

CDMA 단말기의 LO 신호 위상 잡음에 의한 영향 분석 및 최적화

정회원 이상원*, 한명석**, 김학선***, 홍신남*

Analysis and Optimization of the Phase Noise of the Local Oscillator Signal for the CDMA Mobile Station

Sang-won Lee*, Myoung-seok Han**, Hak-sun Kim***, Shin-nam Hong* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 CDMA 단말기에서 요구하는 TIA/EIA/IS-98-D의 최소 요구 성능인 수신기의 수신 감도와 송신기의 ACPR에 영향을 주는 국부발진기의 위상 잡음에 의한 영향을 분석하고 최적화하였다. 수신기와 송신기에 공급되는 국부발진기의 위상 잡음 레벨은 900kHz 오프셋에서 각각 -138.3dBc/Hz와 -120dBc/Hz 이하를 만족해야 됨을 확인하였으며, 이에 따라 수신기의 하향 변환기에 공급되는 -138.3dBc/Hz 이하의 위상 잡음 레벨을 갖는 국부발진기 신호를 송신기의 상향 변환기에 공급하면 수신 감도와 ACPR 성능이 만족된다는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, the effect of the phase noise of a local oscillator on the ACPR of a transmitter and the reception sensitivity of a receiver to meet the TIA/EIA/IS-98-D for the CDMA mobile station was analyzed. And the optimum condition for performance of the local oscillator was suggested. It was found that the phase noise level of the local oscillator in a receiver and a transmitter should be below -138.3dBc/Hz and -120dBc/Hz, respectively, at 900kHz offset. It was confirmed that the reception sensitivity and ACPR efficiency were satisfactory when the signal of the local oscillator to the down-converter of a receiver with the phase noise level of less than -138.3dBc/Hz is supplied to the up-converter of the transmitter.

I. 서론

CDMA 단말기에서는 헤테로다인 방식의 이중 주파수 변환을 통해 정확한 데이터를 복원하거나 또는 전송한다. 수신기는 잡음과 다양한 간섭 등의 여러 가지 환경에서 수신된 RF 신호로부터 우리가 원하는 정보를 정확하게 복원하는 역할을 수행한다. 수신기의 성능을 나타내기 위해서 감도, 선택도, 다이나믹 레인지 등 많은 지표들이 이용되며, 이러한 지표들은 수신기를 구성하는 각각의 부품들의 의해서 복합적으로 결정된다. 만일 안테나를 통해서 간섭 신호들이 공급되면 상호변조와 교차변조 등과

같은 현상이 발생되어 전체 수신기의 감도 특성이 저하되고, 국부발진기의 위상 잡음에 의한 상호 현상에 의해서도 수신 감도가 열화된다. 그러므로 수신기의 감도 특성을 저하시키는 요인 중에서 국부발진기의 위상 잡음으로 인한 신호 상실을 정의하고 TIA/EIA/IS-98-D 사양에서 제시한 최소한의 신호 상실을 만족시키기 위해 요구되는 국부발진기의 위상잡음 레벨을 결정할 필요가 있다^{[1][2]}.

송신기는 신호가 전달 매체를 지나가다가 손실이 되어 수신되지 못하거나 잡음 등의 외부 요인으로 인해 원래의 데이터가 손상되지 않도록 하기 위해서 신호를 코딩한다. 또한 전력증폭기 등을 이용하여 송신 신호를 충분한 전력으로 증폭시켜 안테나

* 한국항공대학교 항공전자공학과(swlee@mail.hankong.ac.kr)

** 대전대학교 컴퓨터전자전기학부(mshun@dcc.ac.kr)

*** 한밭대학교 정보통신·컴퓨터공학부(hskim@hanbat.ac.kr)

논문번호 : 010258-0925, 접수일자 : 2001년 9월 25일

를 통해서 전달한다. 이 때 송신된 신호는 전력 제어 등을 이용하여 다른 사용자에게 간섭을 일으키지 않도록 각각의 단말기에서 전송된 신호의 전력이 기지국의 수신기에서 일정한 세기를 가지고 수신되도록 한다. 즉 기지국과 단말기간의 거리에 비해 강한 세기의 송신 전력은 인접채널에 간섭으로 작용을 하기 때문에 이러한 인접채널에 영향을 주지 않도록 송신되는 신호의 중심주파수 전력에 대한 인접채널 주파수대역의 전력을 차이를 일정한 레벨 이하로 규정하게 되며, 이를 ACPR(Adjacent Channel Power Ratio)로 나타낸다.

