

동기 발진기를 이용한 PN 부호 동기화 연구

정명덕* 박재홍** 박재운***

On the PN Code Synchronization Using Synchronous Oscillator

Myeong-Deok Jeong* Jae-Hong Park** Jae-Woon Park***

요 약

본 논문은 DS/SS의 동기 복조를 위한 동기발진기의 특성에 대하여 연구 하였다. 동기발진기는 외부 신호가 인가되지 않을 때에는 고유 주파수를 발진하고, 고조파 및 저조파의 외부 신호가 인가 되면 동기 발진기는 인가 신호를 추적하여 동조 한다. 따라서 출력은 광대역의 외부 주파수에 동기 하므로서 주파수 분주와 주파수 증배에 이용 할 수 있으며, 디지털 통신에 있어서 동기 문제점을 해결 할 수 있는 방안을 제시하였으며, 이와 같은 특성을 이용하여 DS/SS 동기 적용을 위한 실험에서 양호한 동기 특성을 얻을 수 있었다.

본 연구 논문은 1998년 부산정보대학의 학술 연구조성비로 이루어졌으며, 지원해주신 부산정보대학에 감사드립니다.

Abstract

This study has been experimented the characteristics of synchronous oscillator for clock recovery of Direct Sequence/Spread Spectrum(DS/SS) communication. When external wave is not provided, The Synchronous Oscillator(SO) oscillates at its natural frequency. As soon as external signal is applied, the SO starts tracking the external frequency which can be sinusoidal, pulsed or some other waveform. Thus, the output is synchronized with the range of wide tracking bandwidth to the external frequency. Specifically, the SO also posses frequency division and multiplication capability. All of these indicate that the SO can overcome difficulties to get synchronization in coherent digital communication systems. We make a practical application of DS/SS communication with study on the synchronous properties of SO. As the result, we have a good performance.

* 부산정보대학 정보통신계열 조교수
** 부산정보대학 정보통신계열 시간강사
*** 동부산대학 사무자동화과 부교수
논문접수: 98.10.19. 심사완료: 98.12.1.

I. 서론

확산 스펙트럼(SS : Spread spectrum) 통신을 위한 문제점중의 하나가 동기를 취하는 일이다. 따라서 DS/SS 통신에서 사용하여온 동기 방식으로는 중간 주파수(IF) 대역에서 DLL(Delay locked loop), TDL(Tau dither loop) 등을 이용한 동기 방식들을 이용하여 왔으나, DLL은 자기 상관을 취하기 위한 2 채널의 특성이 동일한 것을 얻기 어려우며, TDL(Tau dither loop) 등을 이용한 동기 방식들을 이용하여 왔으나, DLL은 자기 상관을 취하기 위한 2 채널의 특성이 동일한 것을 얻기 어려우며, TDL은 DLL에 비하여 약 3dB 정도 신호 전력이 감소하고, tracking, 지터가 크다는 단점이 있으며, 하드웨어적 측면에서도 구성의 복잡성 때문에 많은 문제가 되어 왔다.

동기 발진기는 인가되는 신호없이 주파수를 발진하는 자주 발진기이고, 인가 신호가 존재하면 동기 대역폭에 반비례하는 획득 시간을 가지는 입력 파형 동조 및 동기 발진기로서 입력 신호 레벨에 비례하는 적응 동조 대역폭과 동조 영역에서 일정한 출력 신호를 증폭하는 성질을 갖는다. 따라서 동기 발진기는 주파수 도플러 현상으로 인한 위상 변화와 같은 주파수 변화에 적응하는 매우 낮은 캐리어 대 잡음비를 가지는 동조 회로이다.

따라서 본 논문에서는 코히런트 디지털 통신 시스템을 위하여 주입형 동기 발진기에 대하여 해석하고, 실험을 통하여 DS/SS 적용을 위한 PN 클럭으로부터 동기 클럭 추출에 대하여 실험하였으며 또한, 동기 발진기가 자주 발진 주파수의 고조파 및 저조파에 적응 동조하여 발진하는 동작 특성을 입증하였다.

