

## 단순화한 GaAs MESFET 주파수혼합기에서 바이어스와 발진 신호에 대한 IMR의 고찰

正會員 柳 然 國\* 正會員 許 權\*\* 正會員 洪 義 錫\*\*\*

## Consideration of IMR for Bias and LO signal at the simplified GaAs MESFET Mixer

Yeon Guk Ryou\*, Keun Her\*\*, Ui Seok Hong\*\*\* *Regular Members*

### 要 約

본 논문은 상향 주파수 변환에 의한 12GHz/14GHz의 주파수혼합기를 설계 구현하였다. 두 입력 신호의 전력레벨 및 바이어스에 의한 고조파 및 상호변조 전력레벨의 변화를 고찰, 이를 이용하여 전력레벨의 상호변조(Intermodulation ratio:IMR)비를 얻어 구현된 주파수혼합기의 정확한 동작조건을 보였다. 결과적으로 얻은 최적의 동작조건은 신호의 전력레벨이 -30[dBm]이하이며, 국부발진 전력레벨은 -2[dBm]이하였다. 그때의 바이어스 조건은  $V_{bs}$ 가 2.7[V]이며,  $V_{gs}$ 는 -0.2[V]였다.

### ABSTRACT

This paper is designed and implemented mixer of 12GHz / 14GHz as up-conversion. Observation that harmonics and intermodulation power level varied by two signal power level and bias obtained operation points of mixer. Finally, optimum operation points shows that  $P_{RF}$ (radio signal frequency power level),  $P_{LO}$ (local oscillation power level) is below -30[dBm], -2[dBm] respectively. Simultaneously  $V_{bs}$  is 2.7[V] and  $V_{gs}$  is -0.2[V].

### 1. 서 론

현재 많은 종류의 주파수혼합기가 소개되어 각종 통신시스템에서 응용되고 있으며, 기존의 다이오드를 이용한 주파수혼합기보다 우수한 GaAs MESFET에 의한 MMICs(Monolithic Microwave Integrated Circuits)화를 목적으로 연구가 활발히 진행되고 있

\*충주산업대학교 전자공학과  
\*\*평운대학교 전자통신공학과  
\*\*\*평운대학교 전자공학과  
論文番號: 9462  
接受日字: 1994年 2月 26日

다. 주파수혼합기는 그 특성상 고조파(Harmonics) 및 상호변조(Intermodulation : IM)가 발생한다. 주파수혼합기는 이러한 고조파 및 상호변조를 이용하여 필요한 주파수를 얻는다.

주파수혼합기의 IM에 끼치는 원인은 소자의 비선형성과 두 신호의 상호영향, 그리고 바이어스등이 있다. 두 신호의 상호영향에 대하여 Beane은 다이오드를 이용한 주파수혼합기의 실험적 결과로 국부발진 전력레벨(Local Oscillation Power Level :  $P_{LO}$ )과 상호 변조 전력레벨(IM Power Level :  $P_{IM}$ )의 관계를 언급하였다. 즉, 최대IM전력의 측면에서 저차 상호변조 주파수(Low-order IM Frequency)는 고차 상호변조 주파수(High-order IM Frequency)보다 더 높은  $P_{LO}$ 에서 발생하며, 각 IM 주파수에서 IM전력은 최대가 될때까지 반복해서 증가한 후  $P_{LO}$ 가 증가한 것만큼 감소하며, 여기서 반복된 횟수는 IM의 차수에 따른다. 또,  $P_{LO}$  동작점(LO operation point)과 IM의 차수에 따라 임의 IM주파수의 전력상하는  $P_{LO}$ 의 증가를 초래한다<sup>11)</sup>. Pucel은 다이오드 주파수혼합기와의 비교를 통해서 GaAs MESFET를 이용한 주파수혼합기가 3차 IM 차단점과 1dB압축점이 10dB정도 높으며, 이득과 신호왜곡 역시 10dB가량의 잇집이 있는 것을 확인하였다<sup>12)</sup>.