송신기의 ACPR 특성은 여러 부품들의 특성들에 의해 복잡하게 결정되는 수신기의 성능에 비해 전력증폭기의 성능에 크게 의존하는 특성을 가진다. 또한 전체적으로 보면 송신 신호 전력의 ACPR 특성은 송신기 선로의 구동증폭기의 ACPR 성능과 국부발진기의 위상잡음 특성에 의해서 3dB 정도 감소하게 된다. BBA에서 변조된 CDMA IF 신호는 낮은 ACPR 특성(-54dBc/30KHz @ -18dBm Pout)을 갖지만, 송신기의 상향 변환기와 구동증폭기를 통과하면서 ACPR 특성이 저하된다. 특히 상향 변환기에서 IF 신호를 RF 신호로 변환하기 위해서 공급되는 국부발진기의 위상 잡음 레벨에 따라 구동증폭기에 공급되는 신호의 ACPR 특성이 변화하게 되어 구동증폭기와 전력증폭기에 공급되는 신호의 ACPR 특성을 저하시킨다^[3].

본 논문에서는 TIA/EIA/IS-98-D의 최소 요구 성능인 수신기의 -104dBm 감도와 송신기의 -42dBc/30KHz ACPR를 만족시키기 위한 최소한의 국부발진기의 위상 잡음 레벨을 결정하였다. 수신기에서는 수신 감도에 영향을 미치는 단일 톤 신호 상실 영향을 분석할 때 듀플렉서 다음 단의 열 잡음과 교차 변조 적외 존재할 때 생기는 영향을 고려하여 감도 특성을 저하시키지 않는 국부발진기의 위상 잡음을 결정하였으며, 송신기에서는 IFT3000에서 발생된 -54dBc/30KHz의 ACPR 특성을 갖는 IF 신호를 상향 변환기를 사용하여 RF 신호로 변화시키고 -52dBc/30KHz의 출력 ACPR 특성을 갖는 구동증폭기와 -52dBc/30KHz의 출력 ACPR 특성을 갖는 전력증폭기를 사용하여 안테나를 통해서 전송되는 송신 신호의 ACPR 특성에 영향을 주는 국부발진기의 위상 잡음을 분석하였다. 이와 같이 분석한 수신기와 송신기에서 요구되는 국부발진기의 위상 잡음 레벨을 통해서 전체 CDMA 단말기에서 구현해야 할 국부발진기의 위상 잡음 레벨을 정의하고 최적화하였다.

II. 수신기에서 국부발진기의 위상잡음에 의한 영향

이상적인 발진기는 단일 주파수를 발진시키지만 실제의 발진기는 일정한 오프셋 주파수에서 위상 잡음 특성을 갖기 때문에 주파수 영역에서 중심 주파수를 중심으로 좌우로 퍼지는 스펙트럼 특성을 가지게 된다. 이러한 스펙트럼의 확산 정도는 중심 주파수에 대해 일정한 오프셋만큼 떨어진 지점에서의 단위 대역폭 당 잡음 전력을 계산한 후 이를 캐리어 전력으로 나눈 위상 잡음으로 정의하고, 식 (1)과 같이 나타낸다^[4].

$$\text{Phase Noise[dBc/Hz]} = \text{Noise Power(dBm)} - \text{Carrier Power(dBm)} - 10\log(\text{BW}) \quad (1)$$

원하는 신호와 간섭이 동시에 수신되고, 일정한 위상 잡음 특성을 갖는 국부발진기 신호에 의해 IF 신호로 하향 변환되면 변환된 신호들은 주파수 영역에서 서로 겹쳐서 나타나게 된다. 이 때 주파수 변환된 간섭 신호는 국부발진기의 위상 잡음에 의한 영향을 받아 간섭 중심주파수를 중심으로 일정한 오프셋에서 국부발진기와 동일한 위상 잡음을 갖게 되고, 간섭 신호의 위상 잡음 후미가 원하는 신호의 대역폭 내에 첨가되어 본래 신호에 심각한 잡음을 추가하는 'reciprocal mixing' 현상을 발생시킨다. 그러므로 원하는 신호의 대역 내에 첨가된 국부발진기의 위상 잡음과 간섭 신호의 혼합으로 인한 잡음의 크기가 TIA/EIA/IS-98-D 최소 사양 규격에서 제시하는 한계치를 만족하도록 해야 하며, 또한 수신기의 성능에 영향을 주지 않는 최소한의 국부발진기의 위상 잡음 크기를 결정해야 한다^{[5][6]}.

일반적으로 위상 잡음을 결정할 때는 기본적으로 감도 조건이 만족되었다고 가정한 후 단일 톤 감도 상실(single tone desensitization) 조건으로부터 구할 수 있다. 우선 AWGN만이 존재할 경우 9600bps일 때 FER=0.01, Eb/Nt=4.3이고, 감도가 -104dBm이라 가정할 때 열 잡음은 -102.9dBm이 된다. 식 (2)와 같은 열 잡음에서 최대 잡음 지수(NF_{max})를 구하면 10.1dB이 된다.

$$\text{Thermal Noise[dBm]} = 10\log(kT) + 10\log(1.2288\text{MHz}) - \text{NF}_{\text{max}} \quad (2)$$