II. 이론적 배경

2.1. 동기 발진기의 동작 원리

(그림 1)은 기본적인 동기 발진기 회로의 구성과 각 부분의 동작 기능을 나타내었다. 회로의 발진기는 비능동 소자를 지닌 변형된 콜피츠 발진기로서 트랜지스터 T1은 주입된 신호를 받아들여서 증폭하며, 트랜지스터 T2에 전류를 인가하므로써, 트랜지스터 T1은 트랜지스터 T2에 알맞는 능동 에미터 부하이다. 양 트랜지스터에서의 전류는 주로 바이어스 정향 G에 의해 결정되며, 트랜지스터 T2가 가지는 3개의 궤환 경로는

- 1) C1을 통해 T2의 베이스에 이르는 경로
- 2) C2와 C3 사이점으로부터 T2의 에미터 경로
- 3) T1에 의해 제공되는 T2 직렬 부궤환 이다.

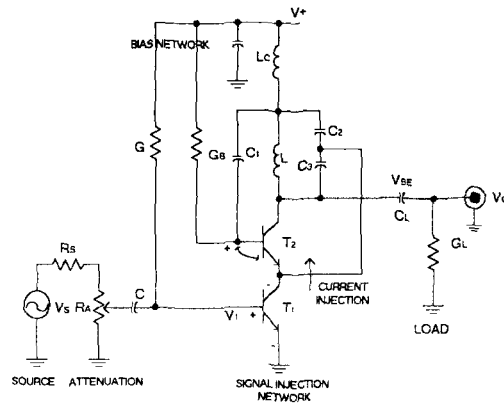


그림 1. 동기발진기의 회로
Fig 1. Functional description circuit of SO

1)과 2)의 궤환은 궤환 3)이 부일 경우에 정이 되고 바이어스 저항 G와 GB는 콜렉터-에미터 전압 강하와 동등한 선형 활성 영역내에서 양 트랜지스터가 동작 되도록 한다. LC는 RF요크로서 동조 회로로부터 L, C2, C3을 분리 한다. 가변 저항 RA는 입력 구동 회로로부터 동기 발진기의 전원을 분리하고 인가되는 신호 레벨을 조절한다. 공급 전압은 5V 형태이다. 동작면에서 살펴보면 동기 발진기는 내부 고이득 비선형 발진기이면서, 동조 범위 내에서는 출력되는 신호의 증폭을 포화시킨다. 인가된 입력 신호는 위상 변화가 있지만, 발진기의 출력 신호 증폭을 저해하지는 않는다. 이 위상 변화는 동기 발진기 동작의 핵심으로서 T1의 상호 컨덕턴스 Gm1은 T2 전류의 신호 주입을 제공하는 반면에 T2의 상호 컨덕턴스 Gm2는 회로내의 손실을 보상한다. 일반적으로 이들의 전달 컨덕턴스는 비선형으로서 인가되는 외부 신

호에 의해 증가하는 부성 저항의 변화량이 동기화 과정에서 중요한 요소로서 작용한다. 발진기가 외부 신호에 고정될 때, 그것은 부의 콘덕턴스로 작용하여, 에너지를 발진기로 흐르게 만든다. 만약 외부 주파수가 변화하면, 교대로 동기 발진기의 발진주파수를 변화시켜 발진기를 비선형으로 변화시킨다. 외부 신호는 자주발진기에 대하여 에너지원으로 작용하여 부저항으로 증가시키고, 새로운 정상 동기 상태를 설정하는 것이다.

2. 2 동기발진기의 선형적 해석

동기화의 개념을 이해하기 위하여 그림 2처럼 발진기 출력 전압 V_0 를 선형 분석함으로서 동기발진기의 동기화 개념을 이해할 수 있다. 그림 2의 회로는 발진을 유지하기 위해 $GM_2 \gg GLC_2/C_3$ 를 필요로 한다. 그리고 $GL \gg GB$ 는 자주발진기(free-running oscillator) 주파수에 대해 다음과 같이 정의된다.)

