

PN부호와 대역확산통신

한영열

한양대학교 교수

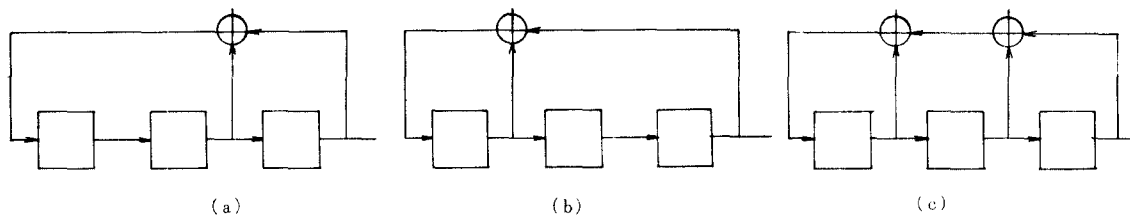
본 소고에는 PN부호와 대역확산통신의 기본적인 관계를 설명하고 PN부호가 대역확산통신에 어떻게 사용하는가를 상술한다. 먼저 PN부호의 발생방법과 PN부호가 가지고 있는 특성을 설명하고 PN부호를 가지고 주파수도약을 위해 주파수합성기를 어떻게 구성하는가를 설명한다. 끝으로 간단한 대역확산통신방식과 PN부호 관계를 연결지어 논하기로 한다.

1. PN부호 발생기

PN(pseudo-noise)부호는 인위적으로는 발생시킬 수 있는 주기를 가진 2진부호로 잡음과 유사한 특성을 가지고 있다. 백색가우스 잡음을 생각할 때 이의 자기상관함수가 $R(z) = \frac{N_0}{2} \delta(z)$ 이며 N_0 는 +주파수의 전력스펙트럼밀도이다. PN부호도 가우스잡음과 유사하여 자기상관함

수가 지연이 0일 때 $R(0) = 1$ 이 되며 그 위에 자기상관함수의 값이 $-\frac{1}{N}$ 로 N 이 크다고 가정하면 거의 0에 가까워진다. 여기서 N 은 PN부호의 주기를 말하고 있다. PN부호는 백색가우스잡음과 같이 넓은 대역폭을 가지고 있으며 지연소자인 시프트 레지스터(shift register)를 사용하여 발생시킨 시프트 레지스터 계열(sequence)의 일종이다.

시프트 레지스터계열은 선형 시프트 레지스터계열과 비선형 시프트 레지스터 계열로 구별하는데 선형 시프트 레지스터 계열은 지연소자인 시프트 레지스터와 2원가산기(modulo 2 adder)를 사용하여 발생시킨 부호로 PN부호는 선형시프트레지스터 계열의 일종이다. 비선형 시프트 레지스터 계열은 지연소자와 2원가산기 이외에 다른 연산소자나 논리회로를 사용하여 발생시킨 부호로 수학적 해석이 매우 복잡하다. 또한 PN부호는 최장부호(Maximal code)라 부르는데 선형 시프트 레지스터 계열에서 주기가 가장 긴 부호는 n 개의 시프트 레지스터를 사용



〈그림 1〉 선형 시프트레지스터 계열 발생기
Linear shift-register sequence generator

할 때 최장주기는 $2^n - 1$ 이 된다.

예로 3개의 시프트 레지스터를 사용한 선형 시프트 레지스터 계열 발생기를 그림 1에 보여주고 있다.

⊕는 2원가산기이며 □는 지연소자인 시프트 레지스터를 나타내고 있다. 3개의 시프트 레지스터를 사용한 선형 시프트 레지스터 계열 발생기의 연결방법은 그림 1과 같이 3가지 방법이 있으나 그림 1의 (a)와 (b)는 PN부호발생기이나 (c)는 PN부호를 발생시키지 않는다. 각 시프트 레지스터의 초기상태는 모두 0인 경우를 제외한 임의의 상태가 될 수 있고, 출력부호는 각 시프트 레지스터 계열 발생기의 오른쪽 시프트 레지스터에서 나오고 있다. 3개의 선형 시프트 레지스터 계열 발생기를 사용하여 각 시프트 레지스터의 초기상태를 1 1 1이라 가정하고 출력을 뽑아 보면 다음과 같다. 그림 1의 (a)에서 시프트 레지스터의 내용들이 오른쪽 시프트 레지스터로 옮기면서 제1 시프트 레지스터의 내용이 제2 시프트 레지스터의 내용으로, 제2의 시프트 레지스터의 내용이 제3 시프트 레지스터 내용으로 되고, 제3 시프트 레지스터의 내용은 출력으로 나오며 제1 시프트 레지스터의 내용은 제2 시프트 레지스터 내용과 제3 시프트 레지스터 내용이 2원 가산한 값이 된다. 2원 가산법은 $1 \oplus 1 = 0$, $1 \oplus 0 = 1$, $0 \oplus 1 = 1$, $0 \oplus 0 = 0$ 으로 캐리(carry)가 없는 가산과 같다. 3개의 시프트 레지스터 계열 발생기로부터 각 시프트 레지스터의 초기상태가 1 1 1이라 가정하고 각 시프트 레지스터의 상

(a)

지연소자상태	지연소자상태	지연소자상태
□ □ □ □	□ □ □	□ □ □
초기상태 1 1 1	출력 1 1 1	출력 1 1 1
0 1 1	1	0 1 1 1
0 0 1	1	1 0 1 1
1 0 0	1	0 1 0 1
0 1 0	0	0 0 1 0
1 0 1	0	1 0 0 1
1 1 0	1	1 1 0 0
1 1 1	0	1 1 1 0

<그림 2> 선형 시프트 레지스터 계열 발생기 출력

Linear shift-register sequence
generator output

태와 출력에서 나온 부호를 알아보면 다음과 같다.

