

근거리 무선통신용 SHP 혼합기 설계에 관한 연구

김철수* , 김갑기*

*목포해양대학교 해양전자통신공학부

목 차

- I. 서 론
- II. APDP 혼합기 이론
- III. SHP 혼합기 설계
- IV. 결 론

I. 서 론

최근 무선통신 시스템은 멀티미디어 서비스 요구의 증가와 무선전송기술 발달로 인하여 주파수 자원이 고갈되고있다. 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 전송 속도와 주파수 효율이 우위에 있는 5GHz 대역 주파수 활용방안에 대한 검토가 진행되어 왔다.

2003년 6월 스위스 제네바에서 개최된 WRC-2003회의의 5GHz 주파수 분배결과 5.150 ~ 5.350GHz와 5.470 ~ 5.725GHz 대역에 대하여 1차 이동업무로 주파수가 분배됨에 따라 앞으로 5GHz 대역은 HDTV 등 급속히 증가할 멀티 미디어 데이터 전송을 위한 중요한 무선접속 수단의 하나로 활용될 것으로 예상된다. 그 중에서도 특히 5.470 ~ 5.725GHz 대역은 국내 전파환경에서 실내의 무선통신용으로 활용이 가능하기 때문에 실내에서는 홈 네트워킹을 위한 수단으로 실내외에서는 무선 LAN을 통한 초고속 무선 인터넷과 광대역 고정 무선 접속을 통한 기간망 접속 링크 등의 다양한 적용분야가 기대되고 있다. 높은 주파수에서 작동하는 안정된 발진기의 구현은 가격이 상대적으로 비싸며, 혼합기에 필요한 적정 LO 전력 레벨을 얻기 위해서는 부가적인 LO회로의 구현이 필요하다. 또한, 우수한 위상잡음 특성을 갖는 발진기의 설계가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 APDP를 이용하여

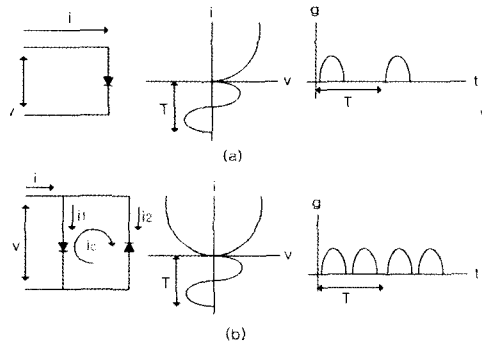
5.5GHz 대역의 무선 랜용 서브 하모닉 혼합기를 설계하였다. APDP를 이용한 서

브하모닉 혼합기는 LO의 제 2고조파와 RF를 혼합하여 IF 주 파수를 얻기 때문에, 기존의 수신기에 필요한 LO의 주파수는 1/2 로 줄일 수 있다.[1-5].

II. APDP 혼합기 이론

APDP를 이용한 서브 하모닉 혼합기는 다이오드의 컨덕턴스 파형을 결정하여 해석할 수 있다.

그림 1은 단일 다이오드와 Anti-parallel 다이오드로 구성했을 때의 혼합기 회로이다. 그림 (a)에 있는 단일 다이오드혼합기에 식 1과 같은 전압파형을 인가한다.



(a) 단일다이오드 혼합기 (b) APDP 혼합기
그림 1. 혼합기 이론

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

이 때, 단일 다이오드에는 $mf_{LO} \pm nf_S$ 의 모든 주파수 성분을 갖는 전류를 얻는다. 여기서 m과 n은 정수이다.

그림 (b)에서 합성된 시변 미소 컨덕턴스 g에 대한 식은 다이오드 각각의 미소 컨덕턴스의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} g &= g_1 + g_2 = ai_S(e^{aV} + e^{-aV}) \\ &= ai_S \cosh aV \end{aligned} \quad (2)$$

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

단지 LO 신호가 다이오드의 컨덕턴스를 변조하는 일반적인 경우에 대해서는 $V = V_{LO} \sin \omega_{LO} t$ 을 식 (2)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$g = ai_S \cosh a(V_{LO} \cos \omega_{LO} t) \quad (3)$$

식 (3)은 다음과 같은 급수로 확장될 수 있다.

$$\begin{aligned} g &= ai_S [I_0(aV_{LO}) + 2I_2(aV_{LO}) \cos 2\omega_{LO} t \\ &\quad + 2I_4(aV_{LO}) \cos 4\omega_{LO} t + \dots] \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $I_n(aV_{LO})$ 는 변형된 2종 Bessel 함수이다. 식 (4)에서 보면 컨덕턴스 항은 DC항과 LO의 우수 고조파의 합으로 되어 있음을 알 수 있다.

