

PCS 단말기의 수신단 고주파부 설계 및 구현

안 상 먼(安相勉), 양 운 근(楊雲根)

인천대학교 전자공학과

전화 : (032) 770-8447 / 팩스 : (032) 764-2371

Design & Implementation of Receiver RF Block for PCS Mobile Station

Sang Myun Ahn, Woon Geun Yang

School of Electronics Engineering, University of Incheon

E-mail : sm_ahn@vacom.co.kr, wgyang@lion.inchon.ac.kr

Abstract

In this paper, design parameters are investigated and design procedure is established for PCS mobile station, especially for receiver RF block. And simulation environment to analyze parameters of the receiver RF block to determine whether it satisfies the receiver standard, IS-98C, is calculated.

Design parameters are simulated and optimized. With simulated results, PCS mobile station is implemented and tested. Measured results show good agreement with simulation.

Design procedure can be used to get optimum characteristics for each of receiver block. By using optimum characteristics, mobile station can be designed more efficiently.

I. 서론

이동통신 시스템 기술의 발전에 따라, 개인 휴대전화의 수요가 증가하여 가입자 용량이 한계에 다다른 아날로그 이동통신 시스템에서 진보하여 CDMA(Code Division Multiple Access) 이동통신방식이 채택되어 사용되고 있다.

CDMA 방식을 사용하는 경우 각각의 사용자 신호는 서로 다른 코드로 확산 부호화된다. 많은 CDMA

신호들은 동일한 대역의 주파수 스펙트럼을 공유하는데, 상관 검출기를 사용하여 원하는 신호를 분리 수신하며 다른 사용자신호들은 잡음으로 처리된다. 대역의 확산 및 역확산 과정에서 얻어지는 처리이득과 전력제어등과 같은 CDMA 방식의 특성으로 인하여 시스템 용량이 늘어나고 잡음 및 간섭극복에 필요한 송신 전력을 감소시켜주는 장점이 있다[1].

이러한 장점에도 불구하고 폭발적인 PCS(Personal Communications System) 및 디지털 셀룰라 가입자의 증가뿐 아니라, WLL(Wireless Local Loop)과 IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)의 상용화를 앞둔 현 시점에서 점점 더 많은 기지국간의 간섭뿐만 아니라 이동국간의 간섭이 발생 될 것이 예상된다[2-5].

따라서 본 연구에서는 이에 대응하여 필요한 성능을 가진 단말기의 설계를 간단히 하기 위하여 PCS 단말기 구현시 수신품질을 결정하는 주요 파라미터들에 관하여 분석하고, 수신부 설계시 고려해야 할 일반적인 사항들에 대하여 검토한다[6]. 수신부의 파라미터가 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하여, 수신단 설계시 각 회로 블록들이 가져야 할 특성을 시스템 측면에서 산출하고, 이를 기반으로 최적의 RF(Radio Frequency) 수신부를 설계하여 단말기를 제작, 성능을 평가하며 시뮬레이션을 통해 얻어진 값과 비교한다.

특히, PCS 이동국 수신단 설계를 위한 이동국 최소 규격인 IS-98C 및 J-STD-018을 만족하기 위한 여러 파라미터의 시뮬레이션을 통하여 시스템의 소자 특

성을 결정한다. 또한 이를 근거로 하여 설계, 제작한 단말기의 특성 시험을 통해 시뮬레이션의 결과와 비교한다. 본 연구에서는 수신단 파라미터 시뮬레이션 및 설계에 있어서 실제 제작 가능한 수신부가 되도록 PCS 주파수 대역에서 실제 사용되어지고 있는 상용 부품들을 사용한다.

