

TETRA 신호를 위한 800 MHz 대역 1W 급 Cartesian feedback 선형 전력 증폭기에 관한 연구

A Study on 800 MHz 1W Cartesian Feedback Linearized Power Amplifier for TETRA Signals

오 덕 수* 김 지 연** 전 상 현*** 김 종 헌****
(Duk-Soo Oh) (Ji-Yeon Kim) (Sang-Hyun Chun) (Jong-Heon Kim)

요 약

본 논문에서는 TETRA 단말기용 800 MHz 대역 1 W급 cartesian feedback 선형전력증폭기를 설계 및 제작하였다. 200 kHz 협대역을 갖는 TETRA 신호를 증폭 시, cartesian feedback 선형화기를 통해서 ± 25 kHz 오프셋 주파수에서 30 dBc 이상의 전력증폭기 선형성을 개선하였다. 선형화의 성능은 I/Q 신호간의 이득과 위상의 불일치 및 DC offset 성분에 의해서 영향을 받음을 알 수 있으며 이러한 문제를 보상 시 선형화를 극대화 할 수 있음을 알 수 있었다.

Cartesian feedback 선형화기는 협대역 QAM 신호의 선형화 기술로 적합함을 확인하였으며 이를 이용하여 다른 변조방식을 갖는 신호들의 선형화방법으로도 적용 가능하다.

Abstract

In this paper, a 800 MHz 1 W cartesian feedback linearized power amplifier is designed and fabricated for TETRA handset application. For amplification of TETRA signal with 200 kHz narrow bandwidth, amplifier linearization performance of more than 30 dBc is improved through the cartesian feedback linearizer at the offset frequency of ± 25 kHz. It is clear that the linearization performance is affected by imbalance of gain and phase between I/Q signals and also DC offset. The linearization performance can be maximized by the compensation of those influences.

Cartesian feedback is suitable for a linearization technique of narrow band signal with QAM and another modulation signals, as well.

Key words: Power amplifier, linearization, TETRA, Cartesian feedback loop, modulation signal

† 본 연구는 지식경제부 및 정보 통신 연구진흥원의 IT핵심 기술 개발 사업 [2007-S-028-01, 차세대 디지털 TRS(TETRA) 핵심 기술 개발]의 일환으로 수행하였음.

* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사

*** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

**** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 7월 15일

† 논문심사일 : 2008년 7월 17일

† 게재확정일 : 2008년 8월 4일

I. 서 론

우리나라는 현재 소방 방재청, 경찰청 등의 국가 기관, 대형 운수 업체 등에서 주파수 공용통신 (Trunked Radio System (TRS))을 사용하고 있다. 주파수 공용통신은 여러 개의 주파수를 다수의 가입자가 공동으로 이용하는 방식으로 차량전화나 휴대 전화에 비해 서비스 종류가 다양하고 가격도 저렴하여 주로 기업 등에서 업무용으로 적합한 통신 서비스이다. 또한, TRS 서비스는 서비스 방식에 있어서는 기존의 워키토키에 비해 통화권이 기지국을 중심으로 무전기는 2 Km 정도에 불과하지만 TRS는 최대 50 Km에 달한다. 이러한 다양한 장점은 현재의 TRS 사용 주파수인 800 MHz를 2.5 GHz로 이동하여 적용 시킨다면, 지능형 교통 시스템 (Intelligent Transportation Systems (ITS))을 보다 효율적이고 체계적으로 관리하는데 효과적이라고 할 수 있다.

그러나, 현재 TRS가 사용되는 주파수인 800 MHz 대역과 ITS 주파수인 2.5 GHz 대역에는 다른 다양한 통신 서비스들이 존재하며 또한, 각각 다양한 변조 방식에 의해 통신이 이루어진다. TRS의 3세대적인 디지털 Trunked Radio System (TRS)인 Terrestrial Trunked Radio (TETRA)의 경우 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), Quadrature Amplitude Modulation (QAM) 방식 등의 변조 방식이 사용되고 있다. 이러한 통신 방식들의 경우 가장 민감한 부분이 인접 채널 간의 간섭이다. 따라서, 이러한 방식들은 매우 우수한 선형성을 필요로 하고 있다. 이러한 높은 선형성 확보를 위해서는 송신단에 있는 전력 증폭기의 선형화가 필수적이라 할 수 있다.