일반적인 단말기의 수신기에서 수신 감도가 -104dBm이면 열 잡음은 -102.9dBm이다. 이 경우에 선택

도, 위상 잡음, 교차변조 적에 의해 발생하는 원하지 않는 전체 간섭에 대한 전력의 합은 잡음 증과 동일하게 될 것이다. 그러므로 최악의 조건에서 원하지 않는 세 개의 간섭 성분은 똑같은 전력의 크기를 갖는 간섭을 제공하므로 전체 수신기의 선택도는 $10\log(1/3)$ 인 4.8dB를 보상한 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Total Selectivity} = P_{\text{Interferer}} - P_{\text{Thermal Noise}} + 4.8\text{dB} \\ = -30\text{dBm} - (-102.8\text{dBm}) + 4.8\text{dB} = 77.6[\text{dB}] \quad (3)$$

또한 위상 잡음에 선택도와 교차변조 적이 똑같은 간섭을 준다고 가정하면, 다음 식 (4)와 같이 위상잡음을 구하는 식에 4.8dB를 보정해 주어야 한다.

$$\text{Phase Noise} = P_{\text{Thermal Noise}} - 4.8\text{dB} \\ = -102.8\text{dBm} - 4.8\text{dB} \\ = -107.6[\text{dBm}] \quad (4)$$

그러므로 VCO에 대한 SSBN은 다음 식 (5)와 같이 구해진다.

$$\text{SSBN}_{\text{VCO}} = P_{\text{Phase Noise}} - P_{\text{Interferer}} - 10\log(\text{BW}) \\ = 107.6\text{dBm} - (-30\text{dBm}) - 10\log(1.2288\text{MHz}) \\ = -138.5[\text{dBc/Hz}] @ 900\text{kHz offset} \quad (5)$$

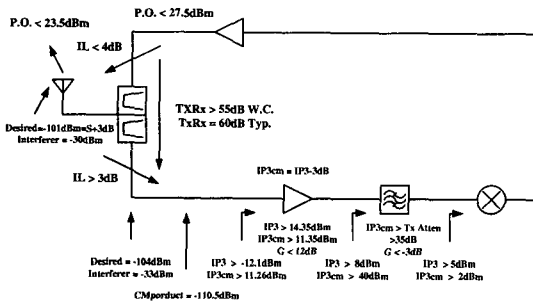


그림 1. CDMA 단말기의 단일 톤 신호 상실에 의한 영향

따라서 단일 톤이 발생하는 수신기의 성능을 만족시키기 위해서 요구되는 국부발진기의 최소 위상 잡음 레벨은 900kHz 오프셋에서 식 (1)에 의해 구한 -134dBc/Hz와 실제 단말기 시스템을 고려한 식 (5)에 의한 -138.5dBc/Hz를 비교하면 약 4.5dB의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 오차는 그림 1과 같이 단일 톤 신호 상실 영향을 고려할 때 듀플렉서 다음 단의 열 잡음인 -105.9dBm 보다 4.8dB 낮은 곳에 교차변조 적 존재할 때 생기는 영향을 고려하지 않아 발생하는 것이다. 그리고 실

제적인 단말기 시스템에서는 저잡음 증폭기에 의한 교차변조 적과 열 잡음의 차가 0.2dB이므로 4.6dB를 보상해 주어야 한다. 그러므로 수신기의 단일 톤 신호 상실에 대한 특성을 저하시키지 않기 위해서는 VCO의 위상잡음은 -138.3dBc/Hz 보다 작은 값을 공급해야만 된다.

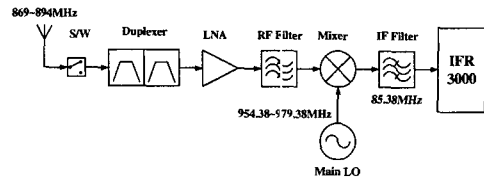


그림 2. 수신기의 블록도

표 1. VCO SSBN에 의한 단일 톤 신호 상실의 계산

The following items are used to calculate intermediate results			
VCO SSBN (dBc/Hz)	-134.00	-138.30	-140.00
Calculate Single tone desense level	dBc		
-99.9 dBm minus kTBF	-101.01	-101.01	-101.01
LNA	-79.07	-79.07	-79.07
Antenna Switch	-31.30	-81.30	-81.30
Selectivity	-39.00	-89.00	-89.00
SSBN	-73.11	-77.41	-79.11
Total	-71.55	-74.06	-74.77
Check single tone desense number			
dBm			
Thermal Noise	-106.40	-106.40	-106.40
P _{mod} up to LNA	-108.50	-106.00	-105.30
P _{mod} due to Antenna Switch	-110.80	-108.20	-107.50
Selectivity	-118.50	-115.90	-115.20
SSBN	-102.60	-104.40	-105.30
Total	-39.90	-99.90	-99.90

그림 2와 같은 구조를 갖는 수신기에서 VCO의 SSBN 위상 잡음이 -134dBc/Hz, -138.3dBc/Hz, -140dBc/Hz인 경우의 단일 톤 신호 상실의 분석에 대한 계산 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 식 (5)에 구한 VCO의 SSBN 위상 잡음이 -138.3dBc/Hz일 때의 수신기 열 잡음은 -106.2dBm, 선택도는 -115.9dBm, SSBN은 -104.4dBm 등으로 전체 간섭의 합은 단일 톤 신호 상실 전력의 사양인 -99.9dBm을 만족한다는 것을 확인할 수 있다.

