

論文2001-38TC-1-2

초고주파 전력 트랜지스터의 Sweet spot에서의 위상 변화 특성 연구

(A Study on the Relative Phase Variation at the Sweet spot of Microwave Power Transistor)

朴雄熙*, 張益洙**, 趙漢裕***

(Ung Hee Park, Ik Soo Chang, and Han You Cho)

요 약

초고주파 대역의 전력증폭기로 주로 사용되는 고출력 트랜지스터는 전력 효율 측면에서 AB급 또는 B급 바이어스로 동작하게 된다. 고출력 트랜지스터가 AB급 바이어스 또는 B급 바이어스로 동작하게 되면 트랜지스터의 입력전력의 증가에 따라 3차 혼변조 성분에 Sweet spot이 발생하게 된다. 본 논문은 고출력 트랜지스터를 AB급 바이어스로 동작시켜 발생한 Sweet spot에서의 3차 혼변조 신호의 상대적인 위상 변화량을 실험을 통하여 측정하였다. 실험 결과로 3차 혼변조 신호의 Sweet spot에서의 약 180° 정도의 상대적 위상 변화량이 발생함을 측정하였다.

Abstract

When the high power transistor is used for amplifier in microwave frequency, the bias of transistor is usually AB-class or B-class because of power efficiency. The sweet spot point having small IMD signal compared with near neighborhood exists frequently in the high power transistor using AB-class bias or B-class bias. On the sweet spot, the magnitude and phase of the main and IMD signal of HPA output change as the input signal power change, respective the relative phase on the sweet spot changes rapidly. If we know exactly the magnitude and phase characteristics of IMD signal, we can design a more adequate linearizer and understand the characteristics of transistor. In this paper the magnitude and phase of the main and IMD signal of HPA output on the sweet spot are measured using the designed hardware, .

I. 서 론

초고주파 대역에서 신호 증폭을 위한 증폭용 소자로

* 正會員, 韓國電子通信研究院 RF技術研究팀
(Radio Technology Department, ETRI)

** 正會員, 西江大學校 電子工學科
(Electronic Eng. Sogang University)

*** 正會員, 東洋工業專門大 電子科
(Electrical Engineering Dongyang Technical College)

接受日字:2000年8月8日, 수정완료일:2000年11月15日

트랜지스터를 주로 사용한다. 높은 출력 증폭을 원하는 경우에는 고출력 트랜지스터를 사용하게 되는 데, 고출력 트랜지스터는 전력 효율을 고려하여 AB급 바이어스 또는 B급 바이어스로 주로 동작되며 동작 영역도 비선형 특성이 강한 포화영역 부근에서 동작시키게 된다. 바이어스와 동작영역에 의한 강한 비선형 특성은 고출력 트랜지스터를 이용한 증폭기의 입력전력의 변화에 대한 출력전력의 위상 및 세기변화를 발생시키고, 여러 개의 반송파가 증폭기에 인입하는 경우에는 증폭기 출력에 높은 전력의 혼변조 신호를 발생시킨다.

고출력 트랜지스터의 경우 바이어스 동작 조건에 따라 입력전력의 증가에 대해 부분적으로 혼변조 신호가

감쇄하는 Sweet spot^[3]이 존재한다. Sweet spot은 증폭기 자체적으로 혼변조 신호가 감소하는 것으로 낮은 혼변조 신호 상태로 증폭기가 동작하므로 일정 출력을 가진 통신 시스템의 증폭기에서는 선형화기 없이 사용할 수 있는 좋은 지점이라 하겠다. Sweet spot는 동작 전압 조건에 따라 발생하는 전력이 다르게 나타난다. A급 바이어스의 경우는 트랜지스터가 출력할 수 있는 최고 출력 근처에서 발생하거나 나타나지 않지만, AB급 바이어스나 B급 바이어스의 경우는 트랜지스터의 일반적인 동작 영역에서 자주 발생한다. Sweet spot에서의 혼변조 신호를 포함한 트랜지스터의 출력 신호의 세기 값은 스펙트럼 어널라이저를 통하여 쉽게 측정할 수 있었지만, 위상 값의 변화는 측정할 수 없어 Sweet spot의 정확한 특성을 알 수 없었다.