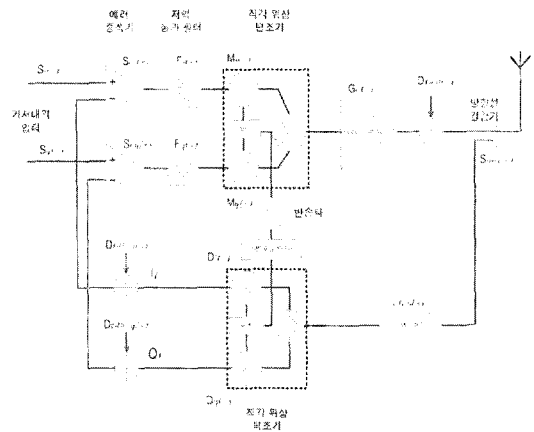
본 논문에서는 선형화 기술로 cartesian feedback 선형화 기술을 사용하였으며, 이 기술은 AM/AM과 AM/PM을 모두 보정할 수 있으며, 협대역에서 30 dBc 이상의 높은 선형성 개선을 할 수 있다. 이 방식은 복조기와 연산 증폭기 등에서 발생하는 DC offset에 대한 제거 문제, 우수한 선형성을 가진 I/Q 복조기 선택 문제, I/Q 신호의 이득 및 위상 불일치 해소 문제 등 다양한 극복 요인들이 존재한다.

본 논문은 cartesian feedback 기술의 기본 특성과 문제점들에 관한 분석을 하고 cartesian feedback 기술을 적용하기 위한 전력 증폭기의 필요 조건들에 관해 분석하였다 [1].

II. Cartesian feedback 선형화 기법

Cartesian feedback 선형화 기법은 <그림 1>과 같은 기본 구조를 가진다. 90°위상차를 가지는 in-phase (I)와 quadrature-phase (Q) 신호는 루프 안정화를 위해 저역 통과 여파기를 거친 후 직각 위상 변조기로 상향 변환하여 RF 신호를 만든다. 이 신호는 비선형 전력 증폭기를 지나면서 원래의 입력 신호와 증폭기의 비선형 성분에 의해 왜곡된 신호 성분이 증폭되어 출력하며, 방향성 결합기를 사용하여 표본화한 신호를 가변 감쇄기로 적절히 감쇄시킨 후 직각 위상 복조기로 기저대역 신호로 복조시킨다. 이 신호는 본래의 I/Q 신호와 차동 증폭기 (error amplifier)를 이용하여 비교 되고 에러 신호를 발생시킨다. 이 신호가 비선형 전력 증폭기를 통과 하면서 왜곡 성분은 제거하고 원하는 신호만 증폭하게 된다.

Cartesian feedback의 동작 원리는 수식적으로 해석이 가능하며, I 경로와 Q 경로는 동일한 특성을



<그림 1> Cartesian feedback 선형화기 구성도
<Fig. 1> Schematic of cartesian feedback linearizer

나타내므로 여기서는 I 경로에 관해서만 해석한다.

I 경로의 입력 신호 $S_i(s)$ 를 인가했을 때 개 루프에서는 출력 신호 $S_{out}(s)$ 가 식(1)과 같다.

$$S_{out}(s) = F_i(s) \cdot M_i(s) \cdot G_a(s) \cdot S_i(s) + D_{fwd}(s) \quad (1)$$

여기서 $D_{fwd}(s)$ 는 RF 전력 증폭기에서 나타나는 왜곡 성분이고 나머지 항들은 각 소자들의 이득을 나타낸 것이다. 폐 루프에서의 출력 신호는 식 (2)와 같다.

$$S_{out}(s) = S_i(s) - [L_{fdb}(s) \cdot D_i(s) \cdot S_{out}(s) + D_{fdb_i}(s)] \quad (2)$$

위의 식에서 $S_{out}(s)$ 항은 원래의 입력 신호 $S_i(s)$ 에서 feedback 성분들을 뺀 에러 신호이다. 수식으로 표현하면 식(3)과 같다.

$$S_{out}(s) = S_i(s) - [L_{fdb}(s) \cdot D_i(s) \cdot S_{out}(s) + D_{fdb_i}(s)] \quad (3)$$

$D_{fdb_i}(s)$ 항은 귀환 경로 상에서 나타나는 왜곡 성분으로써 cartesian feedback 선형화기를 구현 시 귀환 경로 상의 소자들 중에서 가장 큰 왜곡 요소로 작용한다.

다음은 출력 신호에 왜곡 성분들을 삽입하여 전체 폐 루프 출력을 알아보기 위해서 식(3)을 식(2)에 대입 했을 때 출력 신호는 식(4)와 같다.

$$S_{out}(s) = \frac{F_i(s) \cdot M_i(s) \cdot G_a(s) \cdot S_i(s)}{1 + F_i(s) \cdot M_i(s) \cdot G_a(s) \cdot L_{fdb}(s) \cdot D_i(s)} - \frac{F_i(s) \cdot M_i(s) \cdot G_a(s) \cdot D_{fdb_i}(s)}{1 + F_i(s) \cdot M_i(s) \cdot G_a(s) \cdot L_{fdb}(s) \cdot D_i(s)} + \frac{D_{fwd}(s)}{1 + F_i(s) \cdot M_i(s) \cdot G_a(s) \cdot L_{fdb}(s) \cdot D_i(s)} \quad (4)$$