Avilent 0924C CDMA Mobile Test Set 11/02/01 11:38:00 am

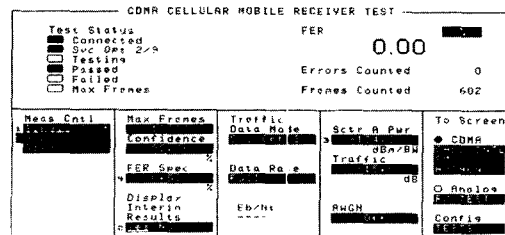


그림 3. 수신기의 감도 측정 결과

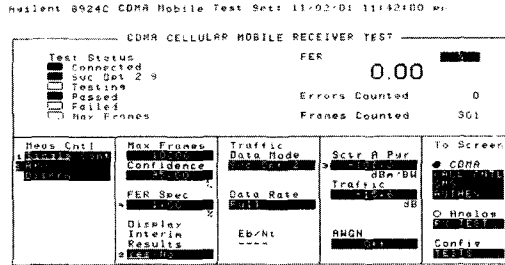


그림 4. 수신기의 단일 톤 신호 상실 측정 결과

식 (5)의 타당성을 입증하기 위하여 그림 2와 같은 구조를 갖는 수신기에 위상 잡음이 900kHz 오프셋에서 -140dBc/Hz인 PLL 모듈을 사용하여 CDMA 단말기의 RF 시스템을 제작하였다. 8924C (CDMA Mobile Station Test Set)를 이용하여 단말기의 수신 감도를 측정된 결과를 그림 3에 나타내었다. 성능 평가는 FER로 하며, 신뢰도 95%에서 0.5%를 초과해서는 안된다. 또한 CDMA 중심 주파수에서 +900kHz 떨어진 지점에 단일 톤이 있는 상태에서 단말기의 복조 성능을 평가하는 단일 톤 신호 상실에 대한 성능을 측정된 결과를 그림 4에 나타내었다. 성능에 대한 평가는 FER로 하며, 신뢰도 95%에서 0.01%를 초과해서는 안된다. 측정 결과를 검토해보면 수신 감도와 단일 톤 신호 상실에 대한 성능 평가 결과는 최소 요구 조건을 만족시킨다.

그러므로 수신기의 중요 성능인 단일 톤 신호 상실에 가장 큰 영향을 미치는 것은 VCO의 위상 잡음인 SSBN이다. 그러나 VCO의 위상 잡음이 -140 dBc/Hz일 때는 표 1과 같이 선택도, 위상 잡음, 교차변조 적이 비슷한 크기의 전력이 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 식 (3)과 (4)와 같이 선택도와 위상 잡음을 구할 때 4.8dB를 보정해 주는 것이 타당하다는 것을 그림 3과 그림 4의 실험 결과를 통해 확인할 수 있다.

III. 송신기에서 국부발진기의 위상 잡음에 의한 영향

국부발진기의 위상 잡음은 송신기 출력 신호의 성능에서 ACPR 특성에 영향을 주게 된다. 이러한 송신 신호의 ACPR 특성은 전력증폭기에 의해서 주로 결정되며, TIA/EIA/IS-98-D에서 제시하는 ACPR -42 dBc/30kHz (@885kHz offset)와 -54 dBc/30kHz (@1.98MHz offset) 이하를 유지하도록 해야 한다. 현재 CDMA

단말기에서 사용되고 있는 전력증폭기의 ACPR 특성은 일반적으로 885kHz와 1.98MHz의 오프셋 주파수에서 -44 dBc/30kHz와 -56 dBc/30kHz의 특성을 갖도록 설계된다. 이와 같이 TIA/EIA/IS-98-D 표준 규격을 만족시키기 위한 송신 신호 ACPR 특성은 전력증폭기에서 결정되지만 우선적으로 전력증폭기에 공급되는 신호의 ACPR 특성이 전력증폭기의 자체 ACPR 특성보다 매우 낮도록 하여 전력증폭기의 출력단에서 ACPR 특성이 저하되지 않도록 해야 한다.