II장에서 CDMA 방식의 PCS 수신단 성능 파라미터를 분석하고, III장에서는 수신단의 설계 및 단말기 구현과 시험 결과에 관하여 기술한다. 그리고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. CDMA 방식의 수신단 성능 파라미터

CDMA 방식에서는 대역확산으로 인해 신호 대역폭이 1.23MHz가 되며 아날로그 방식의 대역폭 30KHz와는 상이하다. 선형변조방식을 사용하기 때문에 수신기 고주파 변환부의 선형성이 중요한 요소가 되며, 수신 품질로서 아날로그가 수신왜율(SINAD)을 측정하는데 비해 CDMA 방식에서는 프레임 오류(FER ; Frame Error Rate)로 측정한다[3,7]. 따라서 수신성능을 판단하는 수신감도, 상호 변조 스퓨리어스 응답 감쇠, 단일톤 둔감도 등이 프레임 오류로 규정되어 있다.

수신감도에 영향을 주는 요소들은 시스템에서의 열잡음지수와 처리 이득(Processing Gain), 신호대 잡음비(S/N)와 시스템의 잡음지수가 있다.

열잡음지수는 외부의 간섭이 존재하지 않을 때 수신기의 감도를 결정하며, CDMA 채널의 대역폭에서 열잡음지수는 -113dBm 이다[8].

처리이득(Gp)은 정보신호의 대역폭에 대한 확산된 고주파 신호의 대역폭 비로서 정의되며, 통화채널에 대한 S/N값은

$$S/N = E_b/N_t - G_p - (Traffic\ Ec/Ior) \quad (1)$$

에서 알 수 있듯이 -0.97이 된다. 또한 시스템의 잡음지수는 감도 규정 -104dBm 에서

$$\begin{aligned} \text{Sensitivity} = & \text{열잡음지수} + \text{신호대 잡음비} \\ & + \text{시스템 잡음지수} \quad (2) \end{aligned}$$

이므로 9.9dB가 된다.

상호 변조 스퓨리어스 응답 감쇠에 영향을 주는 요소들은 앞의 수신감도에서 보였던 신호대 잡음비와 시스템의 입력 3차 교차점(IIP3)이다[9].

입력 3차 교차점은 두 개의 인접한 주파수를 가진 신호를 인가하여 스펙트럼 분석기로 증폭기의 출력신호에서 출력전력과 제 3차 상호 변조 신호의 차를 측정할 후

$$IIP3 = P_{in} + \frac{1}{2} \Delta IMD \quad (3)$$

를 이용하여 간단히 계산할 수 있다[10]. 단, 이때 출력된 두 개의 기본파는 포화 영역이 아닌 선형 영역에서의 출력이어야 하며 전력을 측정하는 계측기도 포화되지 않아야 한다.

J-STD-018에서는 -43dBm 크기의 두 인접한 주파수를 가진 신호를 인가하여 수신전력 -101dBm에서 1%의 FER을 만족하여야 한다. 따라서 $P_{in} = -43$ dBm일 때 요구되는 IMD(Inter-Modulation Distortion)는 수신감도에서 고찰했듯이 S/N이 -1dB를 만족할 때 최소 57dB가 요구되며 그때 최소 시스템 IIP3는 위 식에서 알 수 있듯이 -13dBm을 만족하여야 한다[9].

단일톤 둔감도에 영향을 주는 요소들은 reciprocal mixing effect, cross modulation effect, 고전력에서 위상 잡음의 감쇠 및 국부발진기(LO) 포트를 통한 누설 등이 있으며, 이러한 영향에 대한 분석을 바탕으로 듀플렉서의 선택 및 저 잡음증폭기의 성능, 믹서의 성능 등 수신부 블록별 성능을 결정할 수 있다[11].

III. 규격에 적합한 수신단 설계 및 단말기 제작

CDMA 방식의 수신단 성능에 관련된 파라미터, 즉 수신감도 규정, 상호 변조 응답 감쇠 규정, 단일톤 둔감도 규정 등에 관하여 고찰하였으며, 각각의 규정들은 J-STD-018 / IS-98C의 규정을 근거로 하였다.