본 논문에서는 Motorola사의 MRF-6401 트랜지스터를 이용하여 실험적으로 입력전력의 변화에 따른 Sweet spot에서의 혼변조 신호의 상대적인 위상 변화량을 측정하였다. 이는 Predistorter 형태의 선형화기^{[4][5]}와 같이 입력부에 혼변조 신호를 공급하여 증폭기의 선형화를 개선시키는 회로에 올바른 정보를 제공할 수 있고, 트랜지스터의 혼변조 특성 해석에도 도움이 되리라 생각한다.

II. 트랜지스터의 Sweet Spot 특성

트랜지스터의 입출력 비선형 특성을 수식적으로 살펴보면 식 (1)과 같이 파워 시리즈(power series)로 표현할 수 있다. 여기서 $v_i(t)$ 은 입력 전압이고 $v_o(t)$ 은 출력 전압이다. 주파수는 1, 2 이면서 동일 진폭을 갖는 정현파 $v_i = A(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$ 를 식 (1)에 대입하면 출력은 식 (2)와 같이 표현된다. 식 (2)에서 기본 주파수가 ω_1, ω_2 인 입력 신호에 대해 출력 단에서는 기본 주파수 ω_1, ω_2 외에 dc, 2차 하모닉 주파수 $2\omega_1 \pm \omega_2$ 와 3차 하모닉 주파수 $3\omega_1, 3\omega_2$ 와 2차 혼변조 주파수 $\omega_1 \pm \omega_2$ 와 3차 혼변조 주파수 $2\omega_1 \pm \omega_2, 2\omega_2 \pm \omega_1$ 인 출력 신호가 얻어짐을 볼 수 있다. 식 (2)에서 3차 혼변조 주파수의 크기는 A^3 으로 증폭기의 입력신호의 세기 증가량 보다 세배의 비율로 증가하게 된다.

$$v_o = k_1 v_i + k_2 v_i^2 + k_3 v_i^3 \quad (1)$$

$$v_o = k_1 A(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + k_2 A^2(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)^2$$

$$+ k_3 A^3(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)^3$$

$$+ \frac{3}{4} k_3 A^3 \cos(2\omega_1 - \omega_2)t + \frac{3}{4} k_3 A^3 \cos(2\omega_2 - \omega_1)t$$

$$+ k_2 A^2 \cos(\omega_1 + \omega_2)t + \frac{1}{2} k_2 A^2 \cos 2\omega_1 t + \frac{1}{2} k_2 A^2 \cos 2\omega_2 t$$

$$+ \frac{3}{4} k_3 A^3 \cos(2\omega_1 + \omega_2)t + \frac{3}{4} k_3 A^3 \cos(2\omega_2 + \omega_1)t$$

$$+ \frac{1}{4} k_3 A^3 \cos 3\omega_1 t + \frac{1}{4} k_3 A^3 \cos 3\omega_2 t \quad (2)$$

고출력 트랜지스터를 사용한 증폭기에서는 3차 혼변조 신호가 입력전력이 증가함에도 부분적으로 감소하는 Sweet Spot 지점이 존재한다. 간단하게 Sweet Spot 발생하는 이유를 두개의 입력 신호를 가정하여 Volterra series를 통해 살펴보면 다음과 같다. 증폭기에 입력되는 신호를 식 (3)이라고 하면, 입력 신호에 의해 발생하는 3차 혼변조 신호 중 $(2\omega_1 - \omega_2)$ 주파수에 해당되는 출력은 식 (4)와 같이 입력 신호에 대한 3차 혼변조 신호 성분과 5차 혼변조 신호 성분의 결합으로 표현할 수 있다.