CDMA 단말기에서 사용하고 있는 IFT3000은 MSM5000 모델 칩에서 디지털 베이스밴드 신호를 입력받아 IF 주파수 대역으로 주파수 변환시키고 내부 AGC 회로를 통해 일정한 세기의 전력을 갖는 IF 신호를 상향 변환기에 공급한다. 상향 변환기에 공급되는 IF 신호의 전력은 -18dBm/1.23MHz이며, 이때의 ACPR 특성은 약 -54 dBc/30kHz가 된다. 상향 변환기에서 공급된 IF 신호를 965.38MHz에서 979.38 MHz의 국부발진기 신호에 의해서 송신 RF 주파수로 변환한다. 이때 상향 변환기에 공급되는 IF 신호의 중심주파수에서 900kHz 떨어진 주파수 지점에서 잡음 레벨은 -116.77 dBm/Hz가 되고 CDMA 주파수 대역폭으로 나타내면 식 (6)과 같이 된다⁽⁷⁾.

$$\begin{aligned} \text{Noise Level} &= \text{Signal Power} + \text{ACPR} \\ &= -18\text{dBm} - 54\text{dB}/30\text{kHz} - 10\log(1228.8/30) \\ &= -55.87[\text{dBm}/1.2288\text{MHz}] \quad (6) \end{aligned}$$

1. 국부발진기 신호에 위상 잡음이 포함되지 않는 경우

먼저 상향 변환기에 공급되는 국부발진기 신호의 위상 잡음 성분이 없고 단지 -174dBm/Hz의 열 잡음만 존재한다고 그림 5와 같이 가정하였을 때의 상향 변환기의 출력에 나타나는 RF 신호의 ACPR 특성은 다음과 같이 구할 수 있다.

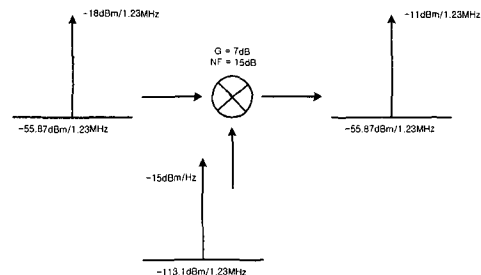


그림 5. 상향 변환기의 입출력 특성(위상 잡음이 없는 경우)

입력 IF 신호의 레벨이 $-18\text{dBm}/1.23\text{MHz}$ 이고, 잡음 레벨은 $-55.87\text{dBm}/1.23\text{MHz}$ 이다. 이득이 7dB 이고 잡음 지수가 15dB 인 MRFIC0954 상향 변환기를 사용할 때 국부발진기에서 공급되는 신호의 전력은 -15dBm 이고 이때의 잡음 레벨은 $-113.1\text{dBm}/1.23\text{MHz}$ 이다. 상향 변환기의 RF 출력 신호의 전력은 $-11\text{dBm}/1.23\text{MHz}$ 이고 잡음 레벨은 3종류의 복합으로 다음과 같이 결정된다. 먼저 입력 IF 신호의 열 잡음에 의한 출력 잡음 레벨(Nout1)은

$$\begin{aligned} \text{Nout1} &= \text{Nin} \times G \times \text{NF} \\ &= -113.1\text{dBm}/1.23\text{MHz} + 7\text{dB} + 15\text{dB} \\ &= -91.1[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (7)$$

이 되고, 인접채널 대역에 포함된 신호 잡음 레벨 $-55.87\text{dBm}/1.23\text{MHz}$ 에 의한 출력 잡음 레벨(Nout2)은

$$\begin{aligned} \text{Nout2} &= -55.87\text{dBm}/1.23\text{MHz} + G \\ &= -48.7[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (8)$$

이 된다. 그리고 국부발진기 신호의 열 잡음에 의한 출력 잡음 레벨(Nout3)은 식 (9)와 같이 국부발진기 신호의 SNR을 구한 후 식 (10)으로 구할 수 있다.

$$\text{LO SNR} = -15\text{dBm} - (-113.1\text{dBm}/\text{Hz}) = 98.1[\text{dB}] \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{Nout3} &= \text{Sout} - \text{LO SNR} \\ &= -11\text{dBm}/1.23\text{MHz} - 98.1\text{dB} \\ &= -109.1[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (10)$$

상향 변환기의 출력단에 나타나는 잡음은 이와 같이 3종류로 구성이 되지만 인접채널 대역에 포함된 신호 잡음에 의한 영향이 지배적으로 나타나게 되어 전체 출력 잡음 레벨(Nout)은

$$\begin{aligned} \text{Nout} &= \text{Nout1} + \text{Nout2} + \text{Nout3} \\ &= 10\log(10^{\text{Nout1}/10} + 10^{\text{Nout2}/10} + 10^{\text{Nout3}/10}) \\ &= -48.87[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (11)$$

가 되고, 상향 변환기 출력단에서 나타나는 RF 신호의 ACPR을 구하면

$$\text{ACPR} = \text{Nout}/30\text{kHz} - \text{Sout} = -53.99[\text{dBm}/30\text{kHz}] \quad (12)$$

가 된다. 따라서 입력 IF 신호의 ACPR $-54\text{dBc}/30\text{kHz}$ 와 크게 변화되지 않고 주파수 변환이 이루어진다.

