

디지털 온도보상 수정발진기에 관한 연구

正會員 李 昌 錫* 正會員 朴 瑛 哲** 正會員 車 均 鉉*

A Study on Digital Temperature Compensated Crystal Oscillator

Chang Seok Lee,* Young Chull Park,** Kyun Hyon Tchah* *Regular Members*

要 約

이동통신 기기에서 온도에 대해서 고안정의 주파수 합성기를 구현함은 중요하다. 그런데, 고안정의 주파수 합성기를 구현하기 위해서는 기준 주파수를 제공하는 발진기가 온도에 대해서 안정해야만 한다. 본 논문에서는 이러한 필요성에 따라서 디지털 방식을 이용한 TCXO가 구현된다. DTCXO는 온도 감지부, 제어부, VCXO로 나뉜다. 구현된 DTCXO의 주파수 안정도는 평균 0.94ppm이다. 이는 아나로그 방식을 이용한 TCXO의 안정도인 2.5ppm과 비교해볼 때, 향상된 결과이다.

ABSTRACT

In mobile communication instruments, realization of the frequency synthesizer with high stability in temperature is very important. In order to realize a high stability frequency synthesizer, the oscillator providing for reference frequency must be stabilized in various temperature. In accordance to this requirement, the TCXO using digital method is realized in this thesis. The DTCXO consists of temperature sensing part, control part and the VCXO. The frequency stability of the realized DTCXO is 0.94 ppm on average. This is an improved result when compared with the 2.5 ppm of the TCXO using analog method.

I. 서 론

이동통신 기기에서 온도 변화에 안정한 주파수 합성기를 구현함은 중요하며 이를 위해서는 주파수 합성기에 기준 주파수를 제공하는 발진기가 온도 변화

에 안정해야만 한다. 이와 같은 문제는 기존의 아날로그 이동통신 기기에서 보다 디지털 이동통신 기기에서 더욱 심각하다. 그러나 발진기에 들어가는 수정 발진자의 공진 주파수는 온도 변화에 불안정하여 발진기의 온도 불안정을 초래한다. 따라서 고안정의 주파수 합성기를 구현하기 위해서는 수정 발진자의 온도 불안정을 해결하는 방법이 요구된다.

수정 발진자로 인한 발진기의 온도 불안정을 해결

*高麗大學校 電子工學科

**大宥工業專門大學 電子通信科

論文番號 : 93-74

하는 방법에는 크게 두가지가 있다. 첫째는 발진기를 항온조에 밀폐함으로써 주파수를 안정화시키는 방법이다. 이 방식으로 구현된 발진기를 항온조 제어 수정 발진기(OCXO: oven controlled crystal oscillator)라고 한다. 이 방식은 좋은 안정도를 가지지만 부피가 크고 가격이 비싸며 전력 소모가 크다는 단점을 가지고 있다. 둘째는 감온 소자로서 온도를 감지하여 수정 발진자에서 본 회로측의 부하 용량을 온도에 따라서 변화시켜 발진 주파수를 안정화시키는 방법이다. 이 방식으로 구현된 발진기를 온도 보상 수정 발진기(TCXO: temperature compensated crystal oscillator)라고 한다.

이 방식은 OCXO에 비해서 가격이 싸고 전력 소모도 작지만 1ppm 이상으로 안정도를 유지하기가 어렵다. 그래서 이 문제를 해결하고자 디지털 온도보상 방식이 대두되었다. 이 방식은 TCXO에 비해서 10배 정도의 안정도를 가지지만 TCXO보다 비싼 가격과 큰 부피를 가진다. 그러나 이러한 문제점은 IC 기술의 발달로 인해 점차 극복되고 있는 추세이다^{[1]~[3]}.

현재 국내에서 디지털 이동통신 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있는 시점에서 이에 적용되는 부품의 개발은 매우 중요하며 디지털 온도보상 수정 발진기의 경우 국내에서는 전혀 개발되어 있지 않으며 일본의 TOKYO DENPA와 TOYOCOM 등에서 개발되어 공급되고 있다. 온도에 따른 주파수 안정도는 약 0.2ppm으로 TCXO의 2.5ppm 보다 매우 안정하며 크기는 30×30×15(mm) 정도이다.

