출력 주파수(Fout)를 발생한다.

$$F_{out} = V_c K_v = V_p f(t) K_v = K_o \int [(F_{ref} - 1/N F_{out}) dt] f(t) K_v$$

___인 부분을 Laplace Form 으로 나타내면,
 $\int (F_{ref} - 1/N F_{out}) dt \leftrightarrow 1/s (F_{ref}(s) - 1/N F_{out}(s))$
 그러므로,

$F_{out}(s) = K_o [1/s (F_{ref}(s) - 1/N F_{out}(s))] F(s) K_v$
 이를 전개하면, PLL 주파수 합성기(그림 2-1)의 폐루프 전달함수 (Closed Loop Transfer Function)는 다음과 같다.

$$\frac{F_{out}(s)}{F_{ref}(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)h(s)}, \quad G(s) = 1/s K_o K_v F(s), \quad H(s) = 1/N$$

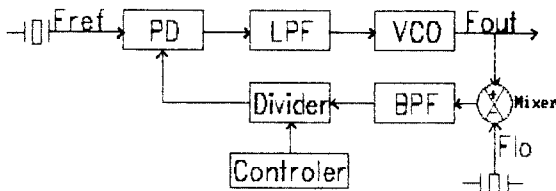


그림 2-2 변형된 PLL 주파수 합성기의 Block 도
 기준 주파수가 높으면 높을수록 Loop이 Locked 되는 시간이 빨라진다. 즉 기준 주파수와 출력 주파수와의 차가 작을수록 다른 방식의 주파수 합성기에서 얻을 수 있는 응답 속도 만큼 빠르게 주파수를 출력할 수 있는 Speed of Lock 을 얻을 수 있다.

그러나, 실제 System의 구현 (Application)에 있어서 UHF 대의 주파수를 발생할때 분주기와 위상 비교기의 성능이 떨어져 주파수 도약 통신 방식의 System을 구현하기가 어렵다.

따라서, 그림 2-1 과 Loop의 기본적인 구성 요소가 같고 높은 출력 주파수를 발생시킬 수 있으며 빠른 Speed of Lock 을 갖는 주파수 합성기를 그림 2-2와 같이 혼합기(Mixer)와 BPF(Band Pass Filter)를 추가하여 구성함으로써 PLL 주파수 합성기의 이점을 살린 주파수 도약 통신 방식에 적합한 System의 구현이 용이해진다.

여기서, 위에서 기술한 특성을 얻을 수 있는 N-Loop PLL 주파수 합성기의 계통도 (Block Diagram)를 제시하면 그림 2-3과 같다.

3. N-LOOP 周波數 合成器 에서의 分周 正數 상의 校正

그림 2-3 의 N-Loop 주파수 합성기에서 각 Loop 의 각각의 기준 주파수를 Fref1, Fref2, Fref3, ..., Frefn-1, Frefn, 각 Loop의 주파수 분주 정수를 N1, N2, N3, N4, ..., Nn-1, Nn. 이라 할때,

정리 1) N-Loop 주파수 합성기의 출력 주파수(Fout)는 다음과 같이 결정 된다.

$$F_{out} = \frac{N_1 \times F_{ref1} + N_2 \times F_{ref2} + \dots + N_{n-1} \times F_{refn-1} + N_n \times F_{refn}}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