2. 국부발진기 신호에 위상 잡음이 포함된 경우 국부발진기 신호의 전력이 $-15\text{dBm}/\text{Hz}$ 이고 900kHz

오프셋에서 $-100\text{dBc}/\text{Hz}$ 의 위상잡음을 갖는 국부발진기 신호가 상향 변환기에 공급된다고 그림 6과 같이 가정하면, 상향 변환기의 출력에 나타나는 RF 신호의 레벨과 잡음 성분은 다음과 같이 나타나게 된다.

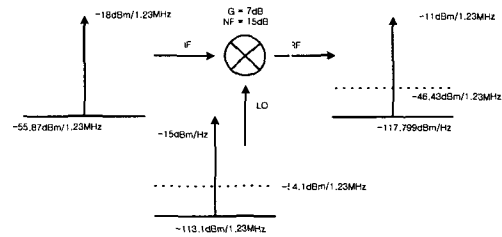


그림 6. 상향 변환기의 입출력 특성(위상 잡음이 포함된 경우) 출력 신호의 레벨은 식 (13)과 같이 계산된다.

$$\text{Sout} = -18\text{dBm} + 7\text{dB} = -11[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \quad (13)$$

IF 신호 열 잡음에 의한 RF 잡음 레벨(Nout1)은

$$\begin{aligned} \text{Nout1} &= -174\text{dBm}/\text{Hz} + 10\log(1.23\text{MHz}) + 7\text{dB} + 15\text{dB} \\ &= -91.1[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (14)$$

이 되고, IF 신호의 인접채널 대역내의 신호 잡음에 의한 RF 잡음 레벨(Nout2)은

$$\begin{aligned} \text{Nout2} &= -55.87\text{dBm}/1.23\text{MHz} + 7\text{dB} \\ &= -48.87[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (15)$$

이 된다. 국부발진기 신호의 열 잡음에 대한 입력 SNR(SNR1)은

$$\begin{aligned} \text{SNR1} &= -15\text{dBm} - (-174\text{dBm}/\text{Hz} + 10\log(1.23\text{MHz})) \\ &= 98.1[\text{dB}] \end{aligned} \quad (16)$$

이 되며, 국부발진기 신호의 위상 잡음에 대한 입력 SNR(SNR2)은 식 (17)과 같이 잡음 레벨을 구한 후 식 (18)에 대입하여 구한다.

$$\begin{aligned} \text{Noise Level @900kHz offset} &= -15\text{dBm} + (-100\text{dBc}/\text{Hz}) \\ &= -115[\text{dBm}/\text{Hz}] \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{SNR2} &= -15\text{dBm} - (-115\text{dBm}/\text{Hz} + 10\log(1.23\text{MHz})) \\ &= 39.1[\text{dB}] \end{aligned} \quad (18)$$

국부발진기 신호의 열 잡음에 의한 RF 잡음 레벨(Nout3)은

$$\begin{aligned} \text{Nout3} &= \text{Sout-SNR1} = -11\text{dBm}/1.23\text{MHz}-98.1\text{dB} \\ &= -109.1[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (19)$$

이 되며, 국부발진기 신호의 위상 잡음에 의한 RF 잡음 레벨 (Nout4)은

$$\begin{aligned} \text{Nout4} &= \text{Sout-SNR2} = -11\text{dBm}/1.23\text{MHz}-39.1\text{dB} \\ &= -50.1[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (20)$$

이 되므로 전체 RF 잡음 레벨 (Nout)은 식 (21)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Nout} &= \text{Nout1} + \text{Nout2} + \text{Nout3} + \text{Nout4} \\ &= -46.43[\text{dBm}/1.23\text{MHz}] \end{aligned} \quad (21)$$

그러므로 식 (13)과 (21)를 이용하여 출력단에 나타나는 ACPR_{out}을 구하면

$$\begin{aligned} \text{ACPR}_{\text{out}} &= (\text{Nout}+10\log(30/1230)) - \text{Sout} \\ &= -51.56[\text{dBm}/30\text{kHz}] \end{aligned} \quad (22)$$

이 된다. 식 (12)와 (22)을 비교하면 국부발진기 신호에 위상 잡음이 포함이 된 경우에 출력단에서 나타나는 ACPR은 위상 잡음을 포함하지 않은 경우에 비해 약 2.4dB 정도 저하되는 것을 알 수 있다.