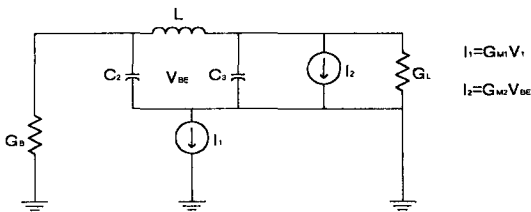


그림 2. 동기발진기의 선형 등가 모델
Fig 2. Linear analysis of SO

$$\omega_0^2 = \frac{C_2 + C_3}{LC_2C_3} \dots\dots\dots(1)$$

그리고 기본 차동 방정식에 대하여서 식(2)와 같다.

$$V_0' + \omega_0^2 V_0' = \frac{GM_1}{C} V_i \dots\dots\dots(2)$$

식(2)는 입력 신호 전압 V_i 에 따르는 injection - locked 동기 오실레이터의 소신호 동작을 의미하며, 여기서 $C = C_3(1 + C_3/C_2)$ 이다. 식(3)과 식(4)의 형태로 해를 가정하고, 순시미분 위상으로 식(4)를 정의하며, 순시 동조범위로서 식(6)를 가정하면 동기발진기의 동작을 해석할 수 있다.

$$V_0 = \overline{V_0} e^{j(\omega_i t + \theta_0)} \dots\dots\dots(3)$$

$$V_i = \overline{V_i} e^{j(\omega_i t + \theta_i)} \dots\dots\dots(4)$$

$$\phi = \theta_0 - \theta_i \dots\dots\dots(5)$$

$$\Delta\omega = \omega_0 - \omega_i \dots\dots\dots(6)$$

식(2)에 식(3) ~ 식(6)을 대입하면 식(7)과 같은 결과를 얻는다.

$$\phi' = -3K(\sin \phi - \Delta\omega/K) \dots\dots\dots(7)$$

여기서

$$K = \frac{GM_1 \overline{V_i}}{2C \overline{V_0}} \dots\dots\dots(8)$$

는 동기발진기에 대한 주입 상수이다.

동기발진기에 대한 두 영역은

1) 구동되어 lock되지 못한 경우 $\Delta\omega/K > 1$

2) 구동되어 lock된 경우 $\Delta\omega/K \ll 1$

동기화 또는 lock-in의 조건은 다음과 같은 조건이 필요하다.

동기가 되기 위해서는

$$\Delta\omega/K \ll 1 \dots\dots\dots(9)$$

조건을 가지며, 동기 영역내의 동기발진기의 동조 대역폭은

$$\Delta f_0 = \frac{GM_1 \overline{V_i}}{2C \overline{V_0} \pi} \dots\dots\dots(10)$$

을 가지며, 이것은 입력신호 $\overline{V_i}$ 의 크기에 비례하는 순시적용 동조대역폭으로서, 동기발진기의 동조대역폭이 식(10)과 같이 주어질 때 동기화 또는 lock-in에 대한 조건은 식(9)와 같다. 그리고 식(11)과 같이 이득-동조 대역폭을 정의할 수 있다.

$$\frac{\overline{V_0}}{\overline{V_i}} \cdot \frac{GM_1 \overline{V_i}}{2C \overline{V_0} \pi} = \frac{GM_1}{2\pi C} \dots\dots\dots(11)$$

식(10)에서 $\overline{V_0}$ 는 특별한 바이어스 조건(정의된 GM_1 등)으로서, 동조 대역폭은 식(11)을 유지하기 위해 입력 신호 레벨의 변화에 따라 것이다.

구동되었으나 lock이 되지 않은 동기발진기는 ϕ 에 대한 식(7)의 해를 구하면 다음과 같다.

$$\tan [\phi/2] = \frac{K}{\Delta\omega} + \frac{K}{\Delta\omega} \sqrt{(\Delta\omega/K)^2 - 1} \cdot \tan \left[\frac{3K(t-t_0)}{2} \sqrt{(\Delta\omega/K)^2 - 1} \right] \dots\dots(12)$$

여기서 t0는 적분상수이고, 식(12)에서 위상차 ϕ 는 주기적 시간 함수가 된다. 따라서 출력 전압 V0는 이산 푸리에 스펙트럼(Discrete fourier spectrum)이 된다. 인가 주파수 ω_i 에서 동기발전기의 출력 전압의 스펙트럼 요소는 다음과 같다.

$$\overline{V_0}(\omega_i) = j \frac{\overline{V_i}}{\frac{\Delta\omega}{K} + \sqrt{(\Delta\omega/K)^2 - 1}} e^{j\omega_i t} \dots\dots\dots(13)$$