식(4)를 아래의 식(5), 식(6) 으로 치환하고, 루프 이득 $A \cdot \beta \gg 1$ 이라고 하면, 최종적인 폐 루프 출력 신호는 식(7)과 같이 근사화 된다.

$$A_i = F_i(s) \cdot M_i(s) \cdot G_a(s) \quad (5)$$

$$\beta_i = L_{fdb}(s) \cdot D_i(s) \quad (6)$$

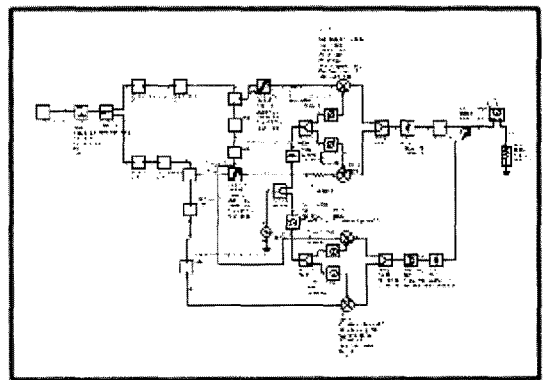
$$S_{out}(s) \approx \frac{S_i(s)}{\beta} + \left[\frac{D_{fwd}(s)}{A\beta} - \frac{D_{fdb_i}(s)}{\beta} \right] \quad (7)$$

식(7)을 통해 forward 경로상의 왜곡 성분 $D_{fwd}(s)$ 는 루프 이득 $A \cdot \beta$ 에 의해 감소됨을 파악 할 수 있으며, 귀환 경로상의 왜곡 성분 $D_{fdb_i}(s)$ 는 귀환 경로 이득 β 를 증가시킴으로서 감소 될 수 있다. 또한, 귀환 이득이 증가에 따라 $S_i(s)$ 가 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, cartesian feedback 기술은 시스템의 전체 이득이 감소함에 따라 선형성이 개선되는 것을 알 수 있다 [2-5].

III. 설계 및 모의실험

본 논문에서는 cartesian feedback의 선형화 동작 특성을 분석하기 위해서 선형화기의 각 구성 요소를 모의실험 모델을 사용하여 구성하였으며, ADS tool을 사용하여 시스템을 구성하였다.

본 시스템은 I/Q 신호 발생 부, 비교 부, 변조 부, 전력 증폭기 부, 복조 부와 국부 발진 부 등으로 구



<그림 2> Cartesian feedback 선형화기 모의실험 회로도

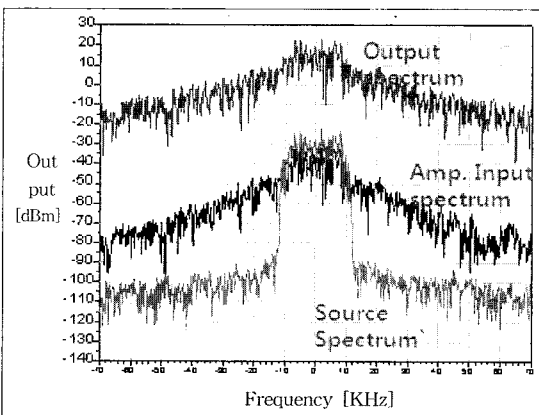
<Fig. 2> Simulation circuit of cartesian feedback linearizer

<표 1> 설계 규격
<Table 1> Design specification

항 목	단위	환 경
주파수	MHz	800
채널 대역폭	KHz	25
Local 입력 신호 레벨	dBm	-5
전력 증폭기 출력 레벨	dBm	32
변조 방식		16QAM
Symbol Rate	KHz	19.2

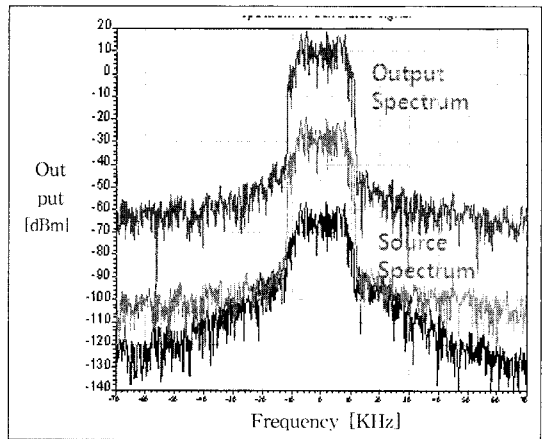
성된다. I/Q 신호 발생부는 실제 측정시 사용된 Aeroflex사의 IFR3413 신호 발생기의 신호를 추출하여 모의실험에 적용 하였으며, 비교부는 일반적인 차동 증폭기 구조를 사용하였다. 또 능동 저역 통과 여파기는 sallen-key 구조를 적용하였다. 전력 증폭기는 800 MHz 주파수에서 30 dBm 이상의 출력과 ± 25 KHz offset 주파수에서 약 30 dBc의 ACPR 특성을 갖는 RFMD사의 RF5110G를 선택하였다. 이때, 모의실험은 아래 <표 1>과 같이 800 MHz, 16QAM 변조 방식을 사용 하였다.

