

## 5 GHz 대역 무선통신용 SHP 혼합기 설계 및 제작

김갑기\* · 안영섭\*\*

\* 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수, \*\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

### Design and Fabrication of the SHP Mixer for the 5 GHz Band Wireless Communication System

Kab-Ki Kim\* · Young-Sup Ahn\*\*

\*Mokpo National Maritime University Faculty of Marine Electronic and Communication Eng

\*\*Mokpo National Maritime University Faculty of Marine Transportation System

**요 약 :** 본 논문은 APDP(Anti-Parallel Diode Pair)를 이용한 5 GHz 대역 무선통신용 서브 하모닉 혼합기를 설계하였다. 기존의 혼합기는 LO와 RF를 혼합하여 두 주파수의 차로써 IF 신호를 얻는다. 그래서 주파수가 높아질수록, 안정되고, 높은 출력을 갖고, 우수한 위상잡음 특성을 갖는 LO 발진기가 필요하다. 그러나 APDP를 이용한 서브 하모닉 혼합기는 LO 신호의 제 2 고조파를 이용하여 혼합 작용을 한다. 따라서 기존의 혼합기에서 필요한 LO 주파수가 1/2로 줄어드는 장점이 있다. 제작된 서브 하모닉 혼합기의 변환손실은 LO 신호전력이 3 dBm일 때, 12.83 dB이다. LO/IF, 2LO/IF, RF/IF, LO/RF의 분리도 특성은 39.17 dB, 58 dB, 34 dB, 67.9 dB이다. 그리고 입력 IP3는 8 dBm이다.

**핵심용어 :** APDP, ISM

**Abstract :** In this paper, sub-harmonic pumped(SHP) mixer using anti-parallel diode pair(APDP) is designed for 5 GHz band wireless communication system. Conventional mixers mix LO with RF, and obtain IF signal from the difference between LO and RF. As the frequency increase, LO signal requires higher LO power, better phase noise characteristics, more stable LO. However, using APDP, the SHP mixer mixes the 2nd harmonics of LO signal. Therefore, the SHP mixer has an advantage that the LO signal frequency required for IF signal is reduced at half value of LO fundamental frequency. When LO power is 3 dBm, the conversion loss of manufactured SHP mixer is 12.83 dB. The isolation of LO/IF, 2LO/IF, RF/IF and LO/RF is 39.17 dB, 58 dB, 34 dB, and 67.9 dB, respectively. For this case, IP3 at input is 8 dBm.

**Key words :** Anti-parallel diode pair, Industrial Scientific Medical,

### 1. 서 론

최근 무선통신 시스템은 멀티미디어 서비스 요구의 증가와 무선전송기술 발달로 인하여 주파수 자원이 고갈되고 있다. 특히 면허가 필요 없는 특정 소전력 무선국 및 ISM 대역 개방에 의해 2.4 GHz 이하의 주파수 스펙트럼이 포화 상태에 있으며 5.8 GHz 대역과 무선 LAN 서비스간의 혼신 및 출력제한 등의 문제로 국내외적으로 전송속도와 주파수 효율이 우위에 있는 5 GHz 대역 주파수 활용방안에 대한 검토가 진행되어 왔다.

2003년 6월 스위스 제네바에서 개최된 WRC-2003회의의 5 GHz 주파수 분배결과 5.150~5.350 GHz와 5.470~5.725 GHz 대역에 대하여 1차 이동업무로 주파수가 분배됨에 따라 앞으로 5 GHz 대역은 HDTV 등 급속히 증가할 멀티미디어 데이터 전송을 위한 중요한 무선접속 수단의 하나로 활용될 것으로 예상된다. 특히 5 GHz 대역은 국내 전파환경에서 실내의

무선통신용으로 활용이 가능하기 때문에 실내에서는 홈 네트워크를 위한 수단으로 실외에서는 무선 LAN을 통한 초고속 무선 인터넷과 광대역 고정 무선 접속을 통한 기간망 접속 링크 등의 다양한 적용분야가 기대되고 있다.