수신감도는 시스템이 얼마나 미약한 CDMA 신호를 수신할 수 있는가 하는 수신기의 수신능력을 말한다. CDMA 단말기 수신감도는 이동국 안테나 연결부에서 측정되며, FER로 규정된다. 최소 규정은 95%의 신뢰율로 FER이 0.005를 초과해서는 안되며, 이 때 수신전력은 -104dBm 이하임을 만족하여야 한다.

상호 변조 스퓨리어스 응답 감쇠는 할당된 채널의 중심 주파수로부터 주어진 주파수 오프셋에 위치한 두 개의 톤을 인가하여 측정하며 이때 단말기는 CDMA 신호 대역내의 IMD 특성에 의한 간섭을 받는다. 이러한 환경하에서 단말기의 수신능력을 측정한다. 상호 변조 스퓨리어스 응답 감쇠 성능 역시 FER에 의해 측정되어진다. 최소 규정은 95%의 신뢰율로 FER이 0.01을 초과해서는 안된다. 두 개의 톤 전력은 -43 dBm을 인가하며 수신전력은 -101dBm이하임을 만족하여야 한다.

단일톤 둔감도는 할당된 채널의 중심 주파수로부터 주어진 주파수 오프셋에 위치한 단일톤을 인가하고 이러한 환경하에서 CDMA 신호를 수신하기 위한 단말기

의 능력을 측정한다[3]. 최소 규정은 95%의 신뢰율로 FER이 0.01을 초과해서는 안된다. 이 때 수신전력은 -101dBm이하임을 만족하여야 하며, 톤 전력으로는 -30dBm을 인가한다.

위와 같은 규정을 만족하기 위하여 II장에서 각 규정에 대한 영향을 분석하였고, 표 1과 같이 수신단 시뮬레이션을 구현하였다[12].

수신감도는 -104dBm 수신 전력을 인가하여 신호대 잡음비의 마진이 2.5dB가 되도록 시뮬레이션을 하였으며, 상호 변조 스퓨리어스 응답 감쇠에서 요구되는 시스템 IIP3는 요구되는 값 -13dBm보다 4.9dB이상 높은 시스템 IIP3값을 갖게끔 시뮬레이션 하였다. 또한, 단일톤 둔감도의 영향을 주는 저잡음 증폭기의 IIP3 및 중간 주파수 대역 통과 여파기 역압 특성을 고려하여 시뮬레이션 값을 설정하였다.

블록별 부품 성능은 상용화 되어진 부품의 일반적인 특성을 고려하여 단말기 제작이 가능하게 부품별 성능값을 고려하였다.

표 1 수신단 블록 버짓에 대한 전산모의실험결과

Table 1 Simulated budget for receiver block

Component	Input	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6
Component	Input	Duplexer	LNA(A)	BPF1	M1	BPF2	IFP3000
Gain (dB)		-3	16	-3	7	-6	
Linear Gain (gn)		0.5012	39.8107	0.5012	5.0119	0.1585	
Running Signal (dBm)	-104	-107	-91	-94	-87	-95	-95
Running Gain (dB)		-3	13	10	17	9	9
Worst Case Noise Figure (dB)		3.5	1.4	3	8	8	7.1
Running Noise Factor		2.2387	2.9677	3.0476	3.5785	3.6845	4.2042
Running Noise Figure (dB)		3.5	4.7679	4.8395	5.5370	5.6637	6.2369
Running Noise Power (dBm/1.23MHz)	-113	-112.5	-95.1	-98.028	-90.331	-98.204	-97.631
Running S/N (dB)		5.5	4.1	4.0283	3.33082	3.20412	2.6310
IIP3 (dBm)		50	5	30	2	30	40
Linear IIP3 (IIP3n)		100000	3.1623	1000	1.5849	1000	10000
Running IIP3 (Linear)		100000	6.309	5.604	0.194	0.153	0.153
Running IIP3 (dBm)		50	7.9997	7.4848	-8.1211	-8.1545	-8.1551