즉, 비동기 되었으나 구동된 동기발전기는 $\pm \pi/2$ 위상인 인가 주파수에서 이산푸리에 요소(Discrete fourier component)를 만들며, 주파수차에 따라 극성을 바꾼다. 또한 동기발전기의 중요특성인 주파수변별(Discrimination)이나 필터링을 제공하는 증폭특성을 관찰할 수 있다.

lock-in된 동기발전기의 해석은 정상적인 lock-in 영역에서 동기발전기 출력 신호 $\overline{V_0}$ 의 진폭이 일정한 동안의 위상어러는

$$\phi_{ss} = \sin^{-1}(\Delta\omega / K) \dots\dots\dots(14)$$

식(14)과 같이 된다. 동기발전기의 높은 내부 이득은 입력신호가 오실레이터의 위상을 변화시키는 동안 lock-in 범위내에서 출력 전압을 일정하게 유지하게 한다.

여기까지 동기발전기의 정상상태 특성을 논의해 왔으며, 특히 위상 획득시간(Phase acquisition)은 매우 중요한 문제이다. 이것은 동기발전기가 unlocked 조건에서 정상상태(Steady-state)로 도달하기 위한 시간을 의미하고, 식(14)에 의해 주어졌것과 같이 "driven and locked" 영역에 대한 식(7)의 분석은 정상 상태 값 1% 내에 고정시키기 위한 시간이 주어진다.

$$\tau(1 \text{ percent}) = \frac{1}{K\sqrt{1-(\Delta\omega/K)^2}} \dots\dots(15)$$

입력정수 K와 오프셋 주파수차 $\Delta\omega$ 는 식(15)에서 중

요함을 알 수 있다. 저오프셋(Low offsets), 높은 신호구동, 높은 GM/C 비는 동기발전기의 위상 획득시간(Phase acquisition)을 줄일 수 있으나, lock-in 범위의 에지(edge)에서는 $\Delta\omega$ 와 같이 식(15)에서 위상 획득 시간이 증가됨을 알 수 있다.

또 다른 동기발전기 동작의 중요한 면은 자주발전기(free-running oscillator) 주파수 ω_0 의 고조파 입력 신호에 일치하는 동기발전기의 응답이다. 동기발전기의 해석을 통하여 고조파 여진에서도 입력 정수 K가 고조파 N의 차수에 의해 증가되어 진다는 것을 알 수 있다. 따라서 N에 의해 "동조" 대역폭내에서 향상되고, 위상차는 N에 의해 감소된다. 그밖에 위상 획득을 위한 실시간 정수는 N에 의해 감소된다. 고조파 여진의 가장 중요한 점은 자주발전기에 대한 주파수 변별 특성이 향상된다는 것이다. 고조파로 여진하는 동기발전기의 선택도는 필터의 $Q = \omega_0 / \Delta\omega$ 에 의해 개선된다.

2. 3 동기 발전기의 특성

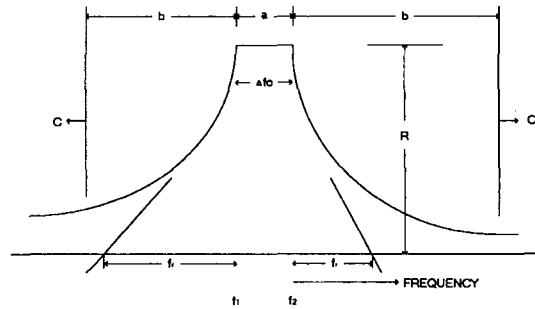


그림 3. 동기발전기의 동작 영역
Fig 3. Operation region of SO

동기 발전기 곡선에는 3개의 명확한 영역이 있다. 영역 'a'는 추적 범위 또는 driven and unlocked 영역이다. 여기서 동기발전기는 주파수 f1과 f2 ($\Delta f = f_2 - f_1$) 사이의 주입 캐리어에 동기 된다. 출력 신호의 진폭은 이러한 동작 영역에서 일정하게 출력된다. 두 번째 영역 'b'는 트랜지스터영역 또는 driven but unlocked 영역이다. 이러한 영역은 발전주파수와 상호 작용하여 주입된 캐리어 시작과 같거나, 동기발전기가 주입된 캐리어 주파수에 동기 했을 때 시작된다.