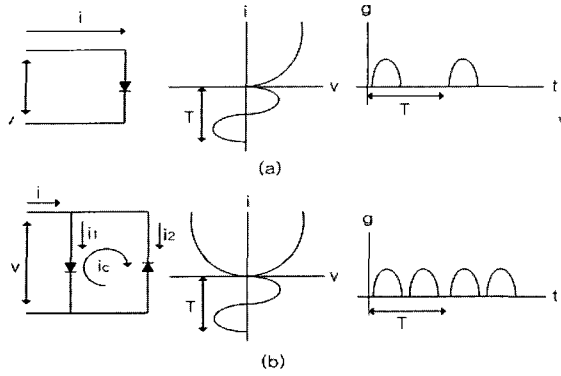
따라서 본 논문은 APDP를 이용하여 5 GHz 대역의 무선통신용 서브 하모닉 혼합기를 설계하여 제작하였다. APDP를 이용한 서브 하모닉 혼합기는 LO의 제 2고조파와 RF를 혼합하여 IF 주파수를 얻기 때문에, 기존의 수신기에 필요한 LO의 주파수를 1/2로 줄일 수 있다.(Cohn et al., 1975, Azevedo, et al., 1999, itoh et al., 1991, Tiberiu et a., 1982).

### 2. APDP 혼합기 이론

APDP를 이용한 서브 하모닉 혼합기는 다이오드의 컨덕턴스에 의하여 변화된 파형의 특성을 해석하여 이론을 정립할 수 있다.

\* 대표저자 : 김갑기(정회원), microkim@mail.mmu.ac.kr. 061) 240-7119

\*\* 정회원, ysahn@mail.mmu.ac.kr 061) 240-7065



(a) single diode mixer (b) APDP mixer  
Fig. 1 Mixer Circuit

Fig. 1은 단일 다이오드와 anti-parallel 다이오드로 구성했을 때의 혼합기 회로로서 Fig. (a)에 있는 단일 다이오드 혼합기에 식 (1)과 같은 전압파형을 인가한다.

$$V = V_{LO} \sin \omega_{LO}t + V_S \sin \omega_s t \quad (1)$$

이 때, 단일 다이오드에는  $m\omega_{LO} \pm n\omega_s$ 의 모든 주파수 성분을 갖는 전류를 얻는다. 여기서 m과 n은 정수이다.

Fig. (b)에서 각 다이오드에 흐르는 전류와 미소 컨덕턴스는 다음의 식(2), 식(3)과 같다.

$$i_1 = i_s(e^{aV} - 1) \quad g_1 = \frac{di_1}{dV} = ai_s e^{aV} \quad (2)$$

$$i_2 = -i_s(e^{-aV} - 1) \quad g_2 = \frac{di_2}{dV} = ai_s e^{-aV} \quad (3)$$

또한 여기서 합성된 시변 미소 컨덕턴스 g에 대한 식은 다이오드 각각의 미소 컨덕턴스의 합으로 나타낼 수 있다.

$$g = g_1 + g_2 = ai_s(e^{aV} + e^{-aV}) = 2ai_s \cosh aV \quad (4)$$

이 식에 의하면 미소 컨덕턴스 g는 Fig. (b)에서 보는 것처럼 우 대칭이다. 단일 다이오드 혼합기와 비교하여 LO 신호의 한 주기에 대해서 컨덕턴스의 펄스의 수는 2배가 된다.

단지 LO 신호가 다이오드의 컨덕턴스를 변조하는 일반적인 경우에 대해서는  $V = V_{LO} \cos \omega_{LO}t$ 를 식 (4)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$g = 2ai_s \cosh(aV_{LO} \cos \omega_{LO}t) \quad (5)$$

식 (5)는 다음과 같은 급수로 확장될 수 있다.

$$g = 2ai_s [I_0(aV_{LO}) + 2I_2(aV_{LO}) \cos 2\omega_{LO}t + 2I_4(aV_{LO}) \cos 4\omega_{LO}t + \dots] \quad (6)$$

여기서  $I_n(aV_{LO})$ 는 2종 Bessel 함수이다. 식 (6)에서 보면 컨덕턴스 항은 DC항과 LO의 우수 고조파의 합으로 되며, 인

가된 전압이  $V = V_{LO} \sin \omega_{LO}t + V_S \sin \omega_s t$  인 경우에 있어서 Fig. 1(b)의 전류는 식 (7)과 같다.

$$i = g(V_{LO} \cos \omega_{LO}t + V_S \cos \omega_s t) \quad (7)$$

식 (7)은 다음과 같은 급수로 확장 정리될 수 있다

$$i = A \cos \omega_{LO}t + B \cos \omega_s t + C \cos \omega_s t + D \cos 5\omega_{LO}t + E \cos(2\omega_{LO} + \omega_s)t + F \cos(2\omega_{LO} - \omega_s)t + G \cos(4\omega_{LO} + \omega_s)t + H \cos(4\omega_{LO} - \omega_s)t + \dots \quad (8)$$

식 (8)에서 전체 전류 성분은  $m\omega_{LO} \pm n\omega_s$ 에서  $m + n$ 이 기수인 정수 즉,  $m + n = 1, 3, 5 \dots$ 인 경우에만 존재한다. 각각의 전류  $i_1$ 과  $i_2$ 를 푸리에 변환하면, 각 전류의 어떤 항은 위상이 180°차이를 보인다. 이러한 항은 외부 전류 i에 포함되지 않고, 두 다이오드가 형성하는 루프내에서 순환한다.