회로블록들중 듀플렉서는 수신측 삽입손실로 3dB, 송신신호의 수신측 역압으로 50dB이상을 선정하였으며, 저잡음 증폭기는 잡음지수 1.4dB, 이득 16dB, IIP3 5dBm이 되도록 설계하였다[13]. 또한, 고주파 대역통과 여파기(RF BPF)는 수신측 삽입손실로 3dB, 송신신호의 수신측 역압 특성이 33dB이상인 여파기를 선택하였으며, 믹서는 7dB의 변환이득, IIP3가 2dBm이 되도록 설계하였다[14]. 이밖에 국부발진기의 위상 잡음은 -134dBc/Hz, 중간 주파수 대역통과 여파기는 삽입손실이 8dB가 되는 것을 선택하여 단말기의 수신단을 설계하였다.

구현된 단말기의 수신부 회로도에는 그림 1과 같다. 각 블록별 시험을 통해 시뮬레이션의 결과값과 같게끔 설계를 하였다. 그림 2에서 측정된 케이스케이드 특성 역시 시뮬레이션 결과값과 같음을 볼 수 있다.

표 2는 구현된 단말기의 성능시험 결과이며, HP

8924C 장비를 이용하여 페 루프 백 모드에서 측정하였다.

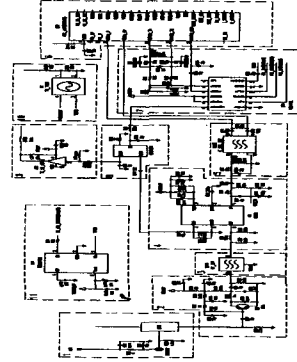


그림 1 단말기의 수신단 고주파부 회로도

Fig. 1 The schematic diagram of receiver RF block

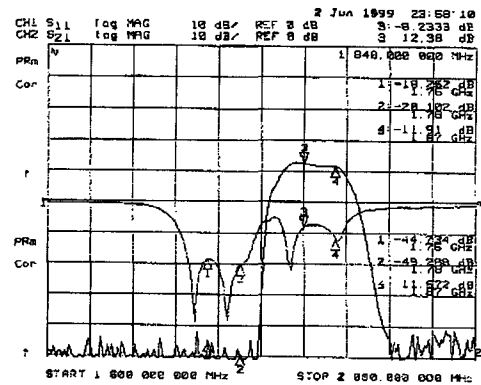


그림 2 Duplexer+LNA+BPF 블록의 측정결과

Fig. 2 Measured results for Duplexer+LNA+BPF block (Network part 1 = antenna, Network part 2 = BPF output port, Duplexer Tx=50 Ω)

최종 제작된 단말기의 수신감도는 시험결과 30MHz의 수신단 전 채널에서 -107 ~ -108dBm가 되었는데 이는 시뮬레이션시 사용한 기준치 -104dBm에서 마진이 2.6dB이고 신호대 잡음비값이 -0.97dB임을 고려하면 차이가 -0.57 ~ +0.43 dB 로서 거의 일치함을 볼 수 있다.

단일톤 둔감도는 -103dBm ~ -104dBm, 상호변조 스퓨리어스 응답 감쇠는 -105dBm ~ -106dBm으로 이동국 최소 규격에 각각 2dB이상의 마진이 있음을 확인하였다. 모든 부품의 사용은 단말기의 가격을 고려하여 선택하였으며, 특히 국산화된 부품을 최대한 이용하여 제작하였다.

표 2 구현된 단말기의 성능시험 결과

Table 2 Test results for implemented mobile station

시험항목	구현된 단말기	단말기 성능 시험결과					시험방법	참고문헌
		25	25	200	525	575		
1	Dynamic Range	-100	-100	-100	-100	-100	IS-98C (SPC 1)	
2	Dynamic Range	-75	-75	-75	-75	-75	IS-98C (SPC 1)	
3	Single Tone Desensitization						IS-98C (SPC 1)	
	Test1 (Tone 1 = -30dBm/-1.25MHz)	-100	-100	-100	-100	-100	Traffic = 18.6dB	
	Test2 (Tone 1 = -30dBm/-1.25MHz)	-100	-100	-100	-100	-100	Traffic = 18.6dB	
4	Intermodulation Sources, Resonance Attenuation						IS-98C (SPC 1)	
	Test1 (Tone 1 = -40dBm/-1.25MHz)	-100	-100	-100	-100	-100	Traffic = 18.6dB	
	Test2 (Tone 1 = -40dBm/-1.25MHz)	-100	-100	-100	-100	-100	Traffic = 18.6dB	