이와 같이 베이스밴드 칩에서 변조된 RF 신호가 구동증폭기와 전력증폭기를 통과하면서 최종적인 출력 ACPR을 결정하게 되는데, 만일 구동증폭기의 ACPR이 -52dBc/30KHz이고 전력증폭기의 ACPR이 -44dBc/30KHz일 때 각 부품의 출력단에서 나타나는 출력 신호의 ACPR은 -48.97dBc/30KHz와 -42.8dBc/30KHz가 된다. 이 결과는 TIA/EIA/IS-98-D에서 제시한 -42dBc/30KHz를 만족시키지만, 실제 회로를 구현하면 구동증폭기와 전력증폭기의 ACPR 특성이 정확하게

나오지 않게 된다. 따라서 출력 ACPR을 만족시키기 위해서 최소 1dB 정도의 마진을 고려해서 전력증폭기에 공급되는 신호의 ACPR이 IF 신호의 ACPR 특성이 크게 저하되지 않도록 국부발진기 신호의 위상 잡음을 개선해야 한다.

그림 7은 국부발진기 신호의 위상 잡음의 변화에 대한 송신단의 각각의 소자에 대한 출력 ACPR 특성을 나타내었으며, 그림 8에 국부발진기 신호의 위상 잡음이 -138.3dBc/Hz인 신호를 상향 변환기에 공급하고 전력증폭기 출력이 27.3dB가 되도록 설정한 후 측정된 ACPR 특성 결과를 나타내었다.

그림 7에서 안테나에서 전송되는 출력 신호의 ACPR 특성은 전력증폭기에 의해 지배적으로 영향을 받는 것을 알 수 있으며, 국부발진기 신호의 위상 잡음의 변화에 따라 출력 ACPR 특성이 저하되는 것을 알 수 있다. 결국 출력 ACPR 특성에 국부발진기의 위상 잡음이 영향을 주지 않기 위해서는 약 -120dBc/Hz 이하의 위상 잡음 특성을 갖는 국부발진기 신호를 상향 변환기에 공급해야 하며, 만일 -95dBc/Hz보다 큰 위상 잡음을 갖는 국부발진기 신호가 공급되는 경우 출력 ACPR 특성은 TIA/EIA/IS-98-D 조건을 만족할 수 없다.

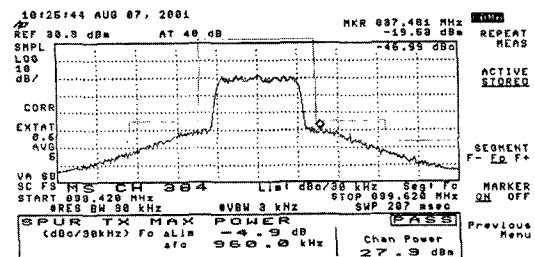


그림 8. 채널 384에서 송신기의 ACPR 측정 결과

그러므로 그림 8의 결과에서 수신기의 하향 변환기에 공급되는 -138.3dBc/Hz 이하의 국부발진기 신호를 송신기의 상향 변환기에 공급하면 TIA/EIA/IS-98-D의 최소 성능 규격인 ACPR 특성이 만족된다는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 CDMA 단말기의 송신기 출력 신호의 ACPR 특성과 수신기의 감도 특성에 영향을 주는 국부발진기의 위상 잡음의 레벨을 결정하기 위하여 수신기에 존재하는 잡음의 원인을 분석하여 선택도, 위상 잡음 그리고 교차변조 적에 대한 영향

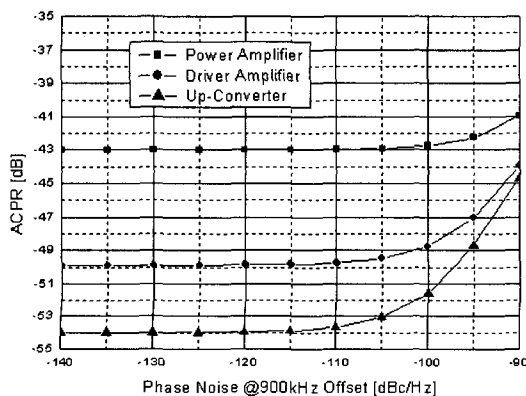


그림 7. LO 신호의 위상 잡음 변화에 따른 출력 ACPR 특성

을 평가하는 새로운 방법을 제시하고, 실제 제작한 단말기의 성능을 측정하여 제시한 수식의 타당성을 입증하였다.

일반적으로 단일 톤 신호에 의하여 열화되는 수신기의 성능을 만족시키기 위해서 국부발진기의 최소 위상 잡음 레벨은 900KHz 오프셋에서 -134dBc/Hz가 요구되는 것으로 알려졌다. 그러나 이 값은 단일 톤 감도 상실의 성능을 분석할 때 듀플렉서 다음단의 열 잡음인 -105.9dBm 보다 4.8dB 낮은 곳에 교차변조 적외 존재할 때 생기는 영향을 고려하지 않은 값이다. 또한 수신기의 저잡음 증폭기 단에서 교차변조 적외 열 잡음은 0.2dB의 차이가 나므로 실제적으로는 4.6dB를 보상해 주어야 한다. 그러므로 송신기 출력 신호의 ACPR 특성과 수신기의 감도 특성에 영향을 주는 국부발진기의 위상 잡음이 900KHz 오프셋에서 -138.3dBc/Hz보다 작은 값을 공급해야만 한다.