Fig. 1(b)에서의 순환 전류  $i_c$ 는 다음과 같이 수학적으로 나타낼 수 있다.

$$i_c = (i_2 - i_1) / 2 = i_s (\cosh aV - 1) \quad (9)$$

$$V = V_{LO} \cos \omega_{LO}t + V_S \cos \omega_s t \quad (10)$$

식 (10)을 식 (9)에 대입하여 cosh에 대하여 확장하면, 다음 식과 같아진다.

$$i_c = i_s [1 + \frac{(V_{LO} \cos \omega_{LO}t + V_S \cos \omega_s t)^2}{2!} + \dots - 1] = \frac{i_s}{2} [V_{LO}^2 \cos^2 \omega_{LO}t + V_S^2 \cos^2 \omega_s t + 2V_{LO}V_S \cos \omega_{LO}t \cos \omega_s t + \dots] = \frac{i_s}{2} \left\{ \frac{V_{LO}^2 + V_S^2}{2} + \frac{V_{LO}^2}{2} \cos 2\omega_{LO}t + \frac{V_S^2}{2} \cos 2\omega_s t + V_{LO}V_S [\cos(\omega_{LO} - \omega_s)t + \cos(\omega_{LO} + \omega_s)t + \dots] \right\} \quad (11)$$

식 (11)로부터 순환 전류는  $m + n$ 이 우수로 나타나는 성분만 존재한다. 그러므로 식 (8)과 식 (11)에서 APDP를 이용한 혼합기의 스펙트럼 특성은  $m + n$ 이 기수인 성분만 남고,  $m + n$ 이 우수인 항은 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다.

### 3. APDP를 이용한 SHP 혼합기 설계

본 연구에서는 RF 주파수는 IEEE 802.11a의 Upper U-NII 대역(5725 MHz - 5825 MHz)의 중심 주파수인 5765 MHz, IF 주파수는 IEEE 802.11b에서 사용되고 있는 374 MHz로 설정

하였으며 LO 주파수는 2695.5 MHz로 정하여 설계하였다.

FR4로 유전체의 비유전율은 4.4 기판의 두께는 0.8mm, 동박 두께는 18 $\mu$ m,  $\tan \delta = 0.02$ 의 특성을 가지고 있는 기판을 사용하였으며, 소자는 다이오드가 내부적으로 Anti-parallel로 구성되어 있기 때문에 한 개의 부품으로 서브 하모닉 혼합기를 구성하기가 용이한 HP 사의 HSMS - 8202를 사용하였으며, 시뮬레이션 툴은 Ansoft 사의 디자이너를 사용하였다.

본 논문에서는 Fig. 2와 같은 구조를 갖는 서브 하모닉 혼합기를 설계하였으며 다이오드 양옆에는 LO 주파수의  $\lambda/4$ 의 개방 스테르브와 단락 스테르브로 연결되어 있다.

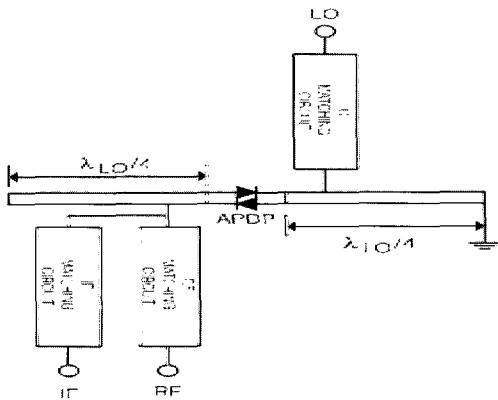


Fig. 2 Microstrip SHP mixer

개방 스테르브는 LO 주파수가 다이오드의 왼편에서 단락회로가 되어 효과적으로 접지가 되도록 하고, 단락 스테르브는 다이오드의 오른쪽에서 개방회로가 되어 LO 신호가 인가되도록 한다. RF 정합회로는  $\lambda/4$  평형 결합선로를 이용한 대역통과여파기로 설계하였다[5].