본 논문에서는 cartesian feedback 선형화기를 TETRA에 적용하기 위해 TETRA 규격 ETSI EN 300 392-2 V3.1.1에서 요구하는 변조 방식 중 16QAM



<그림 3> Cartesian feedback으로 선형화된 스펙트럼 (개루프)
<Fig. 3> Linearized spectrum by cartesian feedback (open loop)

변조 방식을 사용 하였으며, 채널 대역폭은 25 KHz 로 선택 하여 모의실험을 실시하였다. <그림 3>, <그림 4>와 <표 2>는 cartesian feedback 모의실험을 한 결과이다. ± 25 KHz offset 주파수에서 60 dBc, ± 50 KHz offset 주파수에서 71 dBc, ± 75 KHz offset 주파수에서 75 dBc의 ACPR특성이 나타나며, 40 dBc 이상의 높은 선형성 개선 효과를 보임을 알 수 있다. 다만, 출력이 약 8 dB 낮아졌다. 이는 식 (7)의 $S_i(s)/\beta$ 항에서 나타나듯이 귀환 경로 이득에 의해 전체 이득이 저하되고 이에 비례하여 $D_{fwd}(s)/(A\beta)$ 항에 의해 선형성이 개선되기 때문이다 [5].



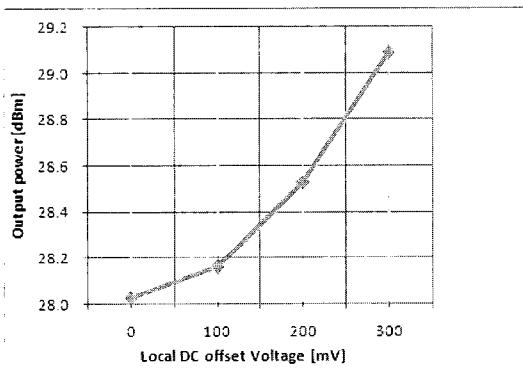
<그림 4> Cartesian feedback으로 선형화된 스펙트럼 (폐루프)

<Fig. 4> Linearized spectrum by cartesian feedback (Closed loop)

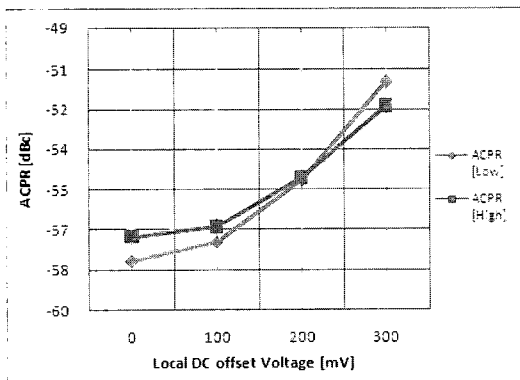
<표 2> Cartesian feedback 증폭기 모의실험 결과
<Table 2> Simulation results of cartesian feedback amplifier

항 목		모의실험 결과		
Loop type		개 루프	폐 루프	비교
Output Power [dBm]		38	30	-8
ACPR [dBc]	± 25 KHz	-15	-60	45
	± 50 KHz	-28	-71	43
	± 75 KHz	-34	-75	41

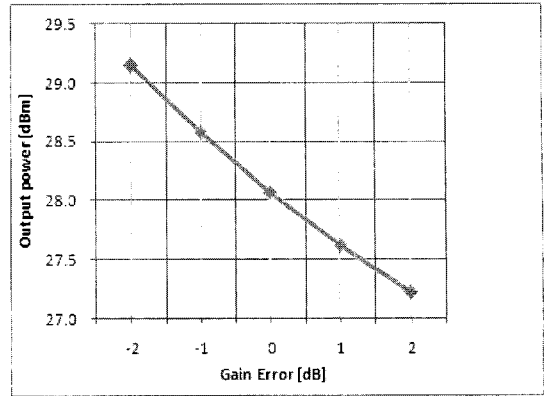
Cartesian feedback 선형화 기법은 위의 결과와 같이 우수한 선형성 개선 효과를 나타내지만, 몇 가지 제한 사항들이 존재한다. 그 중 하나가 DC offset 문제이다. DC offset 성분은 기본적으로 op-amp의 non-ideal 특성에 의해 발생 하게 되며, op-amp의 구조를 가지는 비교 부의 에러 증폭기, 복조 부, 국부 발진 부 등은 이 DC offset에 가장 중요한 요소로 작용하고 있다. 이를 검증하기 위해 국부 발진 부의 DC 성분을 변화 시키며 출력과 선형성 특성에 어느 정도 영향을 주는지 살펴보았다. <그림 5>와 <그림 6>은 각각 DC offset 변화에 따른 출력과 ACPR 특성 변화를 보여주고 있다. DC 성분을 0 ~ 300 mV 까지 변화 시켰을 때 출력은 약 1 dB, ACPR 특성은 약 6 dB의 변화를 보였다.