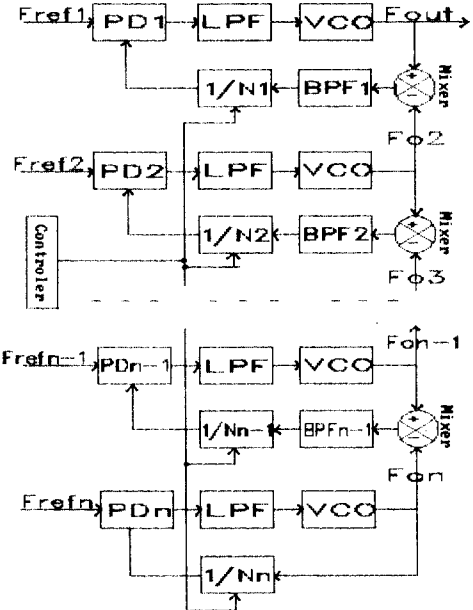


그림 2-3 N-loop 주파수 합성기의 계통도

증명) 그림 2-3 에서, Loop 1 로 부터,

$$F_{ref1} = 1/N_1 (F_{out} - F_{o2})$$

$$N_1 \times F_{ref1} = F_{out} - F_{o2}$$

$$F_{out} = N_1 \times F_{ref1} + F_{o2} \quad \dots (1)$$

Loop 2 로 부터, 마찬가지로 풀면,

$$F_{o2} = N_2 \times F_{ref2} + F_{o3} \quad \dots (2)$$

Loop 3 으로부터,

$$F_{o3} = N_3 \times F_{ref3} + F_{o4} \quad \dots (3)$$

Loop n-1로 부터,

$$F_{on-1} = N_{n-1} \times F_{refn-1} + F_{on} \quad \dots (n-1)$$

Loop n 으로부터,

$$F_{on} = N_n \times F_{refn} \quad \dots (n)$$

식(2),(3),..., (n-1),(n) 을 차례로 식(1)에 대입하면,

$$F_{out} = \frac{N_1 \times F_{ref1} + N_2 \times F_{ref2} + \dots + N_{n-1} \times F_{refn-1} + N_n \times F_{refn}}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

정리 2) 기준 주파수 Fref1, Fref2, ..., Frefn-1, Frefn(단, Fref1 > Fref2 > Fref3 > ... > Frefn-1 > Frefn)들의 최대 공약수를 GCM 이라 할때, Fi = Frefi/GCM, (i=1,2,3,..., n-1,n) 이라 하면, N-Loop 주파수 합성기에서, 일정한 출력 주파수에 대한 분주 정수쌍 N=(N1, N2, N3, ..., Nn-1, Nn)이 결정되면, 동일한 주파수를 발생시키는 정수 쌍은 다음과 같은 n-1 개의 유형으로 분포하며 각 유형 m (m=1,2,...,n-1)에는 nCm+1 개의 Group 이 존재한다.

유형1) 일정한 출력 주파수에 대한 분주 정수쌍 N(N1, N2, N3, ..., Nn-1, Nn) 중 임의의 두 정수(Ni, Nj)를 선택하고 나머지 정수들을 고정했을 때, 동일한 주파수를 발생시키는 정수쌍에는 nC2 개의

정리3 에서, 유형2 의 출력 주파수와 유형1 의 출력 주파수의 차가 유형1 의 기준 주파수 차의 정수 배가 되게 하기 위해서는 기준 주파수를 다음과같이 결정해야 한다.

$$Frefi = k \times df, i=1,2,\dots,n-1,n, k=정수$$

$$df = \text{channel spacing 을 위한 유형1 에서의 주파수 차}$$

기준 주파수가 위와같이 정해지고 분주 정수값들을 주기적으로 변화시키면 BPF 의 대어목을 작고 일정하게 유지하면서 원하는 주파수로 출력을 제어할수있다.

증명) 유형1 의 경우,

$$F_{out} = N_1 \times Fref1 + N_2 \times Fref2 + \dots + N_{n-1} \times Fref_{n-1} + N_n \times Fref_n \text{ 일때, 출력 주파수가 } (Frefi - Frefj), [1 \leq (i < j) \leq n] \text{ 만큼 증가하면,}$$

$$F_{out} + (Frefi - Frefj) = N_1 \times fref1 + N_2 \times Fref2 + \dots + N_{n-1} \times Fref_{n-1} + N_n \times Fref_n + (Frefi - Frefj)$$

$$= \dots + (Ni+1) \times Frefi + \dots + (Nj-1) \times Frefj + \dots$$

유형2 의 경우,

$$F_{out} = N_1 \times Fref1 + N_2 \times Fref2 + \dots + N_{n-1} \times Fref_{n-1} + N_n \times Fref_n \text{ 일때, 출력 주파수가 } Frefi, (i=1,2,\dots, n-1,n) \text{ 만큼 증가하면,}$$

$$F_{out} + Frefi = N_1 \times fref1 + N_2 \times Fref2 + \dots + N_{n-1} \times Fref_{n-1} + N_n \times Fref_n + Frefi$$

$$= \dots + (Ni+1) \times Frefi + \dots$$

4. Frequency Divider Ratio 와

BPF의 대어목과의 관계

그림 2-3에서, i 번째 Loop의 BPF 의 대어목을 $W_i, (i=1,2,\dots,n-2,n-1)$ 라 할때 정리4)N-Loop 주파수 합성기에서 결정된 주파수 도약 형태에 따라 주파수 분주 정수가 변화할 때, BPF 의 대어목의 변화는 다음과 같다.