인가된 전압이 $V = V_{LO} \sin \omega_{LO} t + V_S \sin \omega_S t$ 인 경우에 있어서는 전류는 식 (5)와 같다.

$$i = g(V_{LO} \sin \omega_{LO} t + V_S \sin \omega_S t) \quad (5)$$

식 (5)는 다음과 같은 급수로 확장 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} i &= A \cos \omega_{LO} t + B \cos \omega_S t + C \cos \omega_S t \\ &\quad + D \cos 5\omega_{LO} t + E \cos(2\omega_{LO} + \omega_S) t \\ &\quad + F \cos(2\omega_{LO} - \omega_S) t + G \cos(4\omega_{LO} + \omega_S) t \\ &\quad + H \cos(4\omega_{LO} - \omega_S) t + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 전류 성분은 $mf_{LO} \pm nf_S$ 에서 $m+n$ 이 기수인 정수 즉, $m+n = 1, 3, 5, \dots$ 인 경우에만 존재한다. 그림 1(b)에서의 순환 전류 i_C 는 다음과 같다.

$$i_C = (i_2 - i_1) / 2 = i_S (\cosh aV - 1) \quad (7)$$

$$V = V_{LO} \cos \omega_{LO} t + V_S \cos \omega_S t \quad (8)$$

식 (8)을 식 (7)에 대입하여 \cosh 에 대하여 확장하면, 다음 식과 같아진다.

$$\begin{aligned} i_C &= i_S [1 + \frac{(V_{LO} \cos \omega_{LO} t + V_S \cos \omega_S t)^2}{2!} + \dots - 1] \\ &= \frac{i_S}{2} \frac{V_{LO}^2 + V_S^2}{2} + \frac{V_{LO}^2}{2} \cos 2\omega_{LO} t + \frac{V_S^2}{2} \cos 2\omega_S t \\ &\quad + V_{LO} V_S [\cos(\omega_{LO} - \omega_S) t \\ &\quad + \cos(\omega_{LO} + \omega_S) t + \dots] \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)로부터 순환전류는 $m+n$ 이 우수로 나타나는 성분만 존재한다. 식 (6)과 식 (9)에서 APDP를 이용한 혼합기의 스퓨리어스 특성은 $m+n$ 이 기수인 성분만 남고, $m+n$ 이 우수인 항은 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다.

III. SHP 혼합기 설계

본 연구에서는 RF 주파수는 IEEE 802.11a의 Upper U-NII대역(5725MHz - 5825MHz)의 중심 주파수인 5775 MHz, IF 주파수는 IEEE 802.11b에서 사용되고 있는 374 MHz로 설정하였으며 LO 주파수는 2695.5 MHz로 정하였다.

혼합기 설계시에 고려사항인 변환손실 및 분리

도 특성은 RF모듈과 변복조 방식에 따라서 결정되기 때문에 본 논문에서는 설계사양을 표 1과 같이 결정하였다.

표 1. 혼합기의 설계사양

항 목	설계 목표
RF 주파수	5775 MHz
LO 주파수	2695.5 MHz
IF 주파수	374 MHz
LO 전력	5 dBm 이상
변환손실	11 dB 이상
IIP3	8 dBm 이상
분리도 특성	
LO/IF	40 dB
2LO/IF	40 dB
RF/IF	30 dB
LO/RF	80 dB
2LO/RF	40 dB

FR4로 유전체의 비유전율은 4.4, 기판의 두께는 0.8mm, 동박 두께는 $18\mu\text{m}$, $\tan \delta = 0.02$ 의 특성을 가지고 있는 기판을 사용하였으며, 이 소자는 다이오드가 내부적으로 Anti-parallel로 구성되어 있어, 한 개의 부품으로 서브 하모닉 혼합기를 구성하기가 용이한 HP 사의 HSMS - 8202를 사용하였다. 따라서 본 논문에서는 그림 2와 같은 구조를 갖는 서브 하모닉 혼합기를 설계하였으며 다이오드 양옆에는 LO 주파수의 $\lambda/4$ 의 개방 스테르브와 단락 스테르브로 연결되어 있다.