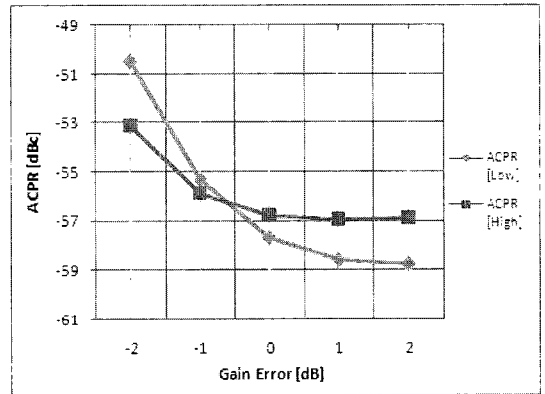
<그림 5> DC offset 에 따른 출력 변화
<Fig. 5> Output power variation by DC offset



<그림 6> DC offset 에 따른 ACPR 변화
<Fig. 6> ACPR variation by DC offset



<그림 7> I/Q 이득 불일치에 따른 출력 변화
<Fig. 7> Output power variation by I/Q gain imbalance

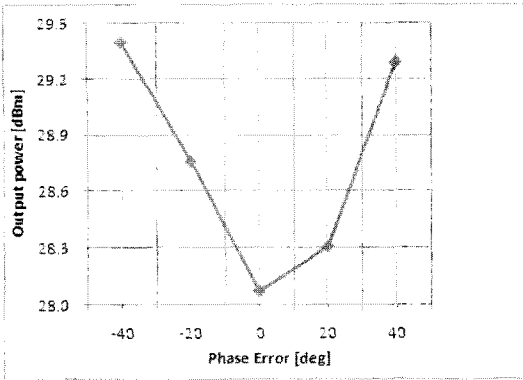


<그림 8> I/Q 이득 불일치에 따른 ACPR 변화
<Fig. 8> ACPR variation by I/Q gain unbalance

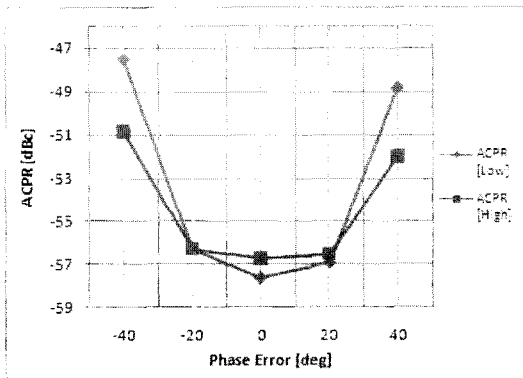
DC offset 문제 외에 또 다른 제한 사항은 I/Q 신호간의 이득과 위상차에 의한 특성 변화이다.

<그림 7>과 <그림 8>은 각각 이득 불일치에 따른 출력과 ACPR 특성 변화를 보여 주고 있다. I/Q 신호간의 이득이 불일치하는 레벨의 변화를 -2 ~ +2 dB로 하였으며, 이때, 출력은 약 1.93 dB, ACPR 특성은 8 dB의 변화를 보였다.

<그림 9>과 <그림 10>은 각각 위상 불일치에 따른 출력과 ACPR 특성 변화를 보여 주고 있다. I/Q 신호간의 위상이 불일치하는 정도를 -40 ~ +40 deg로 변화시켰으며, 이때, 출력은 약 1.33 dB, ACPR 특성은 10 dB의 변화를 보였다 [5-7].



<그림 9> I/Q 위상 불일치에 따른 출력 변화
<Fig. 9> Output power variation by I/Q phase imbalance

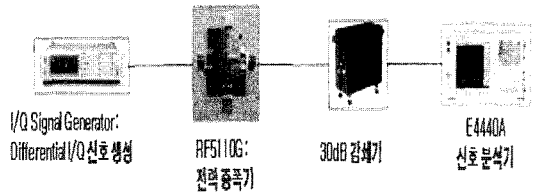


<그림 10> I/Q 위상 불일치에 따른 ACPR 변화
<Fig. 10> ACPR variation by I/Q phase imbalance

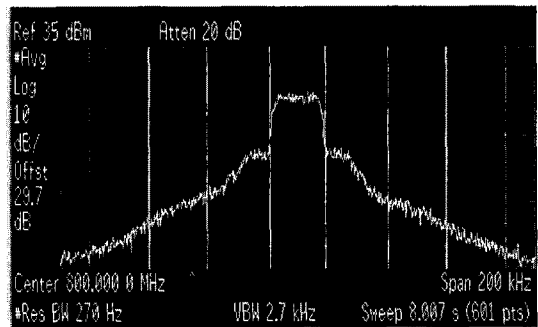
IV. 측 정

위의 모의실험 결과를 기반으로 cartesian feedback 선형화기를 구현 하였으며, TETRA용 전력 증폭기를 선형화하기 위한 전력 증폭기의 최소한의 필수 조건에 대해 검증해 보았다.