위에서 보는 바와 같이 시프트 레지스터 계열 발생기(a)의 출력은 (1 1 1 0 0 1 0)으로 주기 7을 가지고 다시 되풀이 되며, 시프트 레지스터 계열 발생기(b)의 출력부호는 (1 1 1 0 1 0 0)으로 마찬가지로 주기 7을 가지고 되풀이 되나 PN부호 발생기(a)에서 발생한 PN부호와 PN부호 발생기(b)에서 발생한 PN부호는 배열이 다르다. 시프트 레지스터 계열 발생기(c)는 초기상태가 1 1 1일 때는 계열출력은 1만이 나타나게 된다. 여기서 아는 바와 같이 3개의 시프트 레지스터를 자유롭게 연결한다 하여 PN부호발생기가 되는 것이 아님을 알 수 있다. PN부호 발생장치에서도 각 시프트 레지스터의 초기상태가 0이면 출력에는 0만이 나오게 되므로 PN부호를 발생시키려면 각 시프트 레지스터의 상태가 0이 되지 않아야 한다. PN부호 발생기의 시프트 레지스터의 상태를 보면 (0 0 0)을 제외한 모든 상태가 한번씩 나타나남을 알 수 있다. 즉 십진수로 1에서부터 7까지의 수가 시프트 레지스터의 상태로 나타나고 있다. 4개의 시프트 레지스터를 사용한 PN부호 발생기에도 PN부호를 발생할 수 있는 연결방법이 결정되어 있으며 2단 PN부호 발생기에서 6단 PN부호 발생기의 연결방법을 표시하였다.

단수	부호주기	PN부호발생기 연결방법
2	3	(2,1)
3	7	(3,1)
4	15	(4,1)
5	31	(5,2) (5,4,3,2) (5,4,2,1)
6	63	(6,1) (6,5,2,1) (6,5,3,2)

<그림 3> PN부호발생기연결법

PN code generator connection

우리가 예로든 그림 1의 (a)는 (3,1)연결로 새 3 시프트 레지스터와 제 1 시프트 레지스터의 출력을 2원 가산기로 더한 것이다.

(3,1)연결방법에서 알 수 있듯이 처음 숫자 3은 시프트 레지스터의 단수로 마지막 시프트 레

지스터는 항상 귀환됨을 의미하고 있다. PN부호 발생기의 연결법에서 알 수 있듯이 2원 가산기에 더해지는 탭(tap)수는 우수인데, 만일 시프트 레지스터의 초기상태가 1이고, 탭의 수가 기수이면 제 1 시프트 레지스터에 들어가는 2진수가 항상 1이 되기 때문에 PN부호발생기는 우수의 귀환탐을 가지고 있다. 그림 1의 (b)의 연결방법은 (3,2)가 되는데 그림 1에는 표시하지 않았으나 일반적으로 (n, p, q, r...) 일 때 이와 대응되는 연결방법은 (n, n-p, n-q, n-r, ...)로 이것 또한 PN부호 발생기로 3단시프트 레지스터를 사용한 PN부호 발생기(3, 1)에 대응되는 것은 (3, 3-1)=(3, 2)가 된다. (3,1)과 (3,2)의 PN부호를 비교하여 보면 (1 1 1 0 1 0 0)과 (1 1 1 0 0 1 0)으로 처음 1 1 1은 같으나 나머지는 서로 반대로 되어 있음을 알 수 있다.

이것은 시프트 레지스터의 초기상태가 1 1 1로 이 초기상태가 전부 출력으로 빠져 나온 다음부터는 서로 반대로 2진수가 나온다.

PN부호는 여러가지 특성이 있으나 다음 3가지의 특이한 특성을 열거할 수 있다.

(1) 2레벨 자기상관함수 특성(2-level autocorrelation property)

(2) 평형특성(Balance property)

(3) 이전가산특성(Shift and add property)

먼저 2레벨 자기상관함수 특이성이란 PN부호를 자기상관함수로 취하면 2개의 값을 가진다. 계열 $\{a_n\}$ 이 주어졌을 때 자기상관함수는 다음과 같이 정의된다.

$$R(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i a_{i+k}, \quad a_i = -1 \text{ 또는 } 1$$

n 은 PN부호의 주기이고 k 는 지연의 수이다. (3,1)연결 방법에 의하여 발생한 PN부호(1 1 1 0 1 0 0)의 자기상관함수를 취하려면 우선 0을 -1로 대치하여 (1 1 1 - 1 1 - 1 - 1)의 자기상관함수를 취한다. $k=0$ 일 때 $R(0) = \frac{1}{7} [1^2 + 1^2 + 1^2 + (-1)^2 + 1^2 + (-1)^2 + (-1)^2] = 1$ 이 되고, $R(1)$ 일 때 (1 1 1 - 1 1 - 1 - 1)과 한번 지연시킨 (1 1 - 1 1 - 1 - 1 1)의 상관함수를 취하면

$$R(1) = \frac{1}{7} (1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1$$

$+ 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1) + (-1) \cdot 1) = \frac{-1}{7}$ 이 된다. 즉 서로 같은 부호를 곱하는 것이 3번 있고 서로 다른 부호로 곱하는 것이 4번있어 일반적으로 $-\frac{1}{n}$ 이 된다.

즉 $R(0)=1$

$$R(k) = -\frac{1}{n} \quad 0 < |k| < n \quad (1)$$

이다. 이 상관함수는 가우스잡음의 자기상관함수를 연상케한다. 그러나 $R(171)=1$ 이 되어 $R(k)$ 는 주기함수임을 알 수 있고, PN부호의 자기상관함수는 1과 $-1/n$ 의 2개의 값을 가지고 있다. 이 자기상관함수 특성은 주기가 n 인 모든 PN부호에 해당한다.