본 논문에서는 디지털 온도 보상 방식을 이용한 디지털 온도 보상 수정 발진기(DTCXO: digital temperature compensated crystal oscillator)의 이론을 정립하고 1ppm 이하의 안정도를 갖는 DTCXO를 구현함으로써 온도 변화에 대해서 안정한 주파수 합성기를 구현하여 궁극적으로는 디지털 이동통신 기기에 적용할 수 있도록 한다.

II. 온도 보상의 이론적 배경

2.1 수정 발진자의 온도 대 주파수 특성

발진기의 온도 불안정성은 발진기에 포함된 수정 발진자의 온도 불안정성에 기인된다. 전형적인 수정 발진자의 온도 대 주파수 특성은 그림 2.1과 같으며 온도 -20℃ ~ +57℃ 사이에서 중심주파수로부터 약 25ppm의 주파수 편차를 보이게된다.

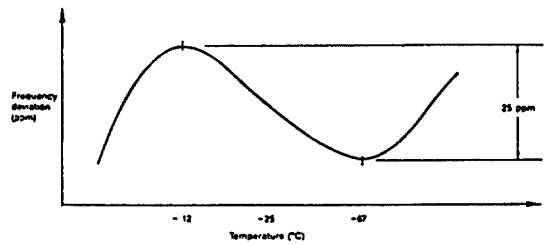


그림 2.1. 수정 발진자의 온도 대 주파수 특성^[2]
Fig. 2.1 Temperature versus frequency characteristics of crystal

2.2 디지털 온도 보상 수정 발진기

2.2.1 디지털 온도 보상 수정 발진기의 개요

OCXO의 안정도와 TCXO의 낮은 전류 소모를 가지는 발진기를 생산하는 유일한 방법은 디지털 온도 보상 방식을 적용하는 것이다. 이 방식은 TCXO 보다 비싸고 부피도 크지만 이 방식의 온도 대 주파수 안정도는 TCXO에 비해서 약 10배 가량 좋다. 발진기의 주파수는 피드백 회로에 삽입된 바랙터 다이오드를 통해서 전기적으로 가변시킬 수 있다. 그리고 교정전압은 동작 온도 범위에 걸쳐 발진기의 출력 주파수를 공칭 주파수(nominal frequency)로 교정한다. DTCXO의 블록도는 그림 2.2와 같다^[4].

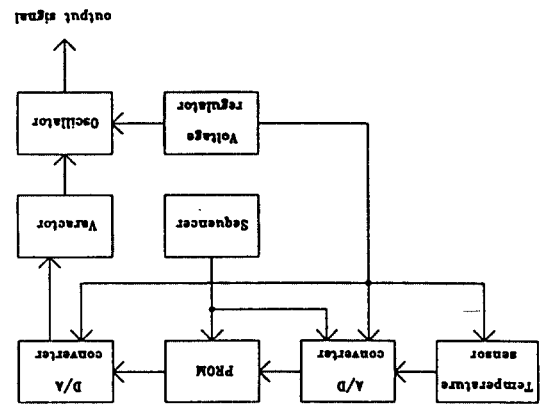


그림 2.2. DTCXO의 블록도
Fig. 2.2 Block diagram of DTCXO

디지털 온도 보상 방식의 개요는 다음과 같다. 우선 온도가 서미스터나 IC 온도 센서 등의 감온 소자에 의해 감지된 후, 이 온도는 전압 값으로 변환되어

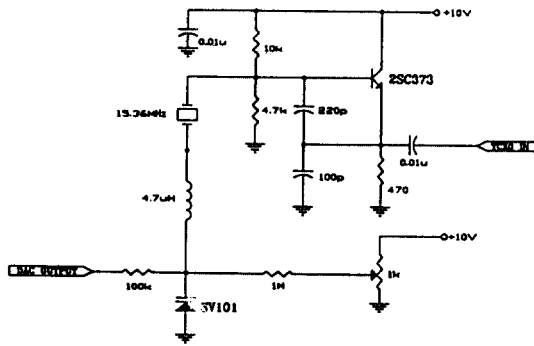


그림 3.2. VCXO의 회로도
Fig. 3.2 Circuit diagram of VCXO

3.1.3 제어부의 설계^{[7][8]}

제어부는 온도 감지부에서 온도 값을 입력 받아 이것을 디지털 값으로 변환시킨 후 온도에 해당하는 교정전압을 계산한다. 이 부분은 크게 A/D 변환기, D/A 변환기, CPU 및 메모리로 나뉜다.