식 (4)에서 H는 전달 함수이고, 식 (5)에서의 5차 혼변조 신호 전달 함수 내의 ω 는 ω_1 또는 ω_2 의 경우 모두 성립된다. 일반적으로 입력전력의 증가에 따른 증폭기의 이득이 감소하기 때문에 H3의 값은 음수가 된다. 여기서 3차 혼변조 신호의 Sweet spot이 발생하기 위해서는 H5의 값이 양수가 되고 식 (5)와 같이 3차 혼변조 신호와 5차 혼변조 신호의 세기가 같다면 $(2\omega_1 - \omega_2)$ 주파수 성분의 혼변조 신호의 값은 감쇄되기 시작할 것이다. 이러한 지점을 Sweet spot이 발생하는 지점이라 할 수 있다. 하지만 이러한 계산은 실험적으로 Sweet spot을 기점으로 하여 3차 혼변조 신호의 위상이 180도의 변화를 가져야 한다. 만약 Sweet spot을 기점으로 위상이 180도의 변화를 가진다면 식 (6)는 Sweet Spot 지점이 발생하는 증폭기 입력 신호의 세기 값이라 할 수 있다. 혼변조 신호의 세기가 크게 발생하거나 비선형 영역이 큰 부분에서는 3차 혼변조 신호와 5차 혼변조 신호 외에 7차 혼변조 신호, 9차 혼변조 신호 등이 고려되어야 보다 정확한 해석이 가능하다 하겠다.

$$V_{in}(t) = A[\cos(\omega_1 t + \phi_1) + \cos(\omega_2 t + \phi_2)]$$

$$= \frac{A}{2} [e^{j(\omega_1 t + \phi_1)} + e^{-j(\omega_1 t + \phi_1)} + e^{j(\omega_2 t + \phi_2)} + e^{-j(\omega_2 t + \phi_2)}] \quad (3)$$

$$SS_{(2\omega_1 - \omega_2)} = \frac{3A^3}{8} H_3(\omega_1, \omega_1, -\omega_2) e^{j(2\omega_1 - \omega_2)t + 2\phi_1 - \phi_2} + \frac{45A^5}{16} H_5(\omega_1, \omega_1, -\omega_2, \omega, -\omega) e^{j(2\omega_1 - \omega_2)t + 2\phi_1 - \phi_2} \quad (4)$$

$$\frac{3A^3}{8} H_3(\omega_1, \omega_1, -\omega_2) e^{j(2\omega_1 - \omega_2)t + 2\phi_1 - \phi_2} + \frac{45A^5}{16} H_5(\omega_1, \omega_1, -\omega_2, \omega, -\omega) e^{j(2\omega_1 - \omega_2)t + 2\phi_1 - \phi_2} \quad (5)$$

$$P_{in} = P_{\omega_1} + P_{\omega_2} = \frac{A^2}{2} + \frac{A^2}{2} = A^2 = -\frac{2H_3(\cdot)}{15H_5(\cdot)} \quad (6)$$

III. 트랜지스터 Sweet Spot에서의 위상 변화량 측정 방법

증폭기의 입력으로 두개 이상의 신호가 입력하는 경우 증폭기에서 발생하는 혼변조 신호의 세기는 주파수 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정 가능하다. 하지만 입력 신호의 증폭기를 통한 위상 변화량 뿐만 아니라 증폭기에서 발생하는 혼변조 신호의 위상은 계측기를 통하여 측정할 수 없다. 따라서 본 실험에서는 두개의 신호가 증폭기의 입력 신호로 존재할 때, 혼변조 신호를 포함한 출력 신호의 세기 및 상대적인 위상 변화량을 측정할 수 있는 회로를 제작하여, Motorola 트랜지스터 MRF-6401의 Sweet spot에서의 증폭기 입력신호와 증폭기에서 발생하는 혼변조 신호의 상대적 위상 변화량을 측정하였다.

그림 1은 Sweet spot을 가지는 트랜지스터를 측정하는 실험 블록 다이어그램이다. 실험 방법은 먼저 입력 신호를 월킨슨 전력 분배기를 통해 증폭기의 입력부와 임의의 혼변조 신호 발생기의 입력으로 나누게 된다. 임의의 혼변조 신호 발생기는 혼변조 성분이 없는 주 신호와 3차 혼변조 신호만 존재하는 경로, 5차 혼변조 신호만 존재하는 경로로 분배하여 이를 다시 결합한다. 결합된 신호는 증폭기의 출력부의 신호와 월킨슨 전력 합성기를 통해 결합된다. 증폭기를 통해 출력된 주 신호와 혼변조 신호는 임의의 혼변조 신호 발생기를 통해 발생한 신호와 같은 크기 및 180° 위상차를 가지고 결합하면 출력부에서는 신호가 서로 감쇄가 되어 검출되지 않는다. 임의의 혼변조 신호 발생기 경로의 주 신호와 혼변조 신호는 항상 일정 세기와 위상으로 증폭기 출력 신호와 결합하는 회로에 제공되므로, 증폭기 출력 신호에 결합할 때 가변 감쇄기와 가변 위상 변환기를 이용하여 세기 및 위상을 조절하게 된다. 이렇게 조절