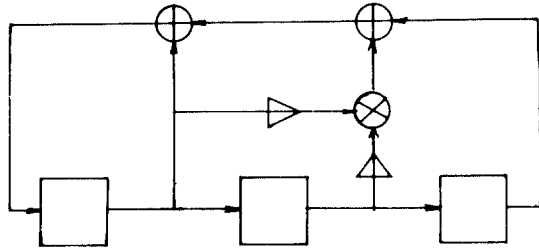
다음은 평형특성으로 이것은 PN부호의 비트의 총수 2^n-1 개중 0의 수가 $2^{n-1}-1$ 이고 1의 수가 2^{n-1} 로 0의 수가 1의 수 보다 항상 1개 적다. 주기 7인 3단시프트 레지스터의 PN부호(1 1 1 0 1 0 0)중에서 1의 수가 4개이며, 0의 수는 3으로 마치 동전을 던져 앞면과 뒷면이 나올 확률이 0.5라면 n 번 던져 0과 1의 수가 비슷하게 나타나는 랜덤수(random number)를 발생하는 것과 유사하다. 1의 수가 하나 더 많은 것은 시프트 레지스터의 상태중 전부 0인 상태가 없는 것으로 부터 유추할 수 있다. 다음 마지막 특성인 이전가산특성은 PN부호의 본래 계열과 이전시킨 계열을 2원가산하여 생긴 계열은 본래 계열을 다른 이전을 시킨 것과 같다는 것이다. 주기 7인 (1 1 1 0 1 0 0)PN부호의 예를 들면

$$\begin{array}{r} \text{본래계열} \quad 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \\ \text{1번이전계열} \oplus \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \\ \\ \text{본래계열} \quad 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \\ \text{2번이전계열} \oplus \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \end{array}$$

(0 0 1 1 1 0 1)계열은 본래계열(1 1 1 0 1 0 0)보다 두번 늦게 나타났으며 계열(0 1 0 0 1 1 1)은 본래 계열보다 4번 늦게 나타나고 있어 본래 계열과 이전시킨 계열을 더하면 다시 본래 계열을 이전시킨 계열이 된다.

n 단 선형 시프트 레지스터 계열에서 발생시킬 수 있는 최대주기가 2^n-1 이었으나 비선형 시프트 레지스터계열 발생기를 사용하면 최대

주기가 될 수 있는 2^n 의 주기를 갖는 계열을 발생시킬 수 있으나 이 부호의 주기는 최대주기인 2^n 이 되고 0의 수와 1의 수가 동일하게 나타날 수 있으나 PN부호의 특성은 가지고 있지 않다. 다음 3단 비선형 시프트 레지스터 계열 발생기를 고찰하여 본다.



〈그림 4〉 주기 2^n 의 3단 시프트 레지스터 계열 발생기
3 stage shift-register sequence generator of period 2^n

—▷—는 부호반전기로 입력이 0이면 출력이 1이고, 입력이 1이면 출력은 0이다. ⊗은 승산장치로 $1 \otimes 1 = 1$, $1 \otimes 0 = 0$, $0 \otimes 1 = 0$, $0 \otimes 0 = 0$ 의 연산을 한다. 각 시프트 레지스터라 초기상태가 1 1 1이면 다음과 같은 각 시프트 레지스터의 상태와 출력을 얻는다.

초기상태	지연소자상태	출력
1 1 1	1 1 1	1
0 1 1	1 0 1	1
1 0 1	0 1 0	1
0 1 0	0 0 1	0
0 0 1	0 0 0	1
1 0 0	1 0 0	0
1 1 0	1 1 0	0
1 1 1	1 1 1	0

〈그림 5〉 비선형 시프트 레지스터 계열 발생기
Nonlinear shift-register sequence generator

출력부호(1 1 1 0 1 0 0 0)은 주기8을 가지고 시프트 레지스터의 상태는 10진수 0에서부터 7까지 8가지의 상태를 모두 가진다. PN

부호 발생장치에는 시프트 레지스터의 상태가 10진수로 0인 상태는 없었다. 이 부호는 4개의 0과 1을 가지고 있어 0과 1이 나타나는 수가 같다.

0을 -1로 놓고 자기상관함수를 취해 보면 다음과 같다.

$R(0)=1$ 이며 $R(1)$ 은

$$\begin{array}{r} 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \\ \hline 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \end{array}$$

같은 부호가 4이고 다른 부호가 4이므로 0이 된다. 즉, $R(1)=0$ 이다. $R(2)$ 는

$$\begin{array}{r} 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \\ \hline 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \end{array}$$

역시 동일부호가 4이고 다른 부호가 4이므로 $R(2)=0$ 이 된다. 그러나 $R(3)$ 일 때는

$$\begin{array}{r} 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \\ \hline -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \end{array}$$

같은 부호가 2이고 다른 부호가 6개이므로 $R(3)=-\frac{1}{2}$ 이 된다.

즉 $R(0)=1$

$$R(1)=R(2)=R(4)=R(6)=R(7)=0$$

$$R(3)=R(5)=-\frac{1}{2}$$

이 된다.

이때 이전가산 특성을 보면

$$\begin{array}{r} \text{본래계열} \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \\ \text{1번이전계열} \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \end{array}$$

이 계열은 본래계열을 이전시킨 계열이 아니다.