A/D와 D/A 변환기는 각각 AD673과 AD558을 사용한다. 이 부품들은 8비트이며 부가 회로 없이 CPU와 직접 인터페이스가 가능하다. CPU는 Z80을 사용하며 메모리로 ROM은 2764를 RAM은 6116을 사용한다.

3.1.4 온도 보상 프로그램의 설계

온도 보상 프로그램은 크게 온도 감지 및 입력부, 교정전압 탐색 및 계산부, 교정전압 저장부로 나뉜다. AD673과 CPU 간의 인터페이스와 AD673의 타이밍도에 기초하여 온도 감지 및 입력부를 설계한다. 교정전압 탐색 및 계산부는 식(2.3)에 기초한 승, 제산 프로그램이 포함된다. 교정전압 저장부는 DTCXO의 안정도를 결정하는 중요한 부분으로 온도에 해당하는 교정전압이 저장되어 있다.

IV. 실험 및 결과

4.1.1 온도 대 온도 센서 출력 전압

온도를 5℃ ~ 60℃까지 변화시키며 측정한 온도 센서의 출력 전압은 표 4.1과 같다.

표 4.1 온도 대 온도 센서 출력 전압

Table 4.1 Temperature versus temperature sensor output voltage

온도 (℃)	센서출력 (V)
5	0.118
10	0.302
15	0.499
20	0.710
25	0.892
30	1.086
35	1.282
40	1.476
45	1.676
50	1.872
55	2.063
60	2.257

4.1.2 온도 대 VCXO 출력 주파수

항온조에서 온도를 0℃ ~ 60℃까지 변화시키며 측정한 VCXO 출력 주파수는 표 4.2와 같다. 그리고 이 결과를 그래프로 나타내면 그림 4.1과 같다. 그림 4.1에서 보는 바와 같이 온도를 높이면 출력 주파수가 낮아진다. 이것은 수정 발진자의 온도 대 주파수 특성 때문이다.

표 4.2 온도 대 VCXO 출력 주파수

Table 4.2 Temperature versus output frequency of VCXO

온도 (℃)	출력 주파수 (kHz)
0	15360.73
5	15360.69
10	15360.64
15	15360.59
20	15360.56
25	15360.51
30	15360.46
35	15360.41
40	15360.38
45	15360.35
50	15360.32
55	15360.30
60	15360.30

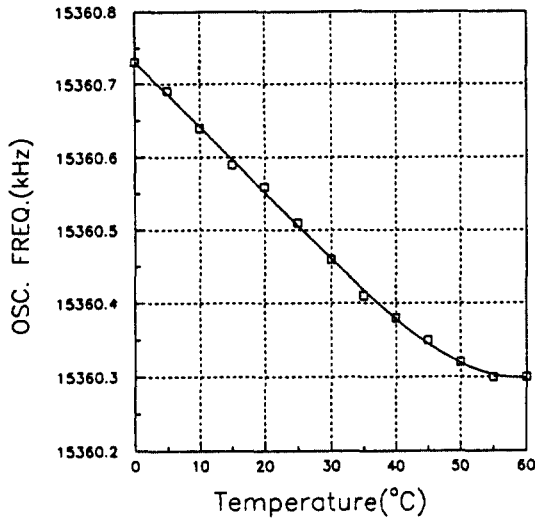


그림 4.1. 온도 대 VCXO 출력 주파수
Fig. 4.1 Temperature versus output frequency of VCXO

4.1.3 교정전압 대 VCXO 출력 주파수

D/A 변환기에서 출력되는 교정전압을 변화시키면서 VCXO의 출력 주파수를 측정하면 표 4.3과 같다. 주위 온도는 25°C이고 이때의 VCXO 출력 주파수는 15360.51kHz이다.