만일 -138.3dBc/Hz 보다 큰 위상 잡음을 갖는 국부발진기를 사용하게 되면 수신 대역의 잡음 레벨이 증가하여 수신기에서 요구하는 -104dBm/1.23MHz의 신호는 수신할 수 없게 된다. 그리고 송신기의 IFT3000에서 발생된 -54dBc/30KHz의 ACPR 특성을 갖는 IF 신호를 상향 변환기와 구동증폭기 그리고 전력증폭기를 거쳐 안테나를 통해서 전송될 때 송신 신호의 ACPR 특성을 저하시키지 않기 위해서는 최소 -120dBc/Hz 이하의 위상 잡음 특성을 갖는 국부발진기 신호를 상향 변환기에 공급해야 한다. 그러므로 송신기의 ACPR 성능을 만족하면서 동시에 수신기의 감도를 만족시키기 위해서 요구되는 국부발진기 신호의 위상 잡음은 최소 -138.3dBc/Hz 이하를 유지해야 된다.

현재 CDMA 단말기에서 송신기와 수신기에 공급되는 국부발진기 신호는 하나의 PLL 회로에서 공급하기 때문에 수신단의 감도를 위한 위상 잡음 조건만을 만족시키면 송신단의 ACPR 특성이 만족된다는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] TIA/EIA INTERIM STANDARD(TIA/ EIA-98-C), "Recommended Minimum Performance Standards for Dual-Mode Wide band Spread Spectrum Cellular Mobile Stations", TIA/EIA-98-C, Mar. 1999.
- [2] 3GPP2 TSG-C4.1, "Recommended Minimum

Performance Standards for cdma2 000 Spread Spectrum Mobile Stations", TIA/EIA-98-D, Jul. 2000.

- [3] Samuel C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House Publishers, 1998.
- [4] Ji-Hoon Kim and Jae-Hyung Park, "RF Transceiver Minimum Performance Analysis for CDMA Cellular/PCS Dual-Mode Mobile Station(TIA/EIA/IS-98A/B and J-STD-018)", *Internal Report*, pp. 1-28, Jun. 1999.
- [5] B. Razabi, *RF Microelectronics*, Prentice-Hall, 1998.
- [6] S. Wu and B. Razabi, "900-MHz/1.8GHz CMOS Receiver for Dual-Band Applications", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 33, pp. 2178-2185, Dec. 1998.
- [7] Qualcomm CDMA Technologies, "IFR300 0 Rx IF-Baseband Converter IFT3000 Tx Baseband-IF Converter User Manual", *Qualcomm*, Sep. 1999.

이 상 원(Sang-won Lee)

정회원



1967년 3월 20일생

1989년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과(공학사)

1991년 8월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과(공학석사)

2002년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과(공학박사)

1991년 3월 ~ 1997년 7월 : ED기술연구소(주)

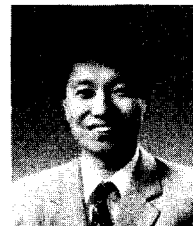
1999년 9월 ~ 2001년 5월 : 터보텔레콤(주)

2001년 6월 ~ 현재 : 마젤텔레콤(주)

<주관심 분야> 이동통신 RF 시스템 설계 및 제작, 초고주파 회로 및 시스템, RF MEMS 소자

한 명 석(Myoung-seok Han)

정회원



1964년 10월 10일생

1989년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과 졸업(공학사)

1991년 8월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 7월 ~ 1994년 2월 : 현대전자 반도체 연구소

1995년 ~ 현재 : 대천대학 컴퓨터전자전기학부 부
교수.

<주관심 분야> 반도체 회로 설계 및 modeling 등임.

김 학 선(Hak-sun Kim) 정회원



1959년 6월 3일생
1986년 2월 : 한국항공대학교 항
공전자공학과(공학사)
1990년 2월 : 한국항공대학교 항
공전자공학과(공학석사)
1993년 8월 : 한국항공대학교 항
공전자공학과(공학박사)

1993년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 정보통신·컴퓨터
공학부 부교수

<주관심 분야> : RF 시스템 설계 및 제작, MMIC 설
계, 이동통신 단말기 RF Block 설계/제작/측
정, 이동통신 시스템 시뮬레이션 및 부품
설계 및 제작

홍 신 남(Shin-nam Hong) 정회원



1953년 12월 17일생
1972년 3월 ~ 1979년 2월 : 한
양대학교 전자공학과(공학
사)
1981년 9월 ~ 1984년 12월 : 미
국 North Carolina State
University 전기공학과(공
학석사)

1985년 1월 ~ 1989년 6월 : 미국 North Carolina State
University 전기공학과(공학박사)

1989년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자공학
과 교수

<주관심 분야> : 반도체 소자, 물성, 공정