본 논문은 ATF-13736 GaAs MESFET를 이용하여 12GHz/14GHz의 상향 주파수 변환에 의한 주파수혼합기를 실제 CAD인 LINMIC+를 이용하여 설계 구현하였으며<sup>13)14)</sup>, 바이어스 및 입력 전력레벨의 변화에 따른 출력 전력레벨을 고찰하였다. 필요한 중간주파수 외에 국부발진 주파수의 고조파 및 IM의 변화를 알아보았다.  $P_{RF}$ (Radio frequency power level) 및  $P_{LO}$ , 그리고 바이어스의 변화에 따른 상호변조비(Inermodulation Ratio : IMR)의 고찰로 최적의 주파수혼합기 동작점을 실험적으로 추출하여 보았다.

## II. 설계 및 제작

본 논문은 GaAs MESFET를 사용하여 마이크로웨이브 설계 툴(Tool)인 LINMIC+로 상향주파수변환에 의한 12GHz/14GHz의 주파수혼합기를 설계 구현하였다. 회로에 이용한 기판은 유전율이 2.52, 기판의 높이가 0.54[mm], 동박의 두께가 0.018[mm]인 테프론 기판을 이용하였다. 회로의 구성은 신호 주파수 입력 포트의 경우 대역통과여파기를 이용하

여 DC 차단용 물론 국부발진 신호의 입력포트와의 분리도 문제도 함께 해결할 수 있게 하였다.

국부발진 신호의 주입은 정합회로에서 바라 본 반사계수 및 임피던스를 해당 주파수(2GHz)에 가능한 한 50[ $\Omega$ ]에 정합하였다. LO 포트는 DC차단용으로 1000[pF]의 칩 캐패시터를 사용하였으며, L-C 스트립으로 구현하였다. 동시에 입력 정합회로에서는 중간 주파수(14.5GHz)에 대하여  $\lambda/2$ 의 단락 스테르브를 달아 주었다. 단자의 집속은 각 단자와 동일한 임피던스로 하였으며, 길이는 위상을 고려하여, 각각  $\lambda/16$ ,  $\lambda/4$ 로 하였다. 출력정합은 신호주파수에 대하여  $\lambda/4$ 개의 개방스테르브를 달아 주었다.

바이어스의 주입은 입·출력단에서 입·출력 주파수에 대하여 또 다른 정합으로 위치 및 길이를 고려하였으며, 바이어스 라인의 폭은 0.2[mm]로 하였고, 바이어스 안정화를 위해서 100[pF]의 칩 캐패시터를 이용하였다. 균일한 집지면을 유지하고 발전가능성을 배제하기 위하여 3[mm]간격으로 0.5[mm]의 홈을 내어 와이어로 완전히 집지하였다.

LINMIC+로 최적화하고, 음화필름으로 만든다 음, 사진분식방법을 사용하여 예정된 기판을 얻었으며, 그위에 부품들을 실장하였다. 그림 1은 혼합기의 설계도이다. 그림 2는 기생성분을 고려한 모델링한 소자의 소신호 등가모델이며 표 1은 추출한 모델링 파라메타 값이다. 그림 3은 시뮬레이션은 통해 얻어낸 각 포트에서의 반사계수이다.