된 신호는 증폭기 출력 신호와 결합하게 될 때 세기가 같고 위상이 180도 차이난다면 출력의 혼변조 신호는 완전 감쇄하게 된다. 입력 전력의 변화에 따른 증폭기 출력 신호의 상대적 위상 및 세기 변화량은 가변 감쇄기와 가변 위상 변환기의 값을 측정하면 알 수 있게 된다. 그림 1의 Main 1은 두 개의 신호와 벡터 네트워크 어날라이저 신호를 공급받아 네 개의 경로로 신호를 분배하는 곳이고, Main 2는 네 개의 경로의 신호를 공급받아 벡터 네트워크 어날라이저와 스펙트럼 어날라이저로 신호를 분배하는 곳이다. 그림 2는 Sweet spot 특성을 가지는 MRF-6401 트랜지스터의 제작 회로이고, 그림 3은 그림 1의 Main1의 제작 회로로 외부로 두개의 입력신호를 MRF-6401로 신호를 공급함과 더불어 3차 혼변조 신호와 5차 혼변조 신호를 발생하여 위상 변화량 측정회로에 공급하는 역할을 한다.

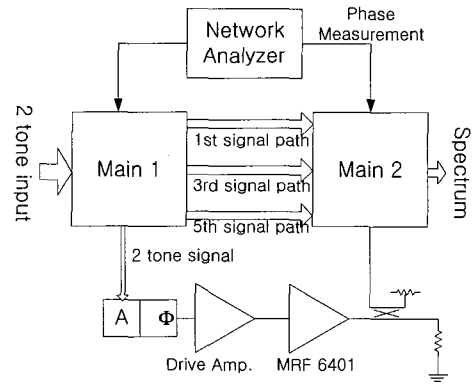


그림 1. Sweet spot을 가지는 트랜지스터의 위상 변화량 측정 블록 다이어그램

Fig. 1. Phase variation test block diagram of the transistor having sweet spot

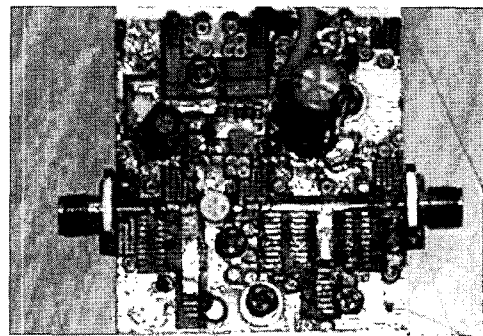


그림 2. MRF-6401의 실험 기관 사진

Fig. 2. MRF-6401 photograph.

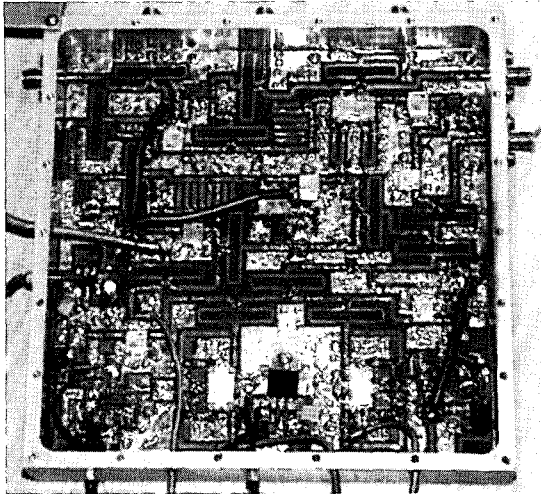
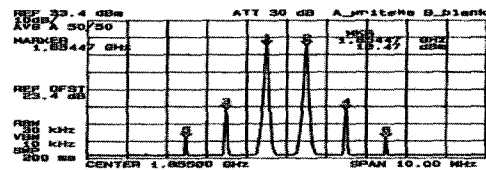


그림 3. Main 1의 제작 사진
Fig. 3. Main 1 photograph.