$$W_i = Frefi \times [N_{i \max} - N_{i \min}], i=1,2,\dots,n-1$$

W_i = i 번째 Loop의 BPF 의 대어목

$[N_{i \max} - N_{i \min}]$ = i 번째 Loop의 주파수 분주 정수가 갖는 최대 정수값과 최소 정수값의 차

증명) $W_i, (i=1,2,\dots,n-2,n-1)$ 을 i Loop의 BPF 의 대어목이라 할때, Loop1 에서,

$$W_1 = (F_{out} - F_{o2})_{\max} - (F_{out} - f_{o2})_{\min} \dots (1)$$

정리1 로 부터,

$$F_{out} = N_1 \times Fref1 + N_2 \times Fref2 + \dots + N_{n-1} \times Fref_{n-1} + N_n \times Fref_n \dots (2)$$

$$F_{o2} = N_2 \times Fref2 + N_3 \times fref3 + \dots + N_{n-1} \times Fref_{n-1} + N_n \times Fref_n \dots (3)$$

식(2),(3) 을 식(1) 에 대입 하면,

$$W_1 = (N_1 \times Fref1)_{\max} - (N_1 \times Fref1)_{\min}$$

$Fref1$ 은 고정된 값이므로,

$$W_1 = Fref1 \times [N_{1 \max} - N_{1 \min}]$$

마찬가지로, Loop2 에서,

$$W_2 = (N_2 \times Fref2)_{\max} - (N_2 \times Fref2)_{\min}$$

$$= Fref2 \times [N_{2 \max} - N_{2 \min}]$$

...

Loop n-1 에서,

$$W_{n-1} = (N_{n-1} \times Fref_{n-1})_{\max} - (N_{n-1} \times Fref_{n-1})_{\min}$$

$$= Fref_{n-1} \times [N_{n-1 \max} - N_{n-1 \min}]$$

정리4 에서 주파수대의 출력 주파수를 출력할 때 Loop수가 증가 할수록 기준 주파수는 작아지며, 주파수 분주 정수의 최대 정수값과 최소 정수값의 차는 작아진다. 따라서, 전체 Loop 의 대어목은 평균적으로 작아짐을 알수있다.

또한, 분주 정수값을 주기적으로 변화시켜 원하는 주파수를 발생시키면 더욱작고 일정한 BPF 의 대어목을 갖는 주파수 합성기를 구현할수있다.

5. 結 論

N-Loop PLL 주파수 합성기에서, 임의의 두 주파수 차를 Channel Space 로 하는 주파수 출력은 분주 정수쌍 N 의 값에 따라 결정된다.

이동 통신에 적용할수 있는 주파수 도약 통신 방식에서는 각 사용자 마다정해지는 Address 값이 주어지면 유한체 번지 방식 ($Y_m = X_m B + M I$)에 의해 주파수가 빠르게 도약해야 한다.

이렇게 도약하는 주파수 형태를 Micro-Processor 를 이용하여 분주 정수쌍(N) 을 제어함으로써 PLL 주파수 합성기를 이용한 주파수 도약 통신System 을 구성할수 있으며 원하는 System 성능에 적합한 다중도를 선택하고 분주 정수들을 반복적으로 변화하도록 결정해 줌으로서 BPF 의 대어목을 최소로 줄일수 있어 System 구현이 더욱

앞으로 N-Loop 주파수 합성기에 대한 분주 정수들의 효율적인 Data값의 결정 방법과 다중도에 따른 Speed of Lock 의 변화 정도가 Simulation을 통해