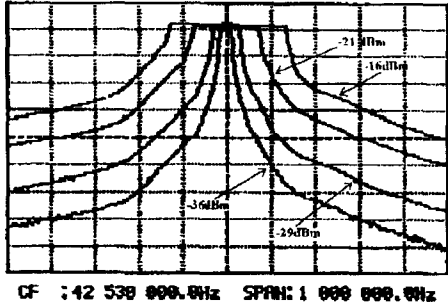


그림 4. 입력레벨에 따른 동기발진기의 이득-대역폭 곡선
 Fig. 4. Gain-bandwidth curve of SO with input level

이러한 천이 영역 변화는 기본적인 동기 발진기 회로의 변조와 신호 발진의 방법에 따라게 된다. 일반적으로 동기와 비동기의 천이 영역은 급격하게 변한다. 영역 'c'는 외부의 회로 요소(pre와 post-필터링등)에 의해 특징지어지며, 주입 캐리어와 동기 발진기 사이의 상호작용을 감소시키게 된다.

동기 발진기의 동기 곡선이 가지는 몇가지 특성 가운데 이득 동기 곡선의 특성은 동기 발진기의 독특한 성질이다. 인가신호의 주요 기능은 동기 발진기의 내부위상을 변화시키며, 동기 발진기의 출력신호의 진폭은 lock-in 영역에서 일정하게 유지된다. lock-in 영역을 벗어나서 주입된 신호는 동기 발진기의 주파수 변별 또는 필터링 특성으로 결정되며, 동기 발진기의 출력신호 위상은 변하지 않고 일정하게 유지된다. 동기 발진기의 부차적 특색은 동기영역의 전구간에 걸쳐 거의 선형 위상을 유지한다는 것이다.

동기 발진기의 중요한 면은 적절한 "추적"범위로서 -36, -29, -21, -16 dBm의 주입캐리어 수준에 대한 동기 발진기의 동기특성 곡선을 그림 4에 나타내었다. 출력 진폭은 lock-in범위에서 변하지 않고 일정하게 유지되며, 각 입력 신호 수준에 대한 "이득" 또는 "감도" 특성을 보여 준다. 그림 4에 정의된 바와 같이 -36dBm 캐리어 수준에 관하여 가장 급격한 "이득"곡선을 볼 수 있다. 그러므로 -36dBm 캐리어는 모든 곡선이 제공하는 가장 높은 "감쇠"를 야기한다는 것을 알 수 있다. 동기 발진기는 잡음 제거와 동시에 그림4 곡선에서 감소하는 밴드폭과 기울기 과정에서 묘사되었듯이 캐리어 선택성의 특징을 볼 수 있다. 예를 들어, -100dBm의 주입레벨에서의 동기범위는 매우 협대역일것으로 예측할 수 가 있다. 따라

서, 필터로서 또는 트래킹 회로망으로서 동기 발진기의 대역폭은 캐리어의 주입 수준에 의존하며 선형필터와 대조적으로 가변대역폭 그리고 다양한 "이득-감쇠"수준을 지닌 RF필터라고 할 수 있다.

표 1. Tracking rang vs input frequency

입력레벨 (dBm)	0	-3	-5	-8	-10	-13	-15	-18	-20	-23	-25	-28	-30	-33	비 고
입력주파수 (MHz)															
f _i = 170.12	120	81	66	50	40	24	19	17	12	6	3				제 4고조파 BW: [KHz]
f _i = 85.06	54	39	28	18	14	12	10	7	5	2	1				제 2고조파 BW: [KHz]
f _i = 42.53	120	85	70	45	39	29	21	15	14	8	6	4	3		자주발전 BW: [KHz]
f _i = 21.265	13	6	3	1											1/2계조파 BW: [KHz]

동기 발진기의 중요한 특징은 추적 범위 대 입력 전력과 외부 신호와 출력 신호사이의 연관된 위상이다. 본 실험에서는 약 42.53 MHz를 기준으로 하는 동기발진기에 대하여 입력 주파수 변화에 대한 실험 결과를 표 1에 나타내었다.

동기 발진기는 표 1에서 보는 바와 같이, 외부 신호가 요구되는 범위 내에서 유지된다면, 위상 오차는 주파수 변화량의 전범위에 대하여 약 ±2 °의 위상 오차 내에서 유지된다.