일반적으로 주기 2^n-1 을 갖는 PN부호발생기로 부터 주기 2^n 을 갖고 0과 1의 수가 동일한 비선형 시프트 레지스터 계열 발생기의 연결법은 n 개의 시프트 레지스터중 S_1, S_2, \dots, S_{n-1} 을 제1번 시프트 레지스터, 제2번 시프트 레지스터, ..., 제 $(n-1)$ 번 시프트 레지스터의 상태라 하고 본래 PN부호 발생기의 연결법을 F_0 라 하면, 2^n 주기를 갖는 비선형 시프트 레지스터 계열 발생기의 연결방법 F_n 은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$F_n = F_0 \oplus \overline{S_1} \otimes \overline{S_2} \otimes \dots \otimes \overline{S_{n-1}} \quad (2)$$

S_1 은 S_1 의 보수이다. 이때 자기상관함수는

$$R(0)=1$$

$$R(\pm 1)=R(\pm 2)=\dots=R(\pm(n-1))=0$$

$$R(\pm n)=0 \quad (3)$$

로 3 레벨의 자기상관함수를 가지고 있다. 물론 이 비선형 시프트 레지스터 부호는 PN부호가 아니므로 PN부호의 특성을 가지고 있지 않다.

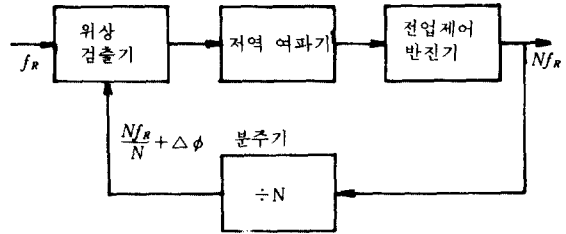
2. 주파수 합성기

주파수도약 통신방식에 필수적으로 사용되는 것이 주파수 도약을 생성하는 주파수 합성기이다. 도약주파수의 갯수와 각 주파수 사이의 간격과 사용하는 중심 주파수가 결정되면 이에 맞게 주파수합성기를 설계할 필요가 있다. 만일 사용할 도약주파수 수가 7개이고 주파수 사이의 간격이 100kHz이고 중심주파수가 1.3MHz 라 하면 1.0MHz, 1.1MHz, 1.2MHz, 1.3MHz, 1.4MHz, 1.5MHz, 1.6MHz의 7개 주파수를 발생하는 주파수 합성기가 필요하다. 도약주파수 사이의 간격은 일반적으로 동일하게 하는 것이 보통이며, 주파수 사이의 간격이 커지면 대역폭이 커지며 작게 잡으면 사용하는 주파수 대역폭은 작아지나 변조신호의 대역폭과 주파수 합성기의 설계를 고려하여야 한다.

주파수 합성기는 하나의 기준 주파수나 몇개의 기준주파수라 불리우는 주파수로 부터 원하는 출력 주파수를 발생시키는 장치이다. 주파수 합성기는 직접 주파수 합성기(direct frequency synthesizer)와 간접 주파수 합성기(indirect frequency synthesizer)로 분리되는데, PLL(phase-locked loop)를 사용하지 않고 두 주파수가 입력할 때 두 주파수의 합과 차를 발생시키는 혼합기와 두 주파수를 곱하는 승적기, 입력 주파수를 N 으로 나누는 분주기 등을 사용하는 주파수 합성기를 직접 주파수 합성기라 한다. 그러나 직접 주파수 합성은 부피가 크고 전력소모가 많아 근래에는 거의 이용되지 않는다.

여기서는 PLL을 사용한 간접 주파수 발생장치를 상술한다. PLL을 사용하는 간접 주파수

합성기의 블록도는 다음과 같다.

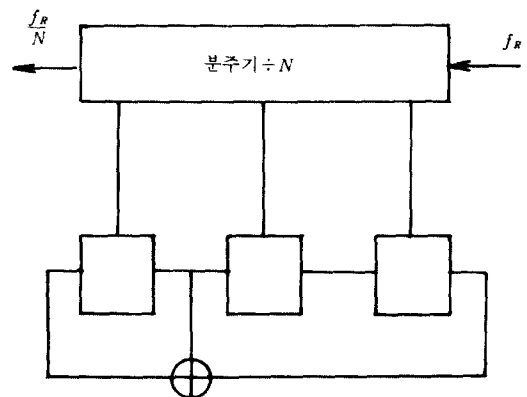


〈그림 6〉 간접주파수합성기기본도

Block diagram of indirect frequency synthesizer

f_R 는 기준 주파수로 출력 주파수 가변분주기 N 의 값에 따라 Nf_R 주파수가 발생한다. 각 주파수 사이의 간격은 f_R 가 된다.

직류입력이 없을 때 전압제어 발진기(voltage controlled oscillator : VCO)의 출력주파수는 f_R 이며 직류 입력전압에 따라 출력주파수가 선형으로 변한다. 위상 검출기는 두개의 입력주파수 f_R 와 $\frac{Nf_R}{N} + \Delta\phi$ 사이의 위상에 비례하는 직류값을 저역여파기를 통하여 전압제어 발진기의 입력이 된다. 주파수 도약장치에서는 주파수 분주기의 N 값의 PN부호 발생기의 시프트 레지스터의 상태를 직접 병렬로 연결하면 병렬로 입력된 2진수에 해당하는 값으로 분주기의 입력주파수를 분주한다.