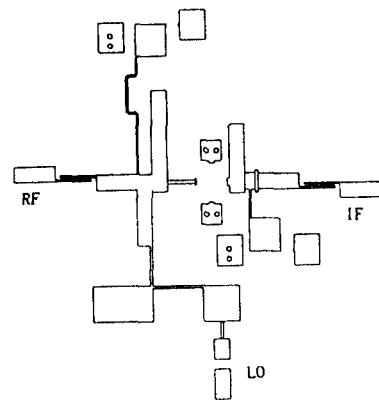


그림 1. 설계도  
Fig. 1. Layout of implemented mixer

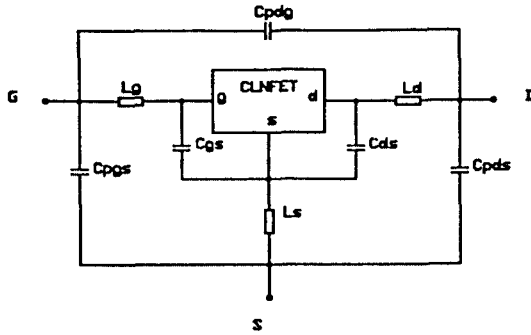


그림 2. 모델링에 이용한 소자의 등가모델  
Fig. 2. Equivalent model of device modelling

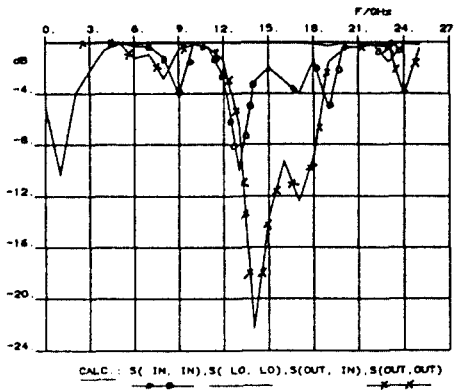


그림 3. 입출력 반사계수  
Fig. 3. In/Output Reflection coefficient.

### III. 측정 및 결과

본 논문에서 주요관점은 고조파 및 상호변조 성분의 변화로 각각 다른 환경에서 이들 고조파 및 상호변조의 변화를 비교하여 정확한 동작점을 찾는 것이다. 즉, 신호 및 국부발진 성분 그리고 바이어스에 따른 중간주파수 및 고조파 그리고 상호변조 성분을 추출하여 신호주파수 및 중간주파수 성분을 기준으로 하여 전력비(Power of ratio) 또는 IMR을 비교하는 것이다. 이와 같이 각각의 주파수성분에 대한 IMR의 비교는 주파수혼합기의 다양한 특성을 추출하여 최적의 동작점을 예측한다. 측정조기에 바이어스를 조정하여 중간주파수에 대한 영상 주파수(Image frequency) 성분은 최대한 억제한 후 본 측정에 임하였다. 그리고 RF 신호원과 LO 신호원이 출력레벨은 발진기의 출력레벨표시와 실제 출력레벨 간에 오차가 있으므로 스펙트럼 분석기를 사용하여 확인하는 것이 정확한 측정을 위한 선행조건이라 할 것이다. DC 차단용으로 사용된 대역통과여파기의 삽입손실은 약 -0.8dB이며, 바이어스 주입은 주전송로에서의 전송손실은 약 -0.5dB이고, 반사계수는 -25dB로 나타났다. 그림 4는 주파수혼합기의 측정도이며, 감쇄기(Attenuator)를 이용하여 신호주파수는 -30dBm 정도로, 국부발진 신호는 10dBm~10dBm 정도까지 가변시켜 최대한 통신시스템의 환경과 동일하게 하였다. 그림 5는 바이어스를 가하기 전에 8GHz에서 최대의 자연 혼합상태를 보인다.

측정 결과는 다음과 같다.

- 1) 신호 전력에 따라 두 입력 신호의 기본성분 및 중간 주파수 성분 그리고 3차 상호변조 성분 및 국부발진 주파수의 고조파성분의 변화를 나타낸다. 측정 환경은 소오스에 대한 드레인 및 게이트 전압이 각각 2[V], 0[V]이며, PLo는 5[dBm]이다. 그림 6은 신호전력의 변화에 출력의 변화를 나타내고 있다.