No.	F	M	k	Hz	dBm	A/B
1:	1	854	470	000	18.47	A
2:	1	855	470	000	18.25	A
3:	1	853	470	000	18.75	A
4:	1	856	480	000	-18.80	A
5:	1	852	470	000	-25.37	A
6:	1	857	480	000	-25.40	A

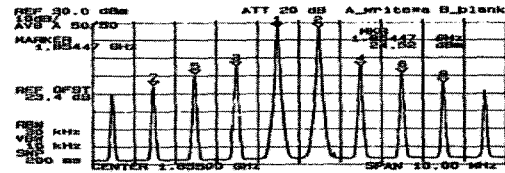
그림 4. MRF-6401 출력 21.4 dBm일 때 Spectrum Analyzer 측정

Fig. 4. Spectrum Analyzer output of MRF-6401 (output power = 21.4dBm).

IV. 측정결과

Motorola사의 MRF-6401 트랜지스터를 2-tone 입력 신호를 이용하여 그림1의 방식으로 주신호 및 혼변조 신호의 세기 및 위상 변화량을 측정하였다. 제작된 MRF-6401 회로의 인가 전압은 26 V이고 소모 전류는 80 mA로 AB급 바이어스로 제작하였으며 약 8 dB의 이득을 가졌다. 입력 전력은 7 dBm(4 dBm/tone)부터 22 dBm까지 하여 혼변조 신호가 많이 발생하는 1-dB 압축 점 근처까지 트랜지스터를 동작시켰다.

표 1은 MRF-6401의 Spectrum Analyzer의 측정값이다. 그림 4와 그림 5는 MRF-6401 출력 21.4 dBm일 때와 27.4 dBm일 때의 Spectrum Analyzer 출력 값이다. 그림 6은 MRF-6401의 입출력 특성을 그래프로 나타낸 것으로 캐리어 출력 전력이 21 dBm일 경우 부분적으로 혼변조 세기가 최소가 되는 Sweet spot이 발생함을 볼 수 있다. 표 2는 MRF-6401에서 주신호와 혼변조 신호의 세기 및 상대적 위상 변화량을 측정한 값이고 그림 7은 MRF-6401의 출력 신호의 위상 변화량을 그래프로 나타낸 것이다. 표 2와 그림 7에서 보듯 3차 혼변조 신호의 위상은 주신호의 위상 간격에 3배, 5차 혼변조 신호의 위상은 주신호의 위상 간격에 5배의 간격을 유지하고 있다. 하지만 Sweet spot이 발생하는 전후의 위상차는 주신호는 변화가 없는 데, 3차 혼변조 신호는 약 170°, 5차 혼변조 신호는 약 180° 정도 변함을 알 수 있다



No.	F	M	k	Hz	dBm	A/B
1:	1	854	470	000	24.22	A
2:	1	855	470	000	24.30	A
3:	1	853	470	000	2.80	A
4:	1	856	480	000	2.52	A
5:	1	852	470	000	-1.75	A
6:	1	857	480	000	-1.22	A
7:	1	851	470	000	-8.80	A
8:	1	858	480	000	-8.87	A

그림 5. MRF-6401 출력 27.4 dBm일 때 Spectrum Analyzer 측정

Fig. 5. Spectrum Analyzer output of MRF-6401 (output power = 27.4dBm).

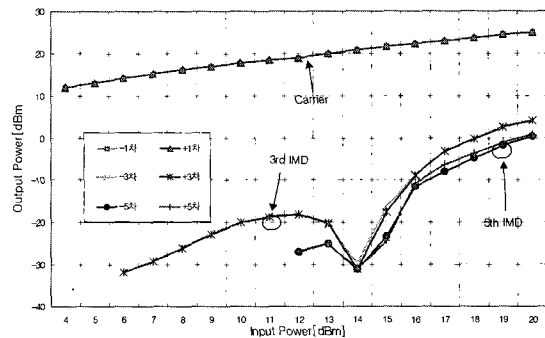


그림 6. MRF-6401 입출력 특성 그래프

Fig. 6. MRF-6401 Input-Output characteristic graph.