본 실험을 통해 선형화 할 전력 증폭기의 자체 특성을 우선 측정해 보았다. 측정 구성도는 <그림 11>과 같고, 측정 결과는 <그림 12>, <표 3>을 통해 나타내었다. 30 dBm 출력 일 때 ± 25 KHz offset 주파수에서 28 dBc, ± 50 KHz offset 주파수에서 49 dBc, ± 75 KHz offset 주파수에서 61 dBc의 ACRP특성이 나타내고 있다.



<그림 11> RF5110G 전력 증폭기 측정 구성도
<Fig. 11> Experimental set-up of RF5110G power amplifier



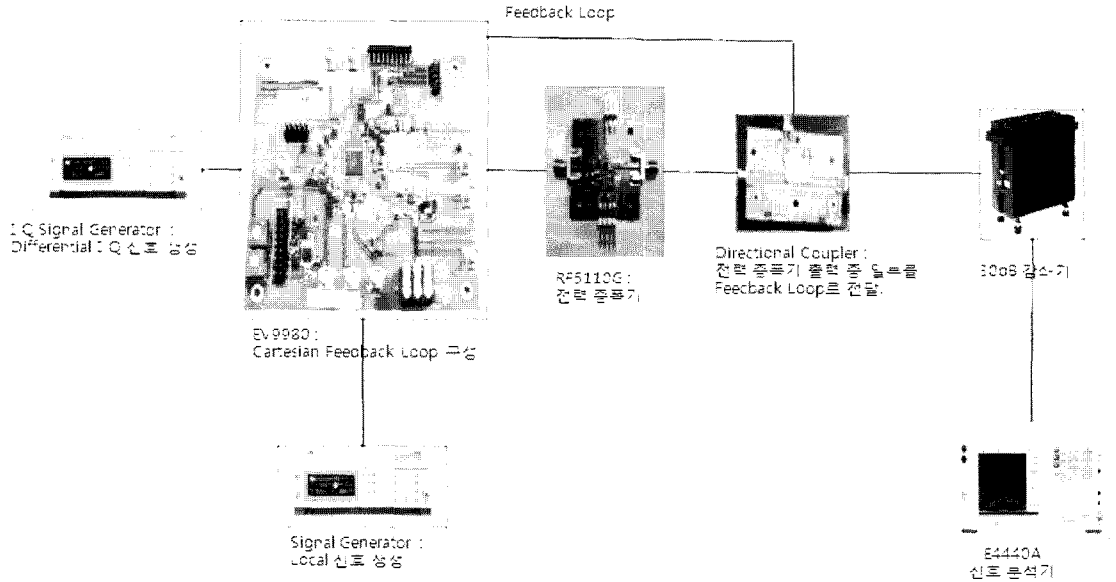
<그림 12> 출력 30 dBm 일 때의 RF5110G 전력 증폭기의 측정 스펙트럼
<Fig. 12> Measured spectrum of RF5110G P.A. at 30 dBm output power

<표 3> 출력 30 dBm 일 때의 RF5110G 전력 증폭기의 측정 결과
<Table. 3> Measured results of RF5110G P.A. at 30 dBm output power

		결 과
Frequency [MHz]		800
Output Power [dBm]		30
ACPR [dBc]	± 25 KHz	-28
	± 50 KHz	-49
	± 75 KHz	-61

위의 특성을 가지는 전력 증폭기를 선형화하기 위해 CML사의 CMX998 칩을 사용하여 0.1 ~ 1 GHz의 주파수 범위를 가지며 대역폭은 최대 150 KHz까지 가능하다.

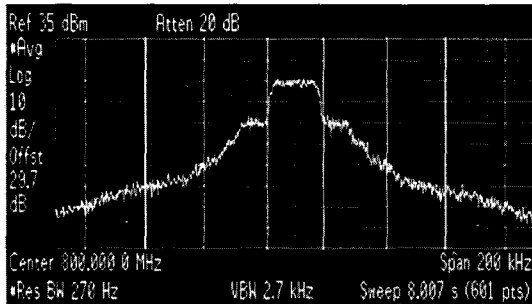
또한, Cartesian feedback 선형화기의 시스템 구성은 <그림 13>과 같이 구성하였다.



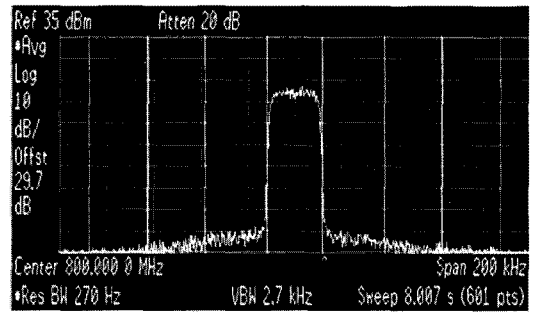
<그림 13> Cartesian feedback 선형화기 측정 구성도
 <Fig. 13> Experimental set-up of cartesian feedback linearizer

<그림 13>과 같이 시스템을 구성하여 실제 Cartesian Feedback 선형화기를 측정 하였을 때의 결과가 <그림 14>, <그림 15> 및 <표 4>에 나타나 있다.