표 1. 추출한 GaAs FET의 모델링 파라메타

Table. 1. Modelling parameter of GaAs FET equivalent model.

| Rgs     | Rds    | Rdg     | Gm     | Cgs    | Cdg    | Cds   | Rg      | Rs      |
|---------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|
| 62.1ohm | 124ohm | 1.36ohm | 73.9mS | 122fF  | 48.8fF | 57fF  | 3.05ohm | 8.57ohm |
| Rd      | Cps    | Cpd     | Lg     | Ls     | Ld     | Cpgs  | Cpdg    | Cpds    |
| 5.28ohm | 206fF  | 72.5fF  | 1.07nH | 48.5pH | 591pH  | 163fF | 0.210fF | 38.3fF  |

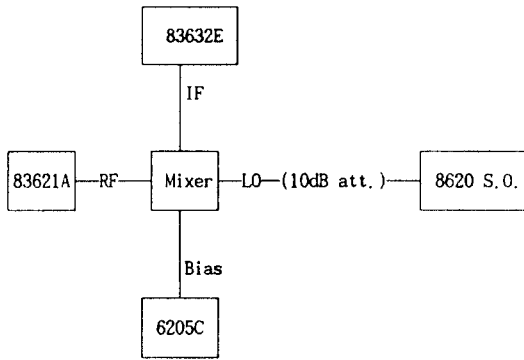


그림 4. 측정도  
Fig. 4. Measurement diagram.

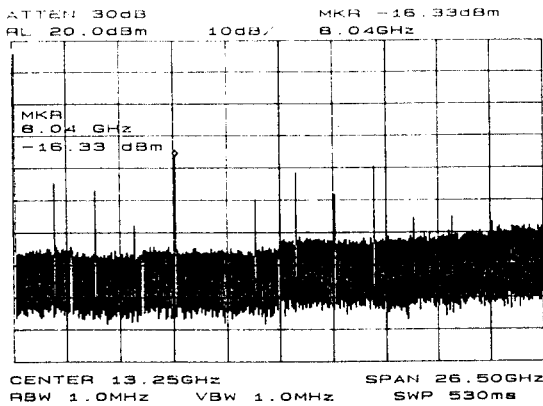


그림 5. non bias이며  $P_{RF}$ : 30dBm,  $P_{LO}$ : +20dBm인  
때 혼합상태

Fig. 5. Mixing condition at non bias.

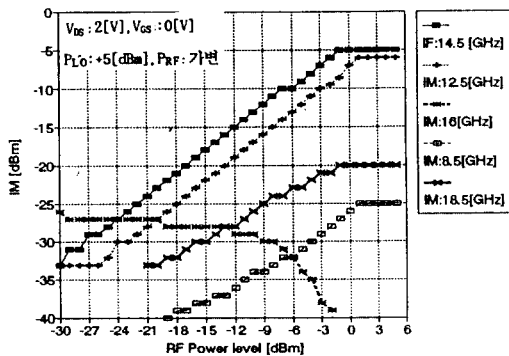


그림 6. 신호전력의 변화에 따른 PIM의 변화  
Fig. 6. IM power for variable  $P_{RF}$

2) 국부발전 주파수의 전력레벨의 변화에 따라 중간 주파수 및 기본 주파수와 고조파 성분의 변화로 그림 7의 (a)는  $V_{DS}$ 가 2[V],  $V_{GS}$ 가 0[V],  $P_{RF}$ 가 30[dBm] 일때  $P_{LO}$ 를 5dBm~+19dBm 까지 가변했을때의 변화이다. 중간주파수와 국부발전 주파수의 8차 고조파까지 전력레벨의 변화를 보인다. (b)는 기본파(12.5GHz)의 변화에 대해서 동일한 조건에서  $P_{LO}$ 가 5dBm~+6dBm 에서 전력레벨의 변화를 보인다.