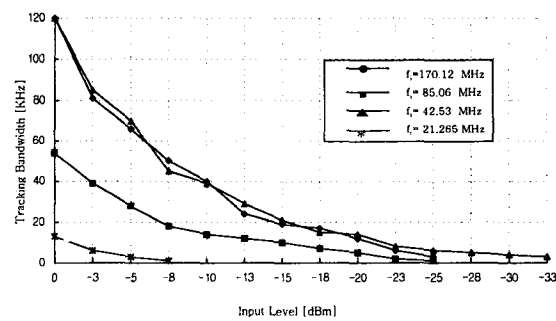


그림 5. 입력 신호 레벨 및 동기 범위 비교
 Fig 5. Comparison for input level and tracking range

그림 5는 표1에 대한 그래프로서 각주파수에서의 수준과 대역폭 특성을 나타내고 있다. 더구나, 동기 발진기의 동조 범위가 외부 신호의 작용으로 나타나므로,

IF 신호 수준이 떨어졌을 때, 동기 발진기의 대역폭은 감소하게 되고, 결과적으로 신호대잡음비는 거의 일정하

비주기적 또는 오류성 연접(burst) 상태에서도 동기된 출력을 나타낸다.

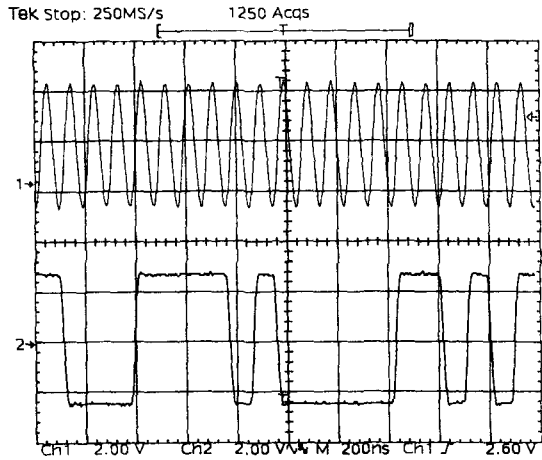


그림 8. 입력신호와 PN 부호
Fig 8. Input signal and PN code

[그림 8]는 주 클릭에 대한 PN부호의 발생을 보여 주고 있다. 주 클릭의 주파수는 약 3.45MHz이며 클릭 한 주기에 대하여 PN 부호가 발생되고, 비주기적 부호가 무작위하게 발생함을 볼 수 있다. 이 PN부호는 에지 검출후 동기 발진기에 인가 되어 비주기적신호에서도 동기되는 동기 발진기의 입력측에 인가될 것이다.

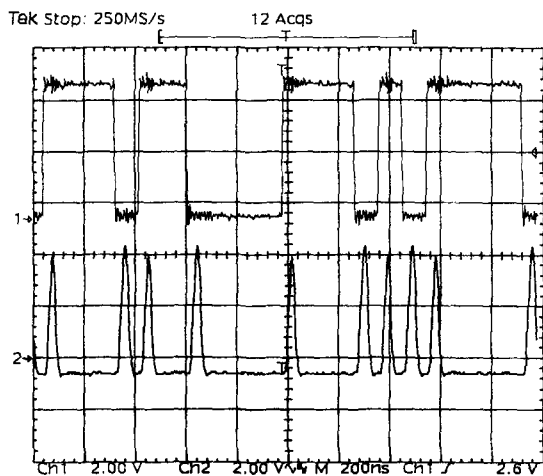


그림 9. PN 부호와 PN부호의 에지펄스
Fig 9. PN code and the edge pulse of PN code

그림 9는 입력 클릭으로 발생된 PN부호와 에지 검출기의 출력을 보여주고 있다. PN 부호의 상승과 하강지점에서 각각의 에지가 검출되고 있음을 알 수 있고 에지

검출 펄스들은 PN부호와 같이 연속 주기 펄스가 아님을 알 수 있다. 그러나 동기 발진기 입력에 인가되어 외부 동기 신호로서 작용할 것이다.