결과를 보면 선형성이 ± 25 KHz offset 주파수에서 46 dBc의 선형성 개선 효과를 나타냈다. 또한, ± 50 KHz offset에서 30 dBc, ± 75 KHz에서 23 dBc의 개선 효과를 나타냈다. 그러나 출력이 5 dB 떨어지는 27 dBm을 나타내었다. 이는 TETRA 규격에서 요구



<그림 14> Cartesian feedback 증폭기의 스펙트럼 (개 루프)
 <Fig. 14> Measured spectrum of cartesian feedback amplifier (open loop)



<그림 15> Cartesian feedback 증폭기의 스펙트럼 (폐 루프)
 <Fig. 15> Measured spectrum of cartesian feedback amplifier (closed loop)

<표 4> Cartesian feedback 증폭기의 측정 결과
 <Table 4> Measured results of cartesian feedback amplifier

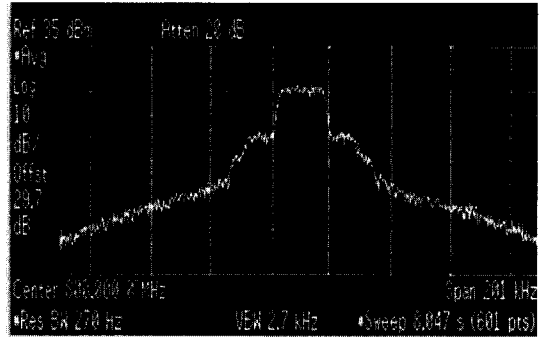
		측정 결과	
		개 루프	폐 루프
Frequency [MHz]		800	
Output Power [dBm]		32	27
ACPR [dBc]	± 25 KHz	-19	-65
	± 50 KHz	-40	-70
	± 75 KHz	-50	-73

하는 최소 -55 dBc이하의 선형성 규격은 만족하지만, 30 dBm 출력은 만족하지 못한다. RF5110G 전력 증폭기의 P1dB가 32 dBm 이므로, 폐 루프 시에 30dBm 이상의 출력을 얻기 위해서는 전력 증폭기의 P1dB가 지금 보다 3dB 높은 35dBm이 되어야만 한다. 이를 위해 RF5110G 두 개를 balanced 구조로 만들어 P1dB를 35dBm이 되도록 하였다. <그림 16> 과 <표 5>는 balanced 구조의 RF5110G 전력 증폭기의 자체 측정 결과이다.

Balanced 구조의 RF5110G 전력 증폭기를 이용한 cartesian feedback 선형화기의 측정의 결과가 <그림 17>, <그림 18> 및 <표 6>에 나타나 있다.

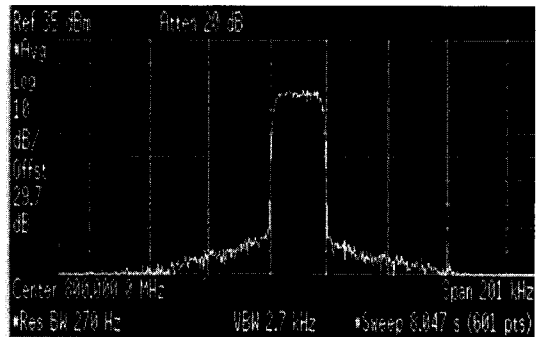
결과를 보면 P1dB가 35 dBm 이상의 전력 증폭기를 사용하여 선형성과 출력을 모두 만족 시키는 것으로 나타났다. 따라서 TETRA 규격에 따른 출력과 선형성을 모두 만족시키기 위해서는 P1dB가

최소한 35 dBm 이상의 전력 증폭기를 사용해야 함을 알 수 있다.



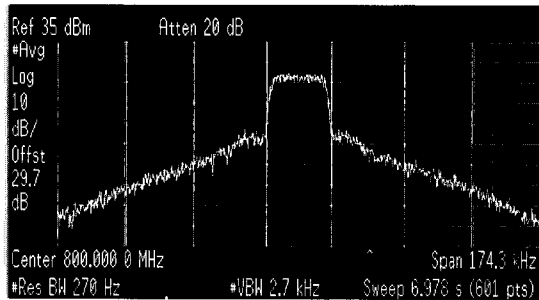
<그림 17> Balanced cartesian feedback 증폭기의 스펙트럼 (개 루프)

<Fig. 17> Measured spectrum of balanced cartesian feedback amplifier (open loop)