Table 1. MRF-6401 Output signal (using HP-85632 spectrum analyzer)

표 1. MRF-6401 출력 신호 Spectrum Analyzer 측정 (단위: dBm)

입력전력(dBm/t)	-5	-3	-1	1	3	5
4		-39.4	12.6	12	-39	
5		-36.9	13	12.6	-36.7	
6		-32.8	14.2	13.9	-32.9	
7.2		-29.1	15.2	15	-29.2	
8		-26	16.3	16	-26	
9	-49.4	-22.5	16.9	16.6	-22.9	-51.5
10	-43.6	-19.9	17.8	17.6	-20.2	-44
11	-35.4	-18.8	18.5	18.3	-18.8	-35.4
12	-30.2	-18.1	19	18.8	-18.1	-30
13	-28	-20.5	19.9	19.7	-20.2	-28
14	-31.1	-29.8	21	20.9	-32.1	-35.6
15	-23.3	-16.2	21.6	21.5	-17.5	-24.4
16	-14.4	-8.7	22.3	22.1	-8.9	-13.7
17	-8.3	-3.1	23	22.8	-3.2	-7.4
18	-5.1	-0.2	23.7	23.5	-0.3	-4.3
19	-1.8	2.8	24.5	24.3	2.5	-1.2
20	0.4	4.3	25.1	24.8	4.2	0.9

Table 2. MRF-6401 Output signal (using HP-8510C vector network analyzer)

표 2. MRF-6401 출력 신호 벡터 측정 (감쇄 dBc (벡터로 측정된 세기 dB / 벡터로 측정된 위상 degree))

입력전력 (dBm/t)	-5	-3	-1	1	3	5
4			26.6 (-33.9/-69.0)	33.0 (-34.1/-74.5)		
5			31.0 (-33.4/-67.0)	33.6 (-33.5/-74.2)		
6		7.2 (-54.8/37.2)	30.2 (-32.0/-68.0)	29.9 (-32.1/-72.9)	7.1 (-54.8/31.7)	
7.2		8.9 (-53.5/36.1)	31.2 (-31.2/-69.0)	36.0 (-31.4/-72.9)	6.8 (-52.4/28.0)	
9		14.5 (-45.8/18.1)	32.9 (-30.0/-69.2)	37.0 (-30.0/-74.4)	18.1 (-45.9/12.4)	
10		24.1 (-43.1/11.2)	33.8 (-28.5/-69.0)	38.6 (-28.5/-74.0)	25.8 (-42.4/7.8)	
11		22.2 (-41.0/6.8)	34.5 (-28.2/-70.8)	44.3 (-27.8/-74.5)	21.2 (-41.0/4.7)	
12	5.8 (-53.6/-54.0)	18.9 (-41.5/3.5)	35.0 (-27.0/-70.0)	39.8 (-27.0/-74.9)	18.9 (-41.3/8.0)	6.0 (-53.5/-63.5)
13	13.0 (-50.9/-54.4)	18.5 (-44.2/-10.3)	35.9 (-26.4/-69.2)	35.7 (-26.5/-75.1)	17.8 (-43.8/9.1)	8.0 (-52.1/-61.0)
14	4.9 (-57.2/-71.0)	10.2 (-54.5/-79.0)	37.0 (-26.0/-72.2)	41.9 (-26.0/-77.4)	7.9 (-54.0/53.6)	7.4 (-58.2/-54.4)
15	14.7 (-52.0/-180.0)	19.8 (-40.2/-166.0)	37.6 (-25.4/-71.4)	42.5 (-25.5/-77.2)	19.5 (-43.1/58.0)	11.6 (-52.3/127.6)
16	26.6 (-37.6/149.3)	27.3 (-32.0/-175.8)	38.3 (-24.5/-69.2)	43.1 (-24.6/-75.3)	27.1 (-31.7/164.7)	27.3 (-37.4/122.7)
17	27.7 (-33.9/147.5)	32.9 (-25.8/179.0)	39.0 (-23.8/-69.5)	38.8 (-24.0/-75.3)	32.8 (-25.7/163.2)	30.6 (-33.0/117.2)
18	30.9 (-30.6/137.3)	35.8 (-23.0/173.5)	39.7 (-23.8/-71.0)	44.5 (-23.9/-76.1)	35.7 (-22.6/157.5)	31.7 (-30.2/113.6)
19	34.2 (-28.0/136.8)	38.8 (-20.6/172.8)	39.5 (-23.1/-67.9)	40.3 (-23.1/-71.7)	38.5 (-20.8/156.5)	34.8 (-27.7/114.8)