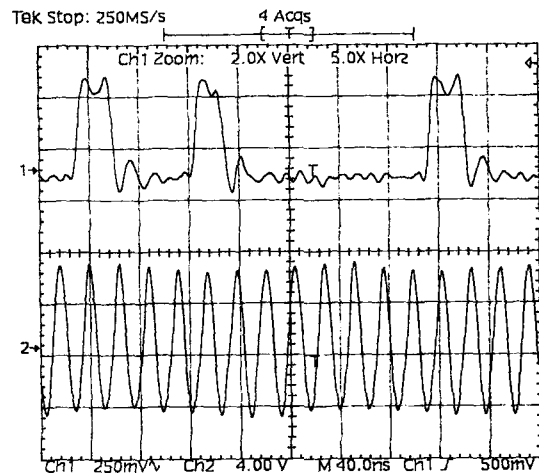


그림 10. 에지검출과 동기발진기출력
Fig 10. Edge detector and output of SO

[그림 10]은 PN부호의 에지를 검출하여 동기 발진기의 입력에 인가하여, 동기된 출력신호이다. 이것은 동기 발진기의 중요 특성중의 하나인 동기에 대한 기억성으로, 인가 신호가 없는 연접(burst) 상태에서도 발진은 동기를 잃는 것이 아니라 히스테리시스하게 동기를 유지하면서 발진한다는 것을 알 수 있다.

[그림 11]는 주 클릭에 대한 동기 추출된 신호를 보여 주고 있으며 주 클릭에 대하여 동기된 신호 42.53MHz가 동작시점이 정확하게 일치하지 않는 것은 각 소자들이 가지는 지연 특성 등에 기인한다고 생각된다.

그림 12은 동기 발진기 출력(42.53MHz) 주파수 특성을 보인 것으로 동기 발진기의 입력측에 무신호시의 출력 주파수 발진이 주파수 42.53MHz을 중심으로 대역폭 5MHz의 광대역에 대하여 고조파 발진이 없는 정현파 발진형태를 잘 보여주고 있다.

IV. 결론

본 실험에서 PN 발생부와 PN 부호 에지 검출부는 비

주기적 신호를 만들어서 동기 발진기에 인가하므로써, 동기 발진기 기억(Memory)성과 임 펄스 형태를 인가 하여도 안정하게 동작함을 보여 주기 위함이다. 따라서 동기

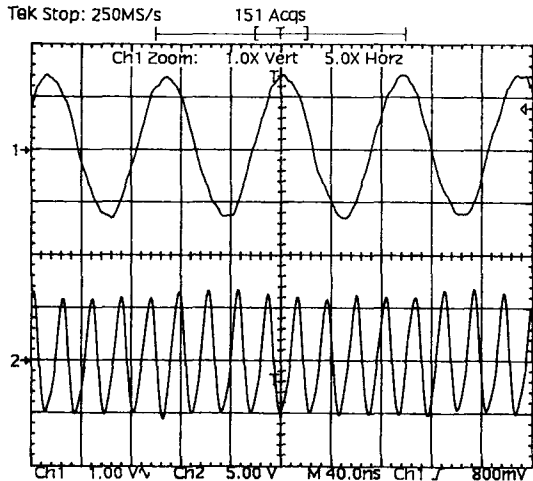
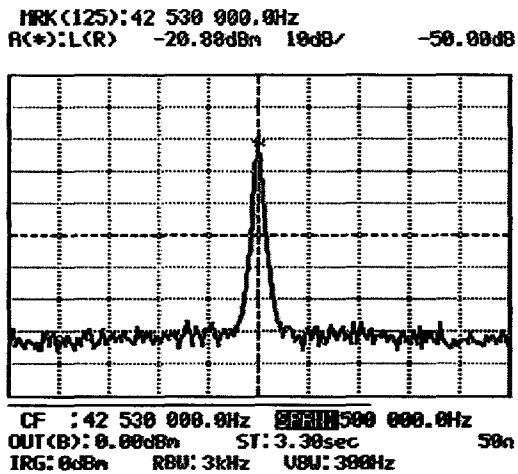


그림 11. 입력신호와 동기발진기의 출력
Fig 11. Input signal and frequency output of SO



(그림 12) 동기발진기 출력의 스펙트럼
Fig. 12 Spectrum waveform fo SO output(42.53MHz)

발진기의 인가 파형이 정현파와 고조파를 합한 임펄스 및 구형파에서도 잘 동기한다는 것은 동기 발진기 자체가 필터성 적용 동기 발진기라는 것을 의미한다.