〈그림 7〉 PN부호에 의한 주파수분주기
Frequency divider by PN code

n 단의 시프트 레지스터를 사용한 PN부호 발생기는 1에서부터 2^n-1 에 해당하는 이진수가 시프트 레지스터에 나타나므로 PLL간접 주파수 합성기에는 기준 주파수가 f_R 일 때 출력 주파수는 f_R 에서부터 $(2^n-1)f_R$ 의 주파수가 나타난다. 그러나 일반적으로 원하는 출력주파수가 Mf_R 에서 $[M+(2^n-1)]f_R$ 일 때에는 PN부호 발생기의 상태를 가산기를 사용하여 $(M-1)$ 로 더하면 PLL의 출력주파수는 주파수 간격을 f_R 로한 최저 Mf_R 주파수에서 최고 $[M+2^n-1]f_R$ 의 주파수가 출력에 나타난다. 간접 주파수 합성방법은 기구가 소형이며 소비전력이 작은 장점이 있으나 하나의 주파수에서 다음 주파수로 도약할 때 다음 주파수가 안정될 때까지의 천이시간이 길며 출력주파수의 간격이 좁을 때는 기준주파수를 줄여야 하므로 PLL회로내 저역여파기의 차단주파수를 적게 설계하여야 한다.

N 의 수는 위에서 설명한 바와 같이 PN부호 발생기의 시프트 레지스터의 상태로 부터 얻을 수 있지만 ROM기억장치에 직접 N 의 수를 기억시켜 놓고 마이크로 컴퓨터로 제어하여 차례로 빼내는 소프트웨어(software)를 이용한 방법도 사용할 수 있다.

지금 설명한 주파수 합성기는 통신에 사용하는 트랜시버(transceiver)의 주파수 합성기와 같다. 그러나 주파수 도약을 위한 주파수 합성기는 하나의 주파수에서 다른 주파수로 도약할 때 다음 주파수로 빨리 안정될 필요가 있다. 실재는 주파수 합성기내 루프 필터(loop filter)로 인하여 전압제어 발진기에 입력되는 직류신

호는 일정 시간이 경과한 다음 안정되므로 전압제어 발진기의 출력에 안정된 주파수를 얻기까지는 어느정도 시간이 걸린다.

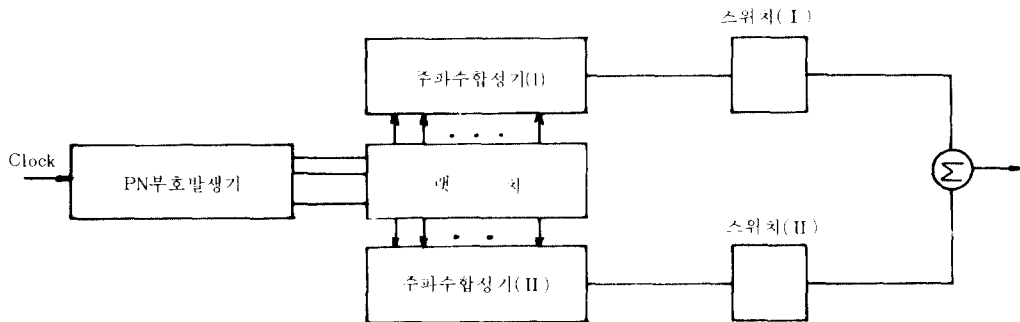
이와 같이 주파수 스위칭시간(switching time)을 줄이는 방법으로 몇개의 방법이 강구되어 있다. 다음 도약 주파수에 해당하는 직류전압을 외부에서 전압제어 발진기에 걸어주는 방법 등이 있다. 여기서는 2중 루프 PLL을 사용하거나 2중 루프와 유사한 형태를 가진 유사 2중 루프PLL로 스위칭시간을 감소시키는 방법을 상술한다.

2중 루프PLL을 사용한 주파수 합성기의 그림은 다음과 같다.

2개의 주파수 합성기와 스위치 그리고 하나의 PN부호 발생기와 래치(Latch)로 구성되어 있으며 래치는 PN부호 발생기에서 나온 부호를 일시 저장시키고, 위와 아래의 주파수 합성기의 분주회로에 들어가는 2진부호를 클럭(clock)펄스가 2개 들어올 때까지 교대로 저장한다. 클럭은 주파수 도약비를 결정하여 주고, 클럭이 1초에 100번 펄스를 발생하면 도약 주파수도 1초에 100번 뛰며 PN부호 발생기에 부호도 클럭이 가해질 때마다 바뀌므로 이때 부호에 대한 래치 출력 값은 다음과 같다.

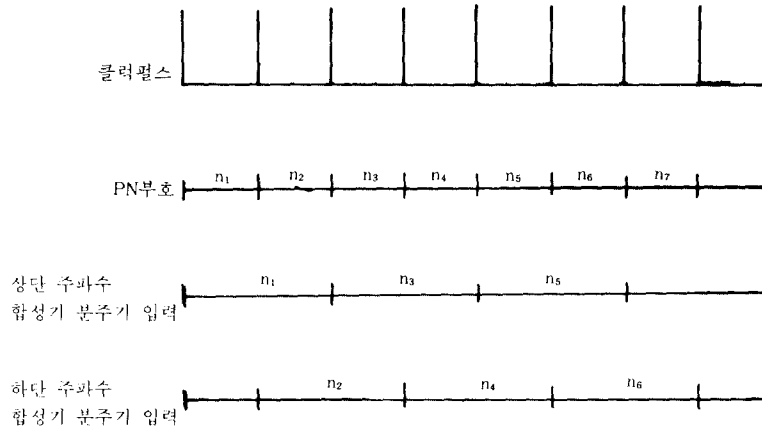
상단 주파수 합성기와 하단 주파수 합성기의 출력주파수를 각기 $f(PLL-1)$, $f(PLL-2)$ 라 하면 합성된 출력주파수 $f(PLL-1)$ 와 $f(PLL-2)$ 의 전압제어 발진기의 직류 입력신호는 다음과 같다.