Fig. 3은 LO의 전력을 증가시키면서 LO 포트에서의 반사계수를 측정하는 것이다.

LO 전력이 5 dBm 일 때, 측정된 LO 포트의 반사계수는  $0.143 \angle -36.17^\circ$  이다. 이 값을 이용하여, 공역 복소수 값으로 LO 정합회로를 설계하였다.

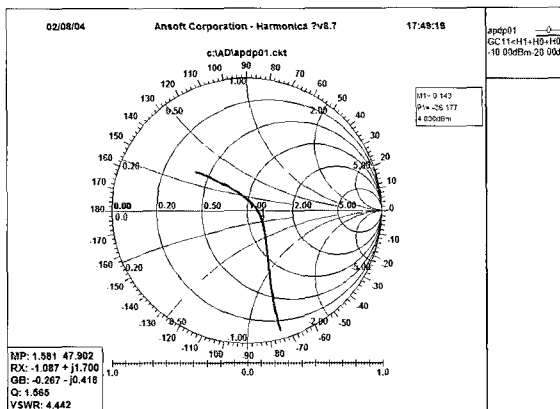


Fig. 3 LO port reflection coefficient

IF 정합회로는 LO 주파수와 RF 주파수에 대해서  $\lambda/4$  길이를 갖는 개방 스테르브로 설계하여, IF 포트의 분리도 특성을 개선할 수 있도록 하였다.

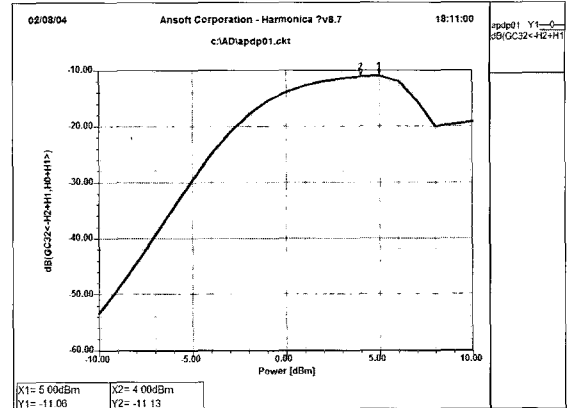


Fig. 4 Conversion loss vs. LO power

Fig. 4는 LO 전력을 -10 dBm에서 10 dBm까지 변화시켰을 때, 혼합기의 변환손실을 나타내고 있으며, LO 전력이 5 dBm 일 때 변환손실이 11 dB 임을 알 수 있었다.

Fig. 5는 LO 전력이 5 dBm 이고, RF 전력이 -20 dBm 일 때, IF 포트에서의 출력 스펙트럼을 나타내고 있다.

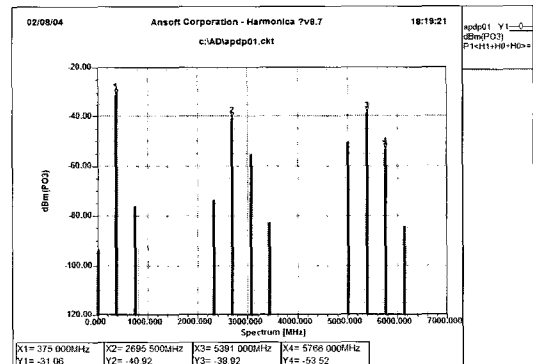


Fig. 5 Output spectrum of IF port

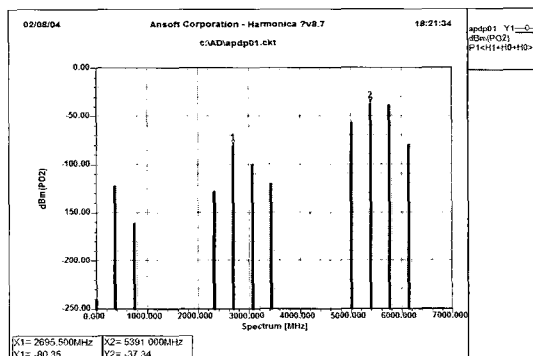


Fig. 6 Output spectrum of RF port

IF 주파수인 374 MHz에서는 -31 dBm으로 변환손실은 11 dB이다. LO 주파수인 2695.5 MHz에서는 -40.9 dBm, 2배의

LO 주파수인 5391 MHz에서는 -38.9 dBm, RF 주파수인 5765 MHz에서는 -53.52 dBm이다. 이것에서 LO/IF, 2LO/IF, RF/IF 분리도 특성은 각각 45.9 dB, 43.9 dB, 33.52 dB 임을 알 수 있다.