그림 3 구현된 단말기의 수신단 고주파부
Fig. 3 Implemented receiver RF block

IV. 결론

본 논문에서는 디지털 이동통신 시스템의 핵심 기술인 CDMA 수신단 설계 기술을 확립하여 수신단 설계시 관련되는 파라미터들의 분석을 위한 시뮬레이션 환경을 구축하였고, 이를 통하여 CDMA 디지털 이동통신 시스템의 수신단 규격 만족여부를 판단할 수 있도록 하였다.

수신단 블록의 각각에 대한 최적의 특성안을 제시하여 향후 수신단 설계시 보다 효율적이고 손쉽게 적용하도록 하였다. 시뮬레이션 결과 듀플렉스, 저잡음 증폭기, 주파수 혼합기 특성이 수신단 전체 파라미터에 가장 큰 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다.

또한 CDMA 방식의 이동국 수신시스템의 고주파부 설계를 위한 이동국 최소규격인 IS-98C와 J-STD-018에 준하는 수신세기, 대역폭, 열잡음, traffic Ec/Ior, Eb/Nt, 톤 전력 파라미터를 이용하여 시스템 요구사항인 이득, 잡음지수 그리고 IIP3 파라미터들을 고찰하고 각각의 블록단에 파라미터들을 sweep하여 최적의 수신단을 설계할 수 있었다. 또한 구현된 단말기에 대한 시험결과는 시뮬레이션치와 잘 일치하였다.

본 연구 결과는 향후 상용화 될 IMT-2000 단말기의 수신단 설계에 유용할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] M. Heath, P. Newson, "On the capacity of spread spectrum CDMA for mobile radio," *IEEE VTC*, pp.985-988, May 1992.
- [2] K. Gilhousenet al. "On the capacity of cellular CDMA system," *IEEE Trans. on Vech. Tech* VT-40, pp.301-312. May 1991.
- [3] TIA/EIA, IS-98C : *Recommended minimum performance standards for dual-mode wideband spread spectrum cellular mobile stations*, Ballot version, March 1999.
- [4] TIA/EIA, J-STD-018 : *Recommended minimum performance standards for 1.8 to 2.0 GHz code division multiple access personal stations*, Nov. 1995.
- [5] TIA/EIA Interim Standard (IS-95), *Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system*, May 1995.
- [6] "Subscriber unit receiver design using the IFR3000," Qualcomm application note, 1998.
- [7] M. C Jeruchim, "Techniques for bit error rate in the simulation of digital communication system," *IEEE Journal on selected areas in communications*, pp.1325-1328, Nov. 1973.
- [8] Guillermo Gonzalez, *Microwave transistor amplifiers analysis and design*, 1993.
- [9] Brian Gallagher, "Estimating and measuring C/I in a GSM wireless local loop receiver," *Wireless report, microwave journal*, Oct. 1997.
- [10] 박현섭, "시스템 해석 기법을 이용한 2.4GHz 마이크로 전력 증폭기 설계에 관한 연구," 인천대학교 대학원 석사 학위 논문, 1998.
- [11] "Single tone desensitization issues for a CDMA receiver," white paper, Conexant system Inc., Doc. no. W361, March 1999.
- [12] PCS 기지국 RF 송수신부의 성능 분석, 한국이동통신주식회사 PCS추진본부, Nov. 1995.
- [13] Gary A. & B. Reed, *Low noise design handbook*, 1994.
- [14] Stephen A. Mass, *Microwave mixers*, 2nd Ed., Artech House, pp. 97-119, 1993.

본 연구는 인천대학교 교내 연구비 지원 결과의 일부입니다.