3) 바이어스 변화에 대한 출력응답의 변화를 보았다. 그림 8의 (a)는  $V_{GS}$ 가 0[V],  $P_{RF}$ 가 30[dBm],  $P_{LO}$ 가 0[dBm]일때,  $V_{DS}$ 를 0.2~4.0[V]까지 가변하였을때 기본파 및 1M성분의 변화를 보이며, 2.7~4[V]에서 약 2dB 5dB의 이득을 볼 수 있다. 그림 8의 (b)는  $V_{GS}$ 가 0.2[V],  $P_{RF}$ 가 30[dBm],  $P_{LO}$ 가 0[dBm]일때,  $V_{DS}$ 를 1~4.0[V]까지 가변하였을때 8차 고조파까지의 전력레벨 변화를 나타낸다. 그림 9의 (a)는  $V_{DS}$ 가 2[V],  $V_{GS}$ 가 0.2[V],  $P_{RF}$ 가 30[dBm],  $P_{LO}$ 가 0[dBm]일때 전력레벨의 측정 결과이며, 그림 9의 (b)는 Span이 50MHz일때의 혼합상태를 나타낸다. 그림 10은  $V_{DS}$ 가 3[V],  $V_{GS}$ 가 0.2[V],  $P_{RF}$ 가 30[dBm],  $P_{LO}$ 가 1[dBm]일때의 혼합상태로 중간주파수에서 약 2dB의 이득을 보이주고 있다.

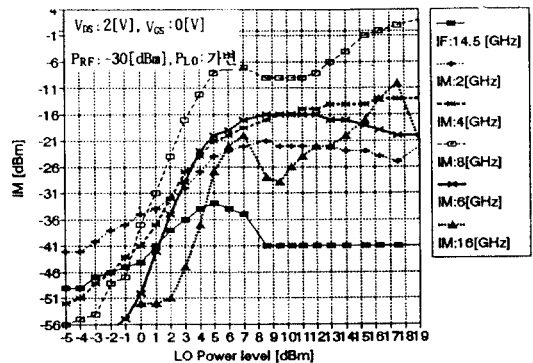


그림 7. (a) $P_{LO}$ 에 대한  $n f_{LO}$ 의 변화  
Fig. 7. (a) $n f_{LO}$  power for  $P_{LO}$ .

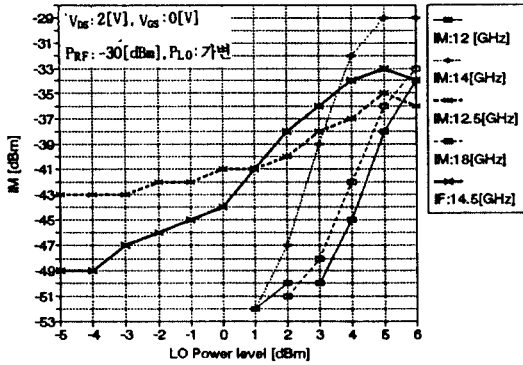


그림 7. (b) P<sub>LO</sub>에 대한 P<sub>IM</sub>의 변화  
Fig. 7. (b) P<sub>IM</sub> for P<sub>LO</sub>.

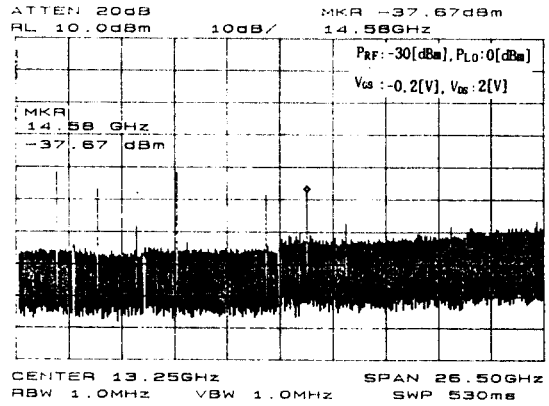


그림 9. (a) 전력레벨의 측정 결과,  
Fig. 9. (a) Measured mixing result.

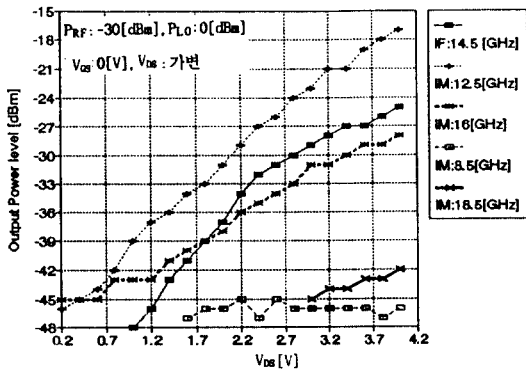


그림 8. (a) V<sub>DS</sub>에 따른 기본파 및 IM 전력의 변화  
Fig. 8. (a) P<sub>IM</sub> for drain-source voltage.