6. 參 考 文 獻

- 1) W.C.Lindsey and M.K.Simon, "Phase Locked Loops and Their Application" --IEEE Press, 1975.
- 2) V.Manassewitch, "Frequency Synthesis Theory and Design", --John Willey & Sons,inc.,1976.
- 3) J. Groski Popiel, "Frequency Synthesis Techniques and Application", -- IEEE Press, 1975.
- 4) D.G.Messerschmitt, "A New PLL Frequency Synthesis Structure", --IEEE Trans. on Comm., Vol 1 Com-26, No.8 pp1195-1200 ,Aug. 1978.
- 5) F.M. Gardner, "Phase Lock Techniques" -- John Willey & Sons,Inc.,1979.
- 6) W.F.Egan, "Frequency Synthesis by Phase Lock", -- John Willey & Sons, Ins., 1981.
- 7) U.L.Rohde, "Digital PLL Frequency Synthesizer Theory & Design", --Prentice Hall Inc., 1983.
- 8) R.C.Dixon, "Spread Spectrum Systems" -- John Willey & Sons,Inc.,1984.
- 9) M.K.Simon, J.K.Omura, R.A.Scholtz, and B.K.Levitt,

Table 1 정리2의 유형

유형 4	선택된 점수 group 수 점수 점수항 의 배열	$N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}, N_{a4}, N_{a5}, [1 \leq (a1 < a2 < a3 < a4 < a5) \leq n]$ $n \leq 5$ $\dots, N_{a1} + \{3Fa2 + Fa3 - Fa4 - 3Fa5\}, \dots, N_{a2} + \{3Fa3 + Fa4 - Fa5 - 3Fa1\},$ $\dots, N_{a3} + \{3Fa4 + Fa5 - Fa1 - 3Fa2\}, \dots, N_{a4} + \{3Fa5 + Fa1 - Fa2 - 3Fa3\},$ $\dots, N_{a5} + \{3Fa1 + Fa2 - Fa3 - 3Fa4\}, \dots$
유형 5	선택된 점수 group 수 점수 점수항 의 배열	$N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}, N_{a4}, N_{a5}, N_{a6}, [1 \leq (a1 < a2 < a3 < a4 < a5 < a6) \leq n]$ $n \leq 6$ $\dots, N_{a1} + \{2Fa2 + Fa3 - Fa5 - 2Fa6\}, \dots, N_{a2} + \{2Fa3 + Fa4 - Fa6 - 2Fa1\},$ $\dots, N_{a3} + \{2Fa4 + Fa5 - Fa1 - 2Fa2\}, \dots, N_{a4} + \{2Fa5 + Fa6 - Fa2 - 2Fa3\},$ $\dots, N_{a5} + \{2Fa6 + Fa1 - Fa3 - 2Fa4\}, \dots, N_{a6} + \{2Fa1 + Fa2 - Fa4 - 2Fa5\},$ \dots
유형 6	선택된 점수 group 수 점수 점수항 의 배열	$N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}, N_{a4}, N_{a5}, N_{a6}, N_{a7}, [1 \leq (a1 < a2 < a3 < a4 < a5 < a6 < a7) \leq n]$ $n \leq 7$ $N_{a1} + \{5Fa2 + 3Fa3 + Fa4 - Fa5 - 3Fa6 - 5Fa7\}, \dots, N_{a2} + \{5Fa3 + 3Fa4 +$ $Fa5 - Fa6 - 3Fa7 - 5Fa1\}, \dots, N_{a3} + \{5Fa4 + 3Fa5 + Fa6 - Fa7 - 3Fa1 - 5Fa2\}, \dots, N_{a4} + \{5Fa5 +$ $3Fa6 + Fa7 - Fa1 - 3Fa2 - 5Fa3\}, \dots, N_{a5} + \{5Fa6 + 3Fa7 + Fa1 - Fa2 - 3Fa3 - 5Fa4\}, \dots, N_{a6} +$ $\{5Fa7 + 3Fa1 + Fa2 - Fa3 - 3Fa4 - 5Fa5\}, \dots, N_{a7} + \{5Fa1 + 3Fa2 + Fa3 - Fa4 - 3Fa5 - 5Fa6\}, \dots$