V. 결 론

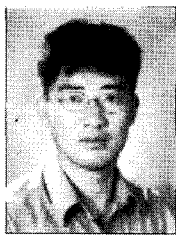
대부분의 고출력 트랜지스터는 정합회로나 트랜지스터의 인가 바이어스에 의해 Sweet spot 발생하는 출력 전력을 변화시킬 수 있으나 전체 출력 범위 내에서 Sweet spot 가지고 있다. 혼변조 신호의 위상 측정이 어려워 지금까지 Sweet spot 지점에서의 세기 변화만이 연구되었고, 또한 Sweet spot에서는 상대적으로 혼변조 신호의 양이 적게 발생하므로 Sweet spot 지점까지만 출력 신호를 얻는 회로 제작이 이루어졌다.

본 논문에서는 실험을 통하여 MRF-6401 증폭기의 주신호 및 혼변조 신호의 위상 변화 특성을 측정하여 Sweet spot에서는 3차 혼변조 신호의 상대적인 위상 변화량이 180° 정도 발생함을 알 수 있었다. 이는 Sweet spot이 발생하는 트랜지스터가 다단 증폭기의 중간단에 존재하는 경우에는 혼변조 신호의 세기량이 적어 증폭기의 선형화에 도움이 되기 보다는 위상 변화량이 커서 전체 증폭기의 혼변조 신호 위상 특성을 예측하기 힘들어 Predistorter의 형태의 선형화 회로에서는 혼변조 감쇄가 상당히 어렵게 된다. 이 경우 트랜지스터의 바이어스를 변화시켜 보다 높은 동작 전력에서 Sweet spot를 발생시키거나 트랜지스터의 입력 전력을 낮추는 것이 유리하다 하겠다. 또한, Sweet spot이 발생하기 위하여 5차 혼변조 발생계수(IF5)의 값이 양의 값을 가짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Tri T. Ha, Solid-State Microwave Amplifier Design, (John Wiley and Sons, 1981), pp.202-283.
 [2] Stephen A. Maas, Nonlinear Microwave Circuits, (Artech House, 1988), pp.155-207.
 [3] N.Suematsu, Y.Iyama, O.Ishida, "Transfer Characteristic of IM3 Relative Phase for a GaAs FET Amplifier", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol.45, No.12, pp.2509-2513, Dec.
 [4] Mahesh Kumar, James C. Whartenby, Herbert J. Wolkstein, "Predistortion Linearizer Using GaAs Dual Gate MESFET for TWTA and SSPA Used in Satellite Transponders," *IEEE Trans.* Vol. MTT-33, No.12, pp.1479-1488, Dec. 1985.
 [5] 정용채, 혼변조 신호의 개별 차수 조정 Predistortion 선형화기 설계, 박사학위 논문, 서강대학교, 1995.
 [6] 박웅희, 장익수, 허준원, "초고주파 트랜지스터의 출력 신호 특성에 관한 연구", 한국 전자파 학회, 제 11권 3호, pp. 492-497, Apr. 2000.

저 자 소 개



朴 雄 熙(正會員)

1994년 2월 : 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1996년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2000년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2000년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 무선

방송기술연구소, RF 기술팀 선임연구원. 주관심분야 : 전력증폭기 설계, 전력증폭기 선형화

趙 漢 裕(正會員)

1980년 2월 : 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1983년~1991년 : LG SW 근무(과장). 1991년~현재 : 동양공업전문대학 전자과 재직(부교수), 서강대학교 전자과 박사과정 수료. 주관심분야 : 초고주파회로 설계

張 益 洙(正會員) 第 37卷 TC編 第 2號 參照