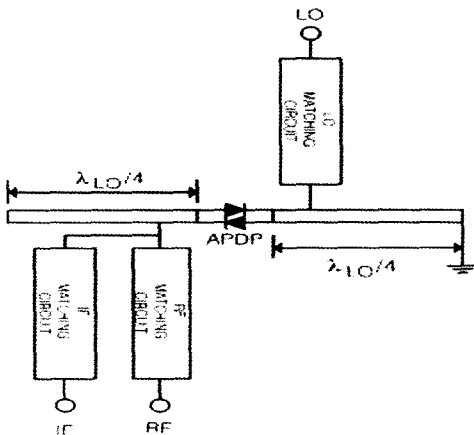


그림 2. 마이크로스트립 서브 하모닉 혼합기

개방 스테르브는 LO 주파수에서 다이오드 왼쪽에서 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.[6]

그림 3은 LO의 전력을 증가시키면서 LO 포트에서의 반사계수를 측정한 것이며, LO 전력이 5 dBm 일 때, 측정된 LO 포트의 반사계수는 $0.143 \angle -36.17^\circ$ 이다. LO 정합회로 설계는 반사계수 값을 근거로 컨주게이트 매칭을 하였다..

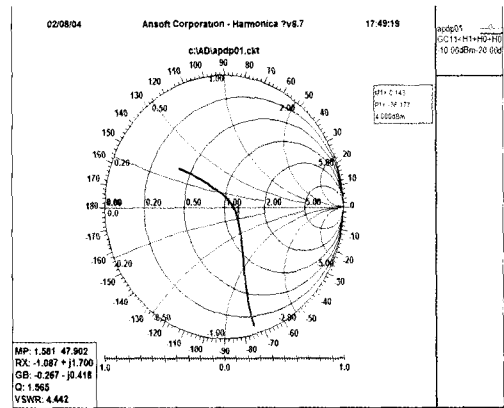


그림 3. LO 포트의 반사 계수

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

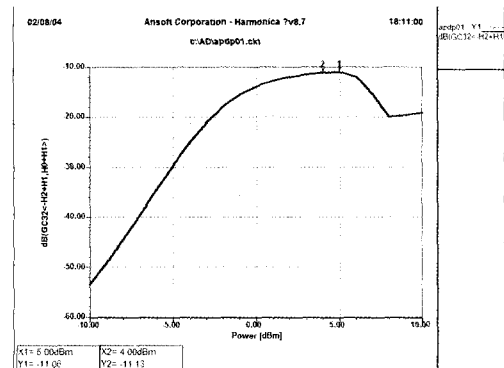


그림 4. LO 전력에 대한 변환손실

그림 4는 LO 전력을 -10 dBm에서 10 dBm까지 변화시켰을 때, 혼합기의 변환손실을 나타내고 있으며, LO 전력이 5 dBm일 때 변환손실이 11 dB임을 알 수 있다.

그림 5는 LO 전력이 5 dBm, RF 전력이 -20 dBm 일 때, IF 포트에서의 출력 스펙트럼이다.

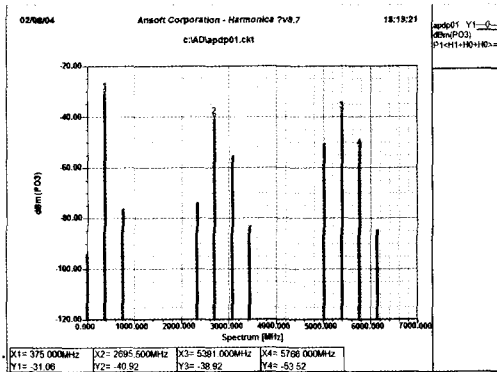


그림 5. IF 포트에서의 출력 스펙트럼

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 45.9 dB, 43.9 dB, 33.52 dB 임을 알 수 있다.

그림 6은 LO 전력이 5 dBm, RF 전력이 -20 dBm 일 때, RF 포트에서의 출력 스펙트럼을 보여주고 있다.