주파수 합성기(I)에서 발생된 주파수는 (ω -

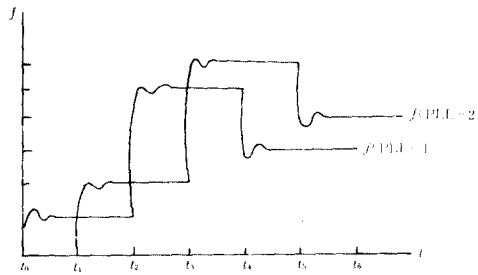


〈그림 8〉 2중루프간접주파수합성기

2 loop indirect frequency synthesizer



〈그림 9〉 2중 루프 주파수 합성기 원리도
Block diagram of 2-loop frequency synthesizer



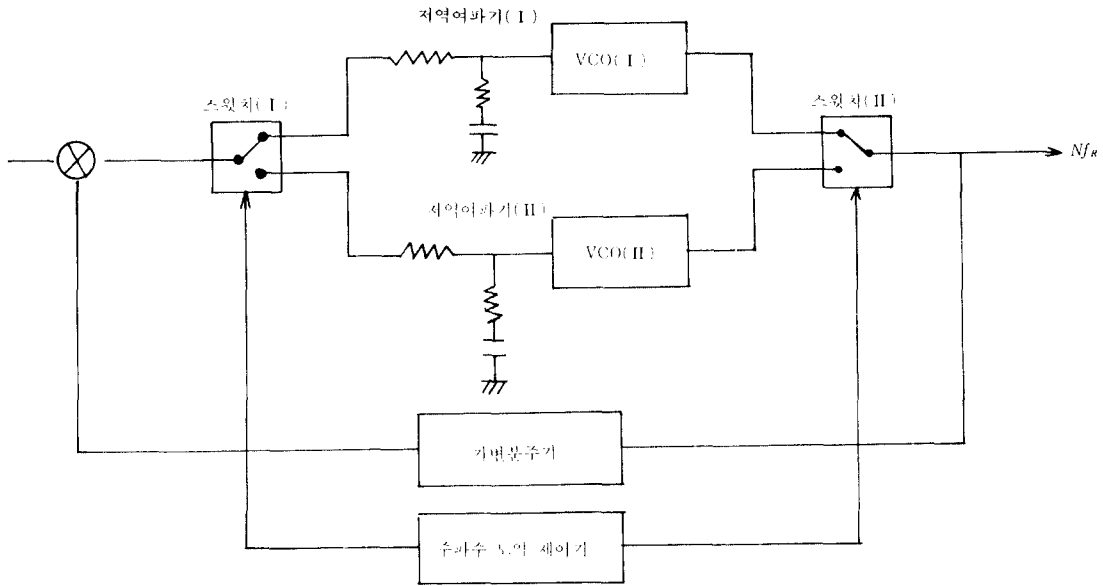
〈그림 10〉 상하주파수 합성기의 출력주파수
Frequency output of the 2
frequency synthesizer

t_2 , (t_2-t_4) , (t_4-t_6) ... 시간 사이에 있으며 주파수 합성기(II)에서 발생된 주파수는 (t_1-t_3) , (t_3-t_5) , (t_5-t_7) ... 사이에 발생하여, 주파수 합성기(II)에서 합성된 주파수는 주파수 합성기(I)에서 합성된 주파수보다 1클럭 차이가 난다. 여기서 주파수 합성기(I)의 출력주파수는 시간적으로 (t_0-t_1) , (t_2-t_3) , (t_4-t_5) 의 앞부분에 주파수 천이값이 생기고 마찬가지로 주파수 합성기(II)에서도 (t_1-t_2) , (t_3-t_4) , (t_5-t_6) 앞부분에 주파수 천이 값이 생겨, 이를 피하고 주파수 합성기(I)에서 (t_1-t_2) 사이만 꺼내고, 주파수 합성기(II)에서 (t_2-t_3) 사이를 꺼내 주파수 합성기(I)와 주파수 합성기(II)를 교대로 스위치를 사용하여 안정된 주파수

부분만 꺼내면 천이기간이 없는 안정된 도약 주파수를 꺼낼 수 있다. 이 개념을 사용하면 다중 루프를 사용한 주파수 합성기를 사용할 수 있으며 M개의 루프의 주파수 합성기를 사용하면 주파수 도약율을 M배로 높일 수 있으나 회로가 복잡해진다.

다음에 2중 루프PLL을 사용한 주파수 합성기와 유사한 하나의 위상검출기와 분주기를 사용하고 2개의 저역 여파기와 전압제어 발진기를 사용한 주파수 합성기를 보인다.

본 주파수 합성기는 저역 여파기(I)와 VCO(I)에 스위치(I)와 스위치(II)를 연결하여 위에 PLL이 하나의 루프를 이루도록 하여 위상검출기와 가변분주기에 연결되어 기준 주파수 f_R 에 N배 체배된 주파수가 나오도록 회로가 형성되는 동시에 저역 여파기(II)와 VCO(II)에는 각기 위상검출기와 가변분주기가 단절되어 VCO(II)에 고입력 임피던스로 인하여 전기적으로 고립상태에서 저역여파기의 커패시터는 이전의 주파수 합성을 거쳐 안정된 정상전압을 그대로 유지하게 되어 VCO(II)는 안정된 출력 주파수를 내게 한다. 저역여파기(I)와 VCO(I)로 형성된 루프가 안정상태에 돌입하면 스위치(I)와 스위치(II)는 제어회로에 의해 저역여파기(I)와 VCO(I)로 부터 단절되어 저역여파기(I)의 커패시터는 안정된 정상전압으로 샘플홀드(sample and hold)되어 VCO(I)의 안



〈그림 11〉 개폐루프교대방식주파수 합성기

Open and close loop frequency synthesizer

정된 출력주파수를 내게 된다.