[그림 4]와 [그림 6] 등을 통하여 고찰하여 보면 동기 발진기의 기억성은 입력신호가 없는 시점에서도 지터없이 발진하여 출력되고 있음을 입력 클럭과 출력 클럭을 비교 검토하므로써 알 수 있었다.

<표 1>과 [그림 5], 6, 7, 8 등을 통하여 고조파 및 저조파에서도 잘 적응 동조하는 동기 발진기의 출력 특성 등을 알 수 있었다. 이것은 동기 발진기가 동기형 주파수 체배기 또는 분주기로서 사용 가능함을 제시하는 것이다. <표 1>에 따르면 고조파 입력 주파수에 대해서는 넓은 동조 추적 범위를 가지지만, 반대로 저조파 입력 주파수에 대해서는 고조파 입력 주파수보다 훨씬 적은 동조 추적 범위를 알 수 있었다. 이것은 하드웨어적인 측면에서 낮은 주파수 동기를 쉽게 취할 수 있다는 장점과 함께 넓은 추적 범위를 가질 수 있다는 것이 될 것이다. 이러한 넓은 동조 추적 범위 특성은 SS통신 방식이 이용하고 있는 광대역 통신 방식에 잘 부합된다고 할 수 있다. 따라서 동기 발진기를 적용한다면 기존의 DS/SS 동기 방식들 보다도 더 간단하고 안정된 동기 출력이 가능할 것이며, 하드웨어적인 측면에서도 동기, 증폭, 적응 필터, 신호대잡음비 개선 등이 간단히 해결될 것이다.

이와 같은 특성은 위성 통신등의 동기뿐만이 아니라 PCM 등과 같은 광중계 장치 및 마이크로웨이브 통신 장치의 클럭 재생회로에도 적용이 가능할 것이다. 그러나 본 논문에서는 이와 같은 특성이 동기 발진기 통신의 동기 방식을 쉽게 취할 수 있다는 데에 더 큰 장점이 있다고 생각된다.

참고문헌

- [1] R. Dixon, Spread Spectrum System, John Wiley & Son, 1984.
- [2] R. Adler, "A study of locking phenomena in oscillators," Proc. IRE, vol. 34, p. 351, 1946.
- [3] F. Gardner, Phase Lock Techniques, Wiley, 1966.
- [4] T. Flamouropoulos, "An analysis of the nonlinear transconductance in a synchronous oscillator," M. S. thesis. Lehigh Univ, Bethlehem, PA, 1985.
- [5] Kuo, Network Analysis and Synthesis.

New York: Wiley, 1962.

[6] V. Uzunoglu, "Division by noninteger numbers using synchronous oscillators." U.S. Pat. 4. 356. 456., Oct. 26, 1982.

[7] V. Uzunoglu, "Universal clock recovery network for QPSK modems." U.S. Pat. 4. 274. 067., June 16, 1981.

[8] P. Runge, "Phase-locked loops with signal injection for increased pull-in and reduced output phase jitter," IEEE Trans. Commun., vol. COM-24, p.636,1976.

[9] V. Uzunoglu, "Carrier recovery networks for QPSK modems employing synchronous oscillators." U.S. Pat. 4. 355. 404., Oct.19, 1982.

[10] V. Uzunoglu, "Synchronization and synchronous oscillators," in Advances in Communications, vol. 1. New York: Reidel, p.437, 1980.

[11] A. Kesteloot. "A practical direct-sequence spread-spectrum UHF link," ARRL, p.847, Dec. 1990.

[12] M. Armand, "On the output spectral of unlocked driven oscillators," Proc. IEEE, Vol57, p.798, May, 1969.

저 자 소 개

김명덕

1989년 2월 : 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1991년 2월 : 동아대학교 전자공학과 (공학석사)

1998년 6월 : 동아대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

1979년 11월 ~ 1993년 2월 한국통신 근무

1993년 3월 ~ 현재 : 부산정보대학 정보통신계열 조교수

※ 관심분야 확산대역통신, 통신 시스템

박재홍

1988년 : 동아대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 : 동아대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1997년 : 동아대학교 대학원 전자공학과 박사과정수료

박재운

한국 OA학회 논문지 제1권 제1호 참조