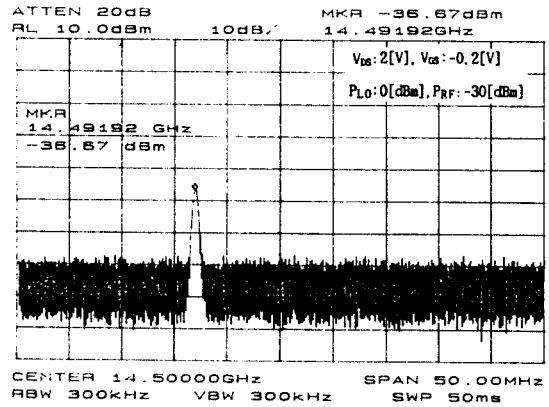


그림 9. (b) Span이 50MHz일때의 혼합상태,  
Fig. 9. (b) Mixing condition result when span is 50MHz.

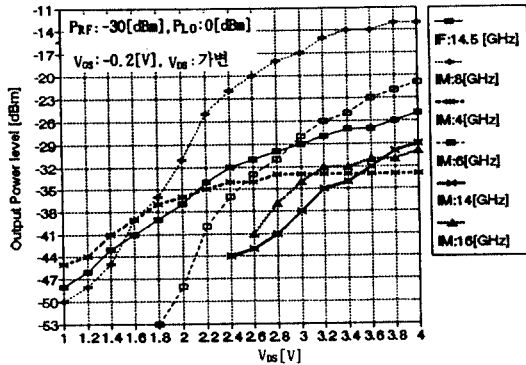


그림 8. (b) 고조파의 전력레벨 변화,  
Fig. 8. (b) n<sup>th</sup>o power for drain-source voltage.

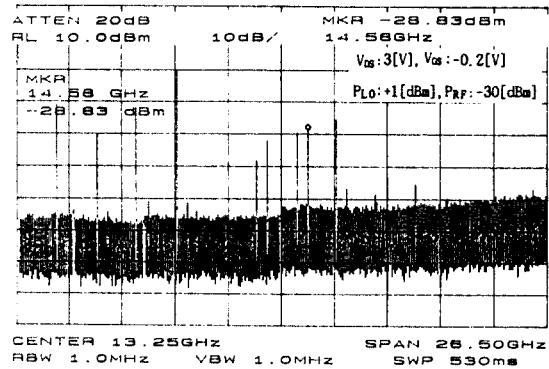


그림 10. 전대역에서 측정된 혼합상태,  
Fig. 10. Measured mixing condition at full span.

IV. 결과 검토 및 고찰

신호전력의 출력 주파수에 대한 영향은 그림 6과 같이 포화점에 도달할 때까지 거의 선형적변화를 보이며, 중간 주파수 성분에 대한 신호주파수 성분의 1dB 압축점은 0dBm으로 나타났으며, 정수배의 국부 발진 고조파 성분은  $P_{IM}$ 이 약 -13dBm~-13dBm정도 억제된 상태에서 동일한 증가율을 보였고, 그 중 8차 고조파인 16GHz는 -8dBm부터 선형적으로 감소하였음을 볼 수 있다. 국부발진 주파수의 진력레벨에 대한 출력 진력레벨의 변화는 그림 7(a)에서 보는 바와 같이 측정결과  $P_{IF}$ 가 +5[dBm]까지 일정한 증가율을 보이나 +9[dBm]까지 감소를 보인 것은 출력 정합시 최적화 과정에서 입력 주파수의  $\lambda/4$ 가 중간 주파수의  $\lambda/2$ 가 된 것으로 결과적으로 해당 진력레벨에서 부정합되어 손실로 나타났음을 알 수 있다.  $P_{LO}$ 의 변화는 중간 주파수성분 및 8GHz, 16GHz에 대해서 +5dBm 까지 선형적증가를 보이나 감소하며, 그러나 국부발진 주파수에 대한 정수배의 저차 고조파 성분(2GHz, 4GHz, 6GHz)은  $P_{LO}$ 가 +8dBm부터 일정하였다. 6GHz, 8GHz, 16GHz에 대한 차단점 혹은 분할점은 각각 +1dBm, -1dBm, +4dBm으로 나타났다. 역시 영상주파수 성분은 바이어스로 최소화시킨 상태였기 때문에 나타나지 않았다. 그림 8은 바이어스 변화에 따른 출력성분의 변동으로 국부발진 주파수성분의 3차 및 4차 고조파 성분이 각각 1.6V, 3V에서부터 중간주파수의 성분을 초과하였으며,  $V_{DS}$ 가 2.7~4[V]사이에서 이득을 가짐을 알 수 있다.