Fig. 6은 LO 전력이 5 dBm이고, RF 전력이 -20 dBm 일 때, RF 포트에서의 출력 스펙트럼을 나타내고 있다.

LO 주파수인 2695.5 MHz에서는 -80.3 dBm, 2배 LO 주파수인 5391 MHz에서는 -37.3 dBm, 이것에서 LO/RF, 2LO/RF 분리도 특성은 85.3 dB, 42.3 dB 임을 알 수 있다.

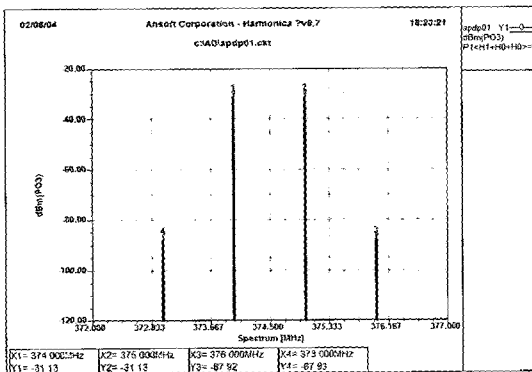


Fig. 7 IMD of mixer

Fig. 7은 RF 주파수는 5765 MHz와 5766 MHz이고, RF 입력전력을 -20 dBm/1tone으로 했을 때, IF 포트에서의 출력 스펙트럼이다.

위의 결과에서 보여주는 것과 같이 기본과 성분은 -31 dBm, IMD 성분은 -87.92 dBm 이고, 혼합기의 IIP3는 8.4 dBm임을 알 수 있다.

#### 4. 실험 및 고찰

본 논문에서 설계한 5.8 GHz 무선통신용 서브 하모닉 혼합기를 FR4 기판에 실제 제작하였다. 실제 제작된 기판의 크기는 가로 60mm× 세로 84mm 이다.

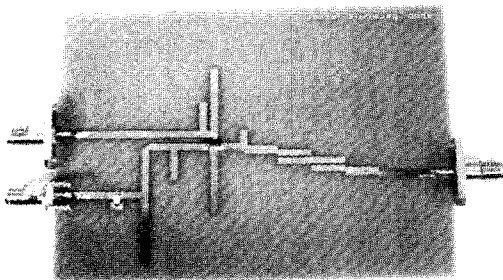


Fig. 8 Photograph of mixer

Fig. 8은 설계 제작한 혼합기의 실물사진을 보여주고 있다. Fig. 9는 LO 전력에 변화에 따른 변환손실을 나타낸다. LO 전력이 3 dBm에서 변환손실이 12.83 dB로 최소의 변환손실을 나타냄을 알 수 있었다.

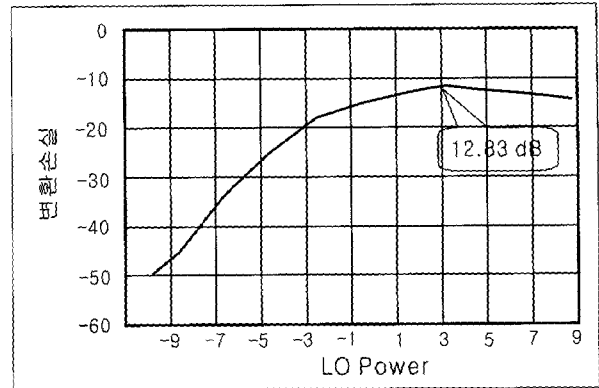
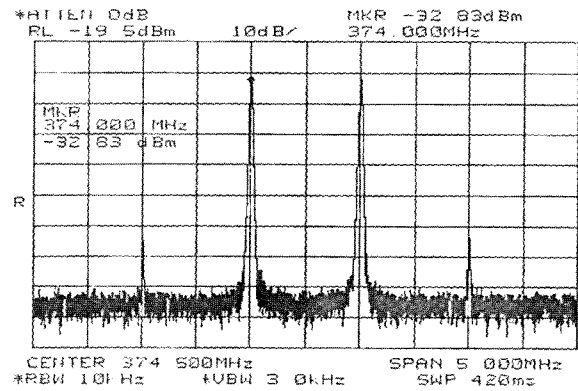
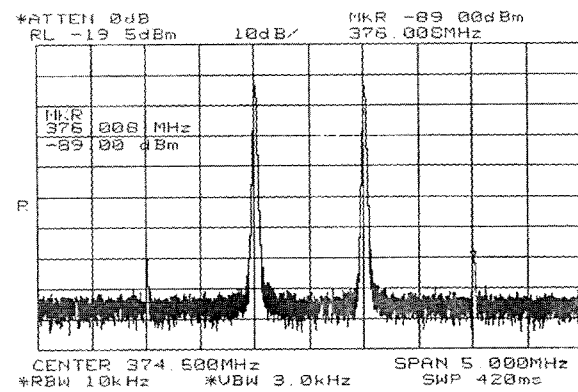