표 4.3 교정전압 대 VCXO 출력 주파수
Table 4.3 Correction voltage versus output frequency of VCXO

교정전압 (V)	출력 주파수 (kHz)
0	15356.93
1	15357.15
2	15357.76
3	15358.25
4	15358.66
5	15359.02
6	15359.40
7	15359.75
8	15360.08
9	15360.42

4.1.4 교정전압의 계산

교정전압의 계산은 표 4.2와 표 4.3에 근거한다. 교정전압의 계산 과정은 다음과 같다. 먼저 출력 주파

수와 공칭 주파수인 15.36MHz 간의 차이를 계산한다. 그후 그 값에 기초해서 표 4.3으로부터 교정전압을 유도한다. 온도 대 교정전압의 관계는 표 4.4와 같다.

표 4.4 온도 대 교정전압
Table 4.4 Temperature versus correction voltage

온도 (°C)	교정전압 (V)
5	7.799
10	7.951
15	8.113
20	8.200
25	8.348
30	8.495
35	8.642
40	8.730
45	8.819
50	8.907
55	8.966
60	8.966

4.1.5 온도 보상된 출력 주파수의 측정

표 4.1, 표 4.4에 기초해서 PROM에 특정 온도에 대한 교정전압을 저장하고 항온조에서 온도를 5°C ~ 60°C까지 변화시키며 출력 주파수를 측정한다. 측정

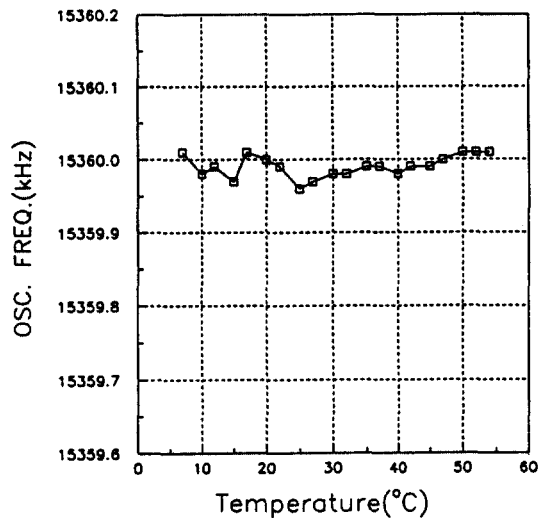


그림 4.2. 온도 대 최종 출력 주파수
Fig. 4.2 Temperature versus final output frequency

표 4.5 최종 출력 주파수

Table 4.5 Final output frequency

온도 (°C)	출력 주파수 (kHz)
5	15359.94
7	15360.01
10	15359.98
12	15359.99
15	15359.97
17	15360.01
20	15360.00
22	15359.99
25	15359.96
27	15359.97
30	15359.98
32	15359.98
35	15359.99
37	15359.99
40	15359.98
42	15359.99
45	15359.99
47	15360.00
50	15360.01
52	15360.01
54	15360.01
55	15358.94
60	15358.93

결과는 표 4.5와 같다.

측정 결과 7°C ~ 54°C의 온도 범위에서 15359.96 ~ 15360.01kHz 범위의 출력 주파수를 얻었다. 이 결과는 온도 보상 전과 비교해 볼때 상당히 향상된 결과이다. 그러나 5°C 이하와 55°C 이상의 온도에서는 출력 주파수가 불안정했다. 이는 온도 센서 및 A/D 변환기, D/A 변환기 등의 동작 온도 범위에 기인됨으로 추측된다. 표 4.5의 결과를 7°C에서 54°C까지 그 래프로 도시한 결과는 그림 4.2와 같다.

4.1.6 온도 대 주파수 안정도

7°C ~ 54°C 범위의 주파수 안정도는 표 4.6과 같다. 주파수 안정도의 평균을 취하면 0.94ppm을 얻는다. 이 결과는 아날로그 방식의 전형적인 주파수 안정도인 2.5ppm에 비해서 향상된 결과이다. 그러나 25°C에서는 2.6ppm으로 다른 온도에 비해 불안정했다.