유형 7	선택된 점수 group 수 점수 점수항 의 배열	$N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}, N_{a4}, N_{a5}, N_{a6}, N_{a7}, N_{a8}, [1 \leq (a1 < a2 < \dots < a7 < a8) \leq n]$ $n \leq 8$ $N_{a1} + \{3Fa2 + 2Fa3 + Fa4 - Fa6 - 2Fa7 - 3Fa8\}, \dots, N_{a2} + \{3Fa3 + 2Fa4 +$ $Fa5 - Fa7 - 2Fa8 - 3Fa1\}, \dots, N_{a3} + \{3Fa4 + 2Fa5 + Fa6 - Fa8 - 2Fa1 - 3Fa2\}, \dots, N_{a4} + \{3Fa5 +$ $2Fa6 + Fa7 - Fa1 - 2Fa2 - 3Fa3\}, \dots, N_{a5} + \{3Fa6 + 2Fa7 + Fa8 - Fa2 - 2Fa3 - 3Fa4\}, \dots, N_{a6} +$ $\{3Fa7 + 2Fa8 + Fa1 - Fa3 - 2Fa4 - 3Fa5\}, \dots, N_{a7} + \{3Fa8 + 2Fa1 + Fa2 - Fa4 - 2Fa5 - 3Fa6\}, \dots$ $, N_{a8} + \{3Fa1 + 2Fa2 + Fa3 - Fa5 - 2Fa6 - 3Fa7\}, \dots$
...
유형 e	선택된 점수 group 수 점수 점수항 의 배열	$N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}, \dots, N_{ae-1}, N_{ae}, N_{ae+1}, [1 \leq (a1 < a2 < \dots < ae < ae+1) \leq n]$ $n \leq e+1$ $\dots, N_{a1} + \{(e-1)Fa2 + (e-3)Fa3 + (e-5)Fa4 + \dots + 5Fam-2 + 3Fam-1 + Fam$ $- Fam+1 - 3Fam+2 - 5Fam+3 - \dots - (e-5)Fae-1 - (e-3)Fae - (e-1)Fae+1\},$ $\dots, N_{a2} + \{(e-1)Fa3 + (e-3)Fa4 + (e-5)Fa5 + \dots + 5Fam-1 + 3Fam + Fam+1 - Fam+2 - 3Fam+3 -$ $5Fam+4 - \dots - (e-5)Fae - (e-3)Fae+1 - (e-1)Fae+1\}, \dots, \dots, N_{ae} + \{(e-1)Fae+1 +$ $(e-3)Fae+1 + (e-5)Fa2 + \dots + 5Fam-4 + 3Fam-3 + Fam-2 - Fam-1 - 3Fam - 5Fam+1 - \dots$ $- (e-5)Fae-3 - (e-3)Fae-2 - (e-1)Fae-1\}, \dots, N_{ae+1} + \{(e-1)Fae+1 + (e-3)Fae+2 + (e-5)Fa3$ $+ \dots + 5Fam-3 + 3Fam-2 + Fam-1 - Fam-3Fam+1 - 5Fam+2 - \dots - (e-5)Fae-2 - (e-3)Fae-1$ $- (e-1)Fae\}, \dots$
유형 o	선택된 점수 group 수 점수 점수항 의 배열	$N_{a1}, N_{a2}, N_{a3}, \dots, N_{ao-1}, N_{ao}, N_{ao+1}, [1 \leq (a1 < a2 < \dots < ao < ao+1) \leq n]$ $n \leq o+1$ $\dots, N_{a1} + \{mFa2 + (m-1)Fa3 + (m-2)Fa4 + \dots + 3Fam-1 + 2Fam + Fam+1 -$ $m(o-1)/2 - Fam+3 - 2Fam+4 - 3Fam+5 - \dots - (m-2)Fao-1 - (m-1)Fao - mFao+1\}, \dots,$ $N_{a2} + \{mFa3 + (m-1)Fa4 + (m-2)Fa5 + \dots + 3Fam+2Fam+1 + Fam+2 - Fam+4 - 2Fam+5 - 3Fam+6 -$ $\dots - (m-2)Fao - (m-1)Fao+1 - mFao\}, \dots, \dots, N_{ao} + \{mFao+1 + (m-1)Fao+1 +$ $(m-2)Fao+2 + \dots + 3Fam-3 + 2Fam-2 + Fam-1 - Fam+1 - 2Fam+2 - 3Fam+3 - \dots - (m-2)Fao-3 -$ $(m-1)Fao-2 - mFao-1\}, \dots, N_{ao+1} + \{mFao+1 + (m-1)Fao+2 + (m-2)Fao+3 + \dots + 3Fam-2 + 2Fam-1 +$ $Fam - Fam+2Fam+3 - 3Fam+4 + \dots + (m-2)Fao-2 - (m-1)Fao-1 - mFao\}, \dots$