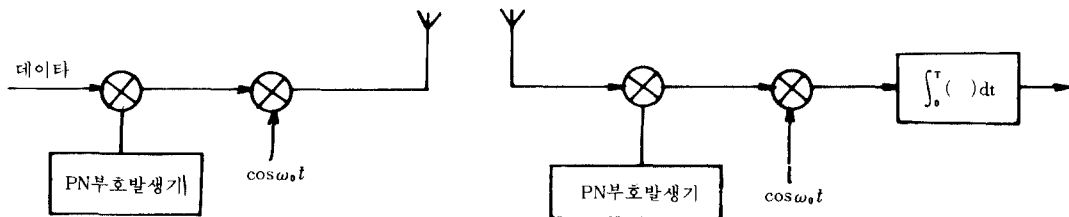
그와 동시에 저역여파기(II)와 VCO(II)는 스위치(I)과 스위치(II)에 의해 위상검출기 및 가변분주기에 연결되어 루프를 형성하므로써 제어회로에 의해 새로이 바뀐 N 수로써 새로운 주파수 형성 과정은 시작하게 되어 주파수 도약을 실행하게 된다. 본 주파수 합성기는 기존 2중 루프 주파수합성기와 유사하나 2중 루프 주파수 합성기에서는 2개의 단일 루프 주파수 합성기로부터 교대로 정상 주파수를 뽑아 내는 반면 본 주파수 합성기는 제어회로에 의해 저역여파기, 전압제어 발진기를 교대로 연결하므로써 개폐루프가 형성되어 폐루프에서는 새

로운 주파수합성 과정이 진행되고 개루프에서는 정상주파수를 출력으로 뽑아내는 특징이 있다.

본 주파수 합성기는 실제 제작 실험과정을 거쳐 확인되었다.

3. 대역확산 통신방식

대역확산 통신방식에는 직접확산(direct sequence)방식, 주파수도약(frequency hopping)방식, 시간도약(time hopping)방식과 이들을 혼



〈그림 12〉 직접확산방식의 변조부와 복조부

Modulation and demodulation of direct sequence method

합한 방식이 있다. 각 방식은 그들대로 유용성이 있으며 다양하게 연구 발전되고 있다.

다음은 직접 확산방식의 변조부와 동기복조부를 블록도로 보인다.

일반적으로 PN부호의 하나의 기호당 시간간격(duration)은 데이터 비트보다 작으므로 하나의 데이터 비트에 여러개의 PN부호의 기호가 들어간다. 데이터와 PN부호를 곱한 스펙트럼은 매우 넓어져 확산한다. 이때 데이터 1비트에 여러 PN부호가 정확히 들어가도록 데이터 비율을 조정할 필요가 있다. 이러한 신호를 반송파 $\cos\omega_0 t$ 로 곱하여 PSK신호가 출력에 나온다. PSK신호를 얻기 위해서는 PN부호나 데이터 비트가 ± 1 의 값을 가질 필요가 있으며 이때 직접확산된 신호를 $x(t)$ 라 하고 $d(t)$ 를 데이터 비트계열, $PN(t)$ 를 PN부호계열이라 하면

$$x(t) = \sqrt{2A}d(t)PN(t)\cos\omega_0 t \quad (4)$$

이며, A 는 신호전력이다. 만일 두 사람의 데이터를 전송하고자 할 때는 그림 11에서와 같이 하나를 발생하고 다른 데이터는 반송파를 90° 위상이전시켜 $\sin\omega_0 t$ 로 PSK로 변조하여 두 신호를 더하면

$$x(t) = \sqrt{2A_1}d_1(t)PN_1(t)\cos\omega_0 t + \sqrt{2A_2}d_2(t)PN_2(t)\sin\omega_0 t \quad (5)$$

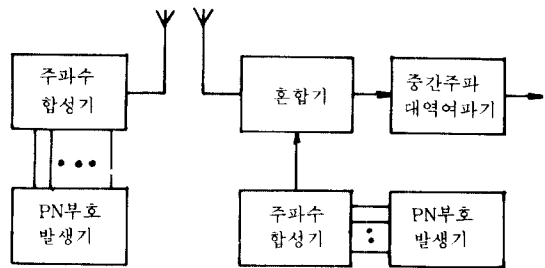
가 되어 Quadrature 다중화로 보낼 수 있다. 즉 한사람의 데이터는 PN부호 발생기 1과 곱한 신호에다 반송파 $\cos\omega_0 t$ 로 PSK변조한 신호이고, 다른 사람의 데이터는 PN부호 발생기 2에다 곱하여 반송파의 주파수는 같지만 위상이 90° 이전된 $\sin\omega_0 t$ 에 PSK변조하여 더하여 보내는 방법이다. 이와 같은 다중화 방식을 Quadrature 다중화라 하여 AM에 경우에도 사용할 수 있다. 한사람의 신호를 $p(t)$, 다른 사람의 신호를 $q(t)$ 라할 때 Quadrature 다중화된 AM신호는 $p(t)\cos\omega_0 t + q(t)\sin\omega_0 t$ 가 된다. 만일 수신자의 PN부호 발생기와 $\cos\omega_0 t$ 가 정확히 동기되어 있다면 그림 11의 동기 복조장치로 복조가 가능하나 일반적으로 PN부호 발생기와 $\cos\omega_0 t$ 의 위상이 다르게 들어가므로 동기장치가 필요하다. 동기복조일 때 $[PN(t)]^2 = PN(t) = \pm 1$ 값을 가지므로 항상 1이 되고 $\sqrt{2A}d(t)PN^2(t)\cos^2\omega_0 t = \sqrt{2A}d(t)\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos 2\omega_0 t\right)$ 가 되어 적

분기를 통하면 $\cos 2\omega_0 t$ 는 0이 되고 $d(t)$ 를 다시 찾을 수 있다. Quadrature 다중화된 신호를 동기복조할 때는 수신장치에 두개의 수신부를 병렬로 연결하여 한편에서는 $PN_1(t)$ 와 $\cos\omega_0 t$ 로 다른 한편에서는 $PN_2(t)\sin\omega_0 t$ 로 동기복조하면 $d_1(t)$ 와 $d_2(t)$ 를 얻을 수 있다.