Fig. 9 Conversion loss vs LO power



(a)



(b)

Fig. 10 IMD of mixer at RF power -20dBm/1tone

Fig. 10은 LO 전력 3 dBm, RF 입력전력을 -20 dBm/1tone으로 했을 때 혼합기의 IMD 특성을 보여주고 있다.

즉 변환손실은 12.83 dB이고, 기본과 성분은 -32.83 dBm, 3차 IMD 성분은 -89 dBm이며, 입력 IP3는 8 dBm이다.

Table 1은 혼합기의 설계치와 실측정치의 비교 결과이다.

Table 1 The simulated and measured data

항목	설계 결과	측정 결과
RF 주파수	5765 MHz	5765 MHz
LO 주파수	2695.5 MHz	2695.5 MHz
IF 주파수	374 MHz	374 MHz
LO 전력	5 dBm	3 dBm
변환손실	11 dB	12.83 dB
IIP3	8.4 dBm	8 dBm
분리도 특성		
LO/IF	45.9 dB	39.17 dB
2LO/IF	43.9 dB	58 dB
RF/IF	33.52 dB	34 dB
LO/RF	85.3 dB	67.95 dB
2LO/RF	42.3 dB	41 dB

Table 1에서 보여주는 것과 같이 설계 결과 데이터와 측정 결과 데이터가 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 설계 결과 데이터에서는 LO 전력이 5 dBm에서 최소의 변환손실을 얻었으나 실제 측정 결과에서는 3 dBm에서 최소의 변환손실을 얻었다.

### 5. 결 론

마이크로파 통신 시스템에서 송·수신기를 구현할 때, RF 신호를 낮은 IF 주파수로 변환시키기 위해서는 높은 주파수의 LO 발진기가 필요하다. 특히 무선통신 시스템에서 사용되는 발진기의 특성이 전체 시스템에 중요한 영향을 미치기 때문에 LO 발진기는 높은 주파수 안정성과 고 출력특성 및 위상잡음 특성을 고려하여 회로를 구현하여야 한다.

따라서 본 논문에서 설계된 서브 하모닉 혼합기는 LO의 제 2 고조파 성분과 RF를 혼합하여 IF 주파수를 얻을 수 있기 때문에 송수신 시스템의 LO 주파수가 1/2로 줄어드는 장점이 있으며, 제작된 혼합기는 변환손실이 12.83 dB, 입력 IP3는 8 dBm이라는 우수한 특성을 가짐을 확인하였다. 그럼으로 본 논문에서 설계된 서브 하모닉 혼합기는 5 GHz 대역의 근거리 무선통신 시스템에서 활용이 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] A. C. Azevedo Dias, D. Consonni, M.A. Luqueze, 1999 "High isolation sub harmonic mixer", IEEE Microwave Theory Tech-S Proceedings, pp. 378-381.
- [2] David M. Pozar, 1983 "Microwave Engineering.", Addison Wesley., pp. 506-518.
- [3] K. Itoh et al., 1991 "A 40GHz band monolithic even harmonic mixer with an anti-parallel diode pair," IEEE International Microwave Symposium Digest. pp. 879-882.
- [4] M. Cohn, J.E.Degenford, and B. A. Newman, 1975 "Harmonic Mixing with an anti-parallel diode pair," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-23, no.8, pp. 667-673.
- [5] Tiberiu Mazilu and Ashok K. Talwar, 1982 "A harmonic mixer for the 20-40 GHz range", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 1 MTT-30, pp. 106-107, JAN.

원고접수일 : 2004년 6월 29일  
 원고채택일 : 2004년 11월 19일