한편 이와 같은 결과를 기초로 하여, 각각의 조건에서 IMR을 알아 보았다. 이 IMR은 출력단에서 주파수혼합기로서의 동작영역을 쉽게 알 수 있게 한다. 즉, 그림 11은 신호 주파수 진력레벨의 가변에 따라  $P_{IF}$ 에 대한 IM3의 IMR은  $P_{IF}$ 가  $P_{IM}$ 보다 충분히 큼을 보여준다. 그림 12(a)는 저차 고조파로서 기본파성분을 제외한 2~4차 고조파성분은  $P_{LO}$ 가 -2dBm 이하에서는  $P_{IF}$ 보다 낮기때문에 국부발진주파수의 진력레벨은 -2dBm~1dBm으로 고정하고, (b)는  $nF_{LO}$ 의 6차 이상의 고조파 성분이 약 +4~+7dBm에서 0dB를 초과하게 됨으로 국부발진주파수의 진력레벨을 약 +4~+7dBm로 설정할 수 있다. 따라서 필요에 따라  $P_{LO}$ 을 조정하여 이용할 수 있다. 그림 13은 바이어스에 대해서 IM3(16.5GHz)의 IMR을 보이지만  $P_{IF}$ 에 비해서 충분히 낮음을 알 수 있다.

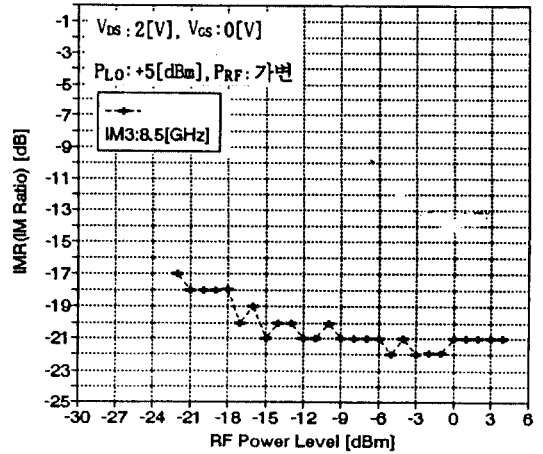


그림 11. 신호주파수 진력레벨의 가변에 대한 IMR의 변화.

Fig. 11. IMR for variable  $P_{RF}$ .

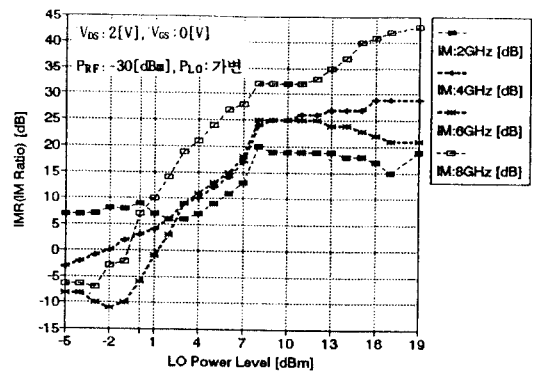


그림 12. (a)  $P_{LO}$ 에 대한 저차고조파 IMR의 변화. Fig. 12. (a) Low-order harmonics IMR for  $P_{LO}$ .