<그림 18> Balanced cartesian feedback 증폭기의 스펙트럼 (폐 루프)

<Fig. 18> Measured spectrum of balanced cartesian feedback amplifier (closed loop)



<그림 16> Balanced 구조 RF5110G 전력 증폭기의 측정 스펙트럼

<Fig. 16> Measured spectrum of balanced RF5110G P.A. output power

<표. 5> Balanced 구조 RF5110G 전력 증폭기의 측정 결과

<Table. 5> Measured results of balanced RF5110G P.A. output power

		결 과
Frequency [MHz]		800
Output Power [dBm]		35
ACPR [dBc]	± 25 KHz	-31
	± 50 KHz	-46
	± 75 KHz	-58

<표 6> Balanced cartesian feedback 증폭기의 측정 결과

<Table 6> Measured results of balanced cartesian feedback amplifier

		측정 결과	
		Open	Closed
Frequency [MHz]		800	
Output Power [dBm]		35	30
ACPR [dBc]	± 25KHz	-22	-63
	± 50KHz	-44	-71
	± 75KHz	-53	-75

V. 결 론

본 논문에서는 cartesian feedback 선형화기를 설계하고 DC offset, I/Q 신호간의 이득 및 위상 불일치 등에 의한 선형화기의 성능 저하에 관하여 모의 실험을 통해 분석하였다. 또한, 측정결과, 1 W급 전력 증폭기에 TETRA 16QAM 변조 신호를 인가 시 페 루프 출력 30 dBm 일 때 ACPR 특성은 최소 -63 dBc의 선형성 성능을 보였고 개 루프와 비교 시 약 30~40 dBc의 선형성 개선 효과를 얻었다. 향후 TETRA 단말기 외에 다른 종류의 단말기 등에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 오덕수, 김지연, 김종현, "A study on 800MHz cartesian feedback linearized power amplifier," 제1회 ITS 춘계학술대회논문집, pp. 232-236, 2008. 6.
- [2] P. B. Kenington, *High-Linearity RF Amplifier Design*. Norwood, MA : Artech House, 2000.
- [3] N. Potheary, *Feedforward Linear Power Amplifiers*. Norwood, MA : Artech House, 1999.
- [4] J. D. Mingo, A. Valdovinos, F. Gutierrez "Cartesian loop transmitter for TETRA" *Proc. IEEE VTC*, pp.1511-1515, 1999.
- [5] S. Pipilos, "A transmitter IC for TETRA systems based on a cartesian feedback loop linearization technique," *IEEE J. Solid Sstate Circuits*, vol. 40, no. 3, pp.707-718, March 2005.
- [6] M. Bolorian, J. P. McGeehan, "The frequency-hopped cartesian feedback linear trans-mitter," *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 45, no. 4, pp. 688-706, Nov. 1996.
- [7] R. J. Wilkinson, J. MacLeod, M. A. Beach, and A. Bateman, "Linear transmitter design for MSAT terminals" *Proc. 2nd Int. Mobile Satellite Conf.*, pp.297-301, June 1990.

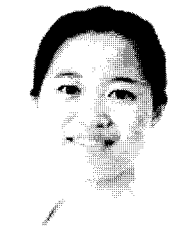
저자소개



오 덕 수 (Oh, Duk-Soo)

2008년 8월 : 광운대학교 전파공학과(공학 석사)
2005년 2월 : 한국방송통신대학교 컴퓨터과학과(공학사)

[주 관심분야] RF 고효율 전력증폭기, RF 선형전력증폭기



김 지 연 (Kim, Ji-Yeon)

2008년 2월 : 광운대학교 전파공학과(공학 박사)
2004년 2월 : 광운대학교 전파공학과(공학 석사)
2002년 2월 : 광운대학교 전자공학부(공학사)

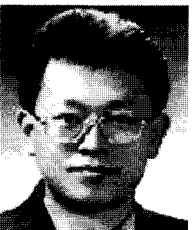
[주 관심분야] RF 고효율 전력증폭기, RF 선형전력증폭기



전 상 현 (Chun, Sang-Hyun)

2007년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파 공학과 박사 과정
2007년 2월 : 광운대학교 전파공학과(공학 석사)
2005년 2월 : 광운대학교 전자공학부(공학사)

[주 관심분야] 스펙트럼 공학, RF 선형전력증폭기



김 종 현 (Kim, Jong-Heon)

2005년 3월 ~ 현재 : IT 국제 표준화 전문가
2004년 7월 ~ 현재 : 미국 TelASIC Technical Advisor
2002년 1월 ~ 현재 : 캐나다 SFU Research Associate
1995년 4월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수
1994년 8월 : 독일 Dortmund Univ. 전자공학과(공학박사)
1990년 6월 : 독일 Ruhr Univ. Bochum 전자공학과(공학석사)
1984년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학사)

[주 관심분야] 스마트 전력증폭기, 고효율 전력증폭기, 선형화기, 스펙트럼 공학, 마이크로 센서