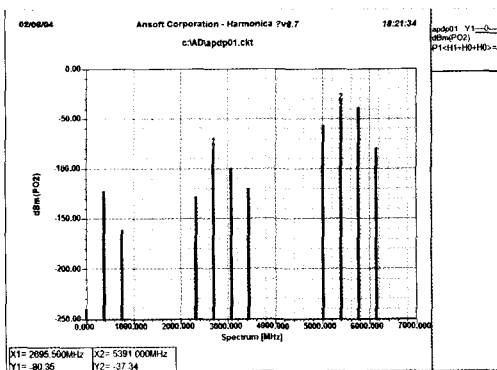


그림 6. RF 포트의 출력 스펙트럼

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.

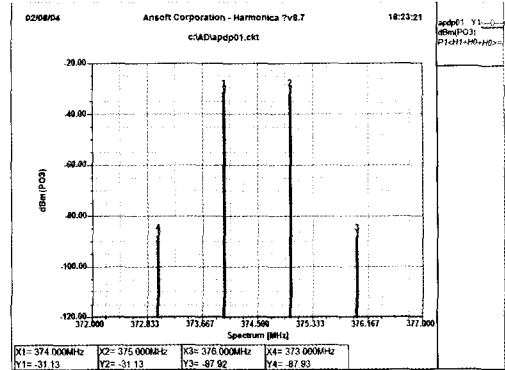


그림 7. 혼합기의 IMD 특성

그림 7은 RF 주파수는 5765 MHz와 5766 MHz이고, RF 입력 전력을 -20 dBm/1tone을 했을 때, IF 포트에서의 출력 스펙트럼이다. 이 때, 기본파 성분은 -31 dBm, IMD 성분은 -87.92 dBm 이다. 혼합기의 IIP3는 8.4 dBm임을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 주파수가 높아질수록 송·수신기를 구현할 때, RF신호를 낮은 IF 주파수로 변환시키기 위해서는 높은 주파수의 LO 발진기가 요구되며, 이는 안정된 발진기의 구현과 고출력을 내는 LO 회로의 구현 및 발진기의 위상잡음이 고려되어야 한다. 그러므로 APDP를 이용한 서브하모닉 혼합기는 LO의 제 2 고조파 성분과 RF를 혼합하여 IF 주파수를 얻기 때문에 송수신 시스템의 LO 주파수가 1/2로 줄어드는 장점이 있다.

따라서 본 논문에서 설계한 서브 하모닉 혼합기는 5.5 GHz 대역의 근거리 무선통신에서 LO 주파수를 1/2로 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 혼합기의 변환손실은 12.83 dB, 입력 IP3는 8 dBm,

그리고 우수한 분리도 특성을 얻을 수 있었다.

저자소개

참고문헌

- [1] M. Cohn, J.E.Degenford, and B.A:Newman, "Harmonic Mixing with an anti-parallel diode pair," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-23, no.8, pp. 667-673, 1975
- [2] A.CAzevedo Dias, D.Consonni, M.A.Luqueze "High isolation sub harmonic mixer" IEEE MTT-S Proceedings, pp. 378-381, 1999
- [3] K. Itoh et al., "A 40GHz band monolithic even harmonic mixer with an anti-parallel diode pair," IEEE International Microwave Symposium Digest, pp. 879-882, 1991
- [4] TIBERIU MAZILU and ASHOK K. TALWAR "A harmonic mixer for the 20-40 GHz range" IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 1 MTT-30, pp. 106-107, JAN. 1982
- [5] David M. Pazar, Microwave Engineering, Addison wesley., pp506-518, 1983

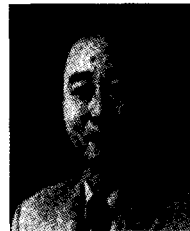


김철수

1964년 한국항공대학교통신공학과 (공학사)

1973년 전국대학교 대학원통신공학 (공학석사)

2004년 현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
※관심분야 : 무선통신, 전자회로설계



김감기

1980년 광운대학교 통신공학과 (공학사)

1984년 전국대학교 대학원전자공학과 (공학석사)

1998년 전국대학교 대학원전자공학과 (공학박사)
2001~2002년 뉴욕시립대학 전자공학과 연구교수
2004년 현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
※관심분야 : 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계