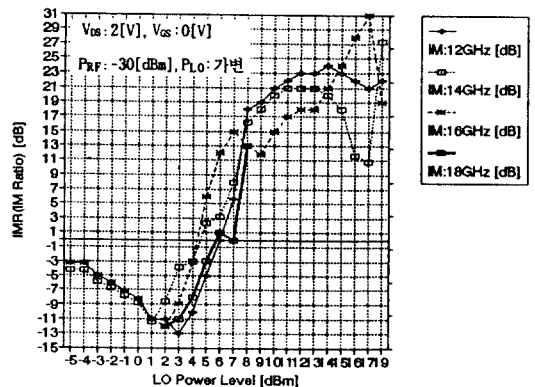


그림 12. (b)  $P_{LO}$ 에 대한 고차 고조파 IMR 변화. Fig. 12. (b)High order harmonics IMR for  $P_{LO}$ .

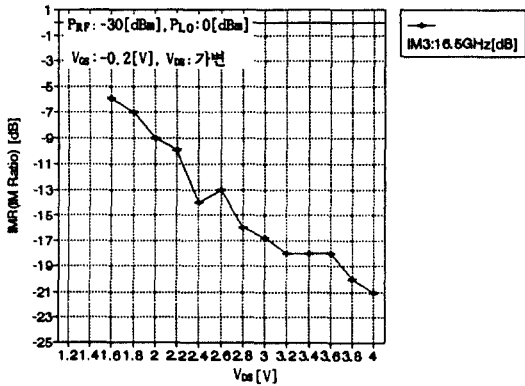


그림 13. 바이어스에 의한 IM3의 IMR  
Fig. 13. IMR of IM3 for bias.

### V. 결 론

본 논문에서는 상향 주파수 변환 주파수혼합기를 설계 구현하였다. 각각의 조건을 고려하여 측정된 후 동일 조건하에서 IMR을 비교하여 P<sub>LO</sub>뿐만 아니라 P<sub>RF</sub> 및 바이어스에 대한 동작점을 알 수 있다. 즉, 각각의 구동조건에서 구현한 주파수혼합기의 입력 주파수 전력에 대한 얻고자하는 출력 주파수와 고차 및 저차 고조파의 전력과 이득을 각각 비교하여 필요에 따라 구현된 회로의 정확한 바이어스 동작점 추출법 제시하였다. 구현된 주파수혼합기의 정확한 동작조

건은 P<sub>RF</sub>가 -30 [dBm] 이하 일때, P<sub>LO</sub>는 -2dBm 이하이며, 그때의 바이어스 조건은 V<sub>DS</sub>가 2.7 [V] 이상이고, V<sub>GS</sub>는 -0.2 [V]이다. 이러한 결과는 다이오드를 이용한 Beane의 실험과 비교하여 볼때 바이어스의 동작점을 추가하였으며, GaAs MESFET를 이용한 주파수혼합기뿐만 아니라 증폭기에도 응용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. E. F. Beane, "Prediction of Mixer Intermodulation Levels as Function of Local Oscillator Power," IEEE Trans. Electromagn. Compt., vol. EMC-13, pp. 56-63, May 1971.
2. R. A. Pucel et al, "Performance of GaAs MES-FET Mixers at X band," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-24, pp. 351-360, June 1976.
3. S. A. Maas, Microwave Mixer, Artech House, 1993.
4. User Manual LINMIC+, Jansen Microwave, 1991.
5. Data Book, Microwave Semiconductor GaAs and Silicon Products, AvanteK, 1989.

柳 然 國 (Yeon Guk Ryou)

제18권6호 참조

현재: 충주산업대학교 전자공학과 부교수

洪 義 錫 (Ui Seok Hong)

제18권6호 참조

현재: 광운대학교 전자공학과 교수

許 權 (Keun Her)

제18권6호 참조

현재: 창원 전자부품연구소