표 4.6 온도 대 주파수 안정도

Table 4.6 Temperature versus frequency stability

온도 (°C)	주파수 안정도 (ppm)
7	0.65
10	1.30
12	0.65
15	1.95
17	0.65
20	0
22	0.65
25	2.60
27	1.95
30	1.30
32	1.30
35	0.65
37	0.65
40	1.30
42	0.65
45	0.65
47	0
50	0.65
52	0.65
54	0.65

V. 결 론

구현한 DTCXO는 7°C ~ 54°C 범위에서는 15359.96 ~ 15360.01kHz 범위의 주파수를 출력하였고 평균 0.94ppm의 주파수 안정도를 가지나 일부의 온도에서는 1ppm 이상의 주파수 오차를 보였다. 이 결과는 아날로그 방식의 전형적인 주파수 안정도인 2.5ppm 보다 향상된 결과이다. 그러나 TOKYO DENPA나 TOYOCOM 제작품의 0.20ppm에는 미치지 못하였다. 이는 DTCXO를 구현함에 있어 사용된 수정 및 부품의 안정도와 구현된 모듈의 차폐의 미비에 기인하며 온도 보상된 부품 및 차폐로 이를 극복할 수 있다. 더욱 중요한 것은 사용하는 수정 발진자의 주파수 안정도가 매우 좋아야 하는 것이다. 또한 5°C 이하와 55°C 이상에서는 출력 주파수가 불안정했는데, 이는 IC들의 동작 온도 범위에 기인됨으로 추측된다.

따라서 보다 좋은 안정도를 갖는 DTCXO를 구현하기 위해서는 고안정의 수정 발진자가 요구된다. 즉 DTCXO에 사용되는 수정 발진자는 온도에 대해서 비교적 안정하고 매우 낮은 노화(aging)를 가져야만

한다. 또한 DTCXO의 온도 보상 범위를 넓히기 위해서는 사용되는 부품들의 동작 온도 범위가 넓어야 한다. 이와 같이 하여 본 논문에서 사용한 온도 보상 방법을 적용하면 기존의 DTCXO와 같은 고안정도를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 DTCXO는 일반적인 TCXO에 비해 가격도 비싸고 부피도 크다. 따라서 DTCXO가 실용화되기 위해서는 DTCXO의 가격과 부피를 줄이는 연구가 지속적으로 이루어져야만 한다. DTCXO는 향후 GPS(global position system)장비, 고성능 송수신기(high performance communications transceiver), 항해 시스템(navigation system), 스위칭 장비의 기준 주파수를 제공하는 부품으로 그 용도가 확대될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

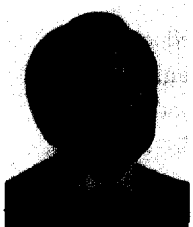
1. "고주파 회로 설계 KNOW HOW," 도서출판 세운, 1988.

2. Steven Fry, "Digital Temperature Compensation for Oscillator," Oscillator Design Handbook, pp.24-26, 1989.2
 3. Paul Faerber, Alan Victor, "CAD Simplifies TCXO Design," Oscillator Design Handbook, pp.7-10, 1988.8
 4. Marvin E. Frerking, "Crystal Oscillator Design and Temperature Compensation," Van Nostrand Reinhold Company, 1978
 5. "Data Acquisition Linear Devices Databook," National Semiconductor사, 1989
 6. "발전회로 활용," 도서출판 세운, 1992
 7. "DATA CONVERSION PRODUCTS DATA-BOOK," Analog Devices사, 1989
 8. "A/D 컨버터의 활용법 (I)," 월간 전자과학 1989년 7월호, pp.2-46

李 昌 錫(Chang Seok Lee) 정회원
 1991년 2월 : 고려대학교 전자전산공학과 졸업
 1993년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년~현재 : 현대전자주식회사 근무



朴 瑛 哲(Young Chull Park) 正會員
 1958年 7月 27日生
 1981年 2月 : 高麗大學校 電子工學科 卒業(工學士)
 1987年 2月 : 高麗大學校 大學院 電子工學科(工學碩士)
 1987年 2月 ~ 1989年 9月 : 三星半導體通信 通信研究所 無線研究室 研究員
 1993年 2月 : 高麗大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學博士)
 1991年 3月 ~ 現在 : 大宥工業專門大學 電子通信科 轉任講師
 ※主關心分野 : 디지털 移動通信



車 均 鉉(Kyun Hyon Tchah) 正會員
 1939年 3月 26日生
 1965年 : 서울大學校 工學士
 1967年 : 美國 일리노이大學校 工學碩士 學位取得
 1976年 : 서울大學校 工學博士 學位取得
 1977年~現在 : 高麗大學校 工科大學 電波工學科 教授

※主關心分野 : CAD 및 通信시스템 等