직접 확산방법으로 변조된 신호는 $d(t)$ 와 $PN(t)$ 로 곱한 것을 $\cos\omega_0 t$ 로 다시 곱하였으므로 이 스펙트럼은 $d(t)PN(t)$ 의 스펙트럼을 f_0 로 옮긴 것과 같으므로 반송파 주파수 f_0 는 억제되어 나타나지 않으므로 전력이 부호에만 나타나 전력소비가 적고, 장치화가 간단하다.

주파수 도약 통신은 PN부호 발생기를 가지고 주파수를 도약하도록 하며, n 단 시프트 레지스터를 사용한 PN부호 발생기를 사용할 때 $2^n - 1$ 개의 도약 주파수를 발생시킨다.

주파수 도약 통신기의 송신부와 수신부는 다음과 같다.



〈그림 13〉 주파수도약통신방식의 송수신부
Transmitter and receiver of the frequency hopping method

여기서는 변조하려는 신호는 표시하지 않았으며, 가장 간단한 경우는 도약 주파수를 반송파로 하여 연속 변조신호를 FM하는 경우이다. 이때는 보통의 FM과 같고 단지 반송파가 PN부호 발생기에 의하여 바뀌는 경우이다. 수신부에는 슈퍼헤트로다인방식을 사용하여 복조하면 주파수 합성기에서 나오는 주파수는 송신된 반송주파수보다 중간주파수에 해당하는 주파수만큼 크거나 작아야 혼합기출력에 중간주파수가 나온다. 송수신기에 같은 PN부호발생기를 사용하더라도 수신기의 주파수합성기에 들어가는 N 의 수를 PN부호에 나타난 실제수보다

중간주파수에 해당하는 수를 더하여 N 의 수를 정하면 된다. 2진부호의 데이터를 보낼때에는 데이터 1비트에 한개의 주파수가 도약하도록 설계하거나 한 도약주파수에 여러개의 데이터 비트가 삽입되거나, 데이터 1비트에 여러개의 도약주파수가 있을 경우를 생각할 수 있다. 특히 주파수 도약 통신에서는 주파수 합성기에서 합성된 주파수가 도약할 때 천이시간이 적은 안정된 다음 도약주파수로 도약을 하여야 하므로 이에 대한 고려가 필요하며 1초당 도약하는 주파수의 수에도 영향을 주고 있다. 데이터 1비트당 하나의 도약 주파수를 대응시킬 경우 PN부호 발생기의 시프트 레지스터의 모든 상태를 데이터 비트와 2원가산시켜 주파수 합성기의 분주회로에 입력시키면, 데이터 비트가 1이면 시프트 레지스터 상태의 보수가 분주기에 입력되고 데이터 비트가 1이면 시프트 레지스터의 상태가 그대로 분주기에 입력된다. 즉 시프트 레지스터의 상태가 (1 0 1)이고 데이터 비트가 1이면 분주기에는 (0 1 0) 즉, 10진수로 2가 들어가고 데이터가 0이면 (1 0 1) 즉 10진수로 5가 분주기에 들어가 5 주파수가 결정이 된다.

수신장치에는 Mark주파수 합성기와 space주파수 합성기를 2개의 수신회로를 병렬로 연결

하여 수신한다. 데이터 1비트당 하나의 도약 주파수를 사용할 경우에도 여러가지의 설계방법이 있을 수 있다. 하나의 도약주파수에 많은 데이터 비트를 보낼 경우 1초당 데이터 비트 수와 도약 주파수와의 동기방법 등 세심한 설계상 고려가 필요하다.

시간도약은 PN부호에 따라 송신부의 출력을 송출하거나 송출하지 않도록 하는 방법으로 가장 간단한 시간도약은 데이터 비트 PN부호를 2원가산하여 1일 때 출력이 나오고 0일 때 출력이 나오지 않도록 한다. 이는 시분할다중화에 사용할 수 있으며 두파수 도약과 병행하여 부호가 1일 때는 주파수도약을 하지 않고 0일 때만 주파수 도약을 하도록 설계 할 수도 있다. 이와 같이 3 가지 방법을 혼용한 확산대역 통신방식을 사용할 수도 있다. .

참고문헌

- (1) R. C. Dixon, Spread Spectrum System, John Wiley & Sons, Inc. 1976.
- (2) R. C. Dixon, Spread Spectrum Techniques, IEEE press, New York, 1976.
- (3) J. K. Holmes, Coherent Spread Spectrum Systems, John Wiley & Sons Inc. 1982.

〈용 어 해 설〉

Terminal (단말장치) : 입력과 출력국은 임의의 데이터 전송으로 컴퓨터에 연결되고 메시지의 전송과 수신을 허용한다.

예 : Dialogue 터미널, 그래픽 터미널 ⇒ 인텔리전트 단말기, Central Unit, I/O Unit

TRANSMIC : 부호화된 임펄스 (MIC-Modulation d'impulsions Codes)에 의한 정보전송 서비스는 PTT에 의해 직면하게 되며 매우 큰 부피의 전송에 대한 TRANSPAC을 보충하려 한다. ⇒ 네트워크, 디지털 전송