
WLL용 CDMA 시스템 IF 모듈의 구현 및 위상 특성

강 병 권*, 김 선 형**

On the Phase Variation and Implementation of IF Module for WLL CDMA System

Byeong-Gwon Kang, Sun-Hyung Kim

요 약

본 논문에서는 WLL 광대역 코드분할 다원 접속(Wideband CDMA) 시스템 기지국용 IF(Intermediate Frequency) 송수신기의 설계 및 구현에 대하여 고찰하였다. 제작된 IF 송수신기는 송신단, 수신단, 국부발진기로 구성되었다. 처리되는 신호의 대역폭을 10MHz로 고려하여 IF 반송파는 40MHz로 설계하였으며, 측정 결과 IF 송신단의 출력 전력은 기저 대역 입력이 $-10\text{dBm} \pm 3\text{dB}$ 일 때 40MHz에서 $-5\text{dBm} \pm 3\text{dB}$, 수신단의 출력 전력은 IF 대역 입력이 $-5\text{dBm} \pm 3\text{dB}$ 일 때 기저대역에서 $-10\text{dBm} \pm 3\text{dB}$ 의 특성을 얻었다. 또한, 자동이득 조절 루프는 -7dBm 에서 $+2\text{dBm}$ 까지의 9dB 입력 범위에서 동작하여 약 2dBm의 일정한 레벨을 출력시켰고, 1MHz부터 5MHz까지의 신호를 스위치켜 IF시스템 내에서의 위상 변화를 관찰한 결과 위상 왜곡이 매우 적어 데이터 통신시스템에 적용이 가능함을 보였다.

Abstract

In this paper, we design and implement a IF(intermediate frequency) module for WLL(wireless local loop) CDMA(code division multiple access) basestation. The implemented IF transceiver is consists of transmitter, receiver and local oscillator. The considered signal bandwidth is 10 MHz and the local carrier frequency is 40 MHz. As test results, the IF transmitter output power is $-5\text{dBm} \pm 3\text{dB}$ when the baseband input is $-10\text{dBm} \pm 3\text{dB}$, and the IF receiver output power is $-10\text{dBm} \pm 3\text{dB}$ when the IF input is $-5\text{dBm} \pm 3\text{dB}$. Also the AGC(automatic gain control) circuit has dynamic range of 9 dB from -7dBm to $+2\text{dBm}$ with

* 순천향대학교 정보기술공학부 조교수

** 순천향대학교 정보기술공학부 교수

접수일자 : 1999년 12월 24일

output power 2dBm. And the group delay characteristic is analyzed by comparing the phase delay from 1 MHz to 5 MHz and the phase distortion is very low. We can conclude that this IF system can be applied to high speed data rate communication system.

I. 서 론

최근의 이동 통신 및 고정 통신을 포함하는 무선 전파 통신의 경향은 음성 위주의 통신에서 벗어나 대용량의 데이터 통신과 영상 전송 등의 서비스를 추구하고 있다. 그 대표적인 예로서 무선 가입자 망(Wireless Local Loop)과 IMT-2000 등의 서비스를 꼽을 수 있다. WLL 시스템은 전화국과 가입자 사이의 구간을 기존의 유선망에서 무선망으로 대체하는 것으로서 서비스되는 지역의 특성에 따라 마이크로 웨이브, 디지털 셀룰러, 아날로그 셀룰러, 무선 전화 기술 등 어떤 형태의 방식도 사용될 수 있다. 국내에서는 광대역 CDMA 방식을 사용하는 규격이 제안되어 현재 사업자를 중심으로 시스템이 개발되고 있다.

WLL 시스템의 특징은 기존의 이동 통신과는 달리 가입자들의 이동성이 없다고 가정하므로 기지국과 단말국 간의 채널 변화가 적고, 핸드 오프 기능이 요구되지 않아 시스템을 경제적으로 용이하게 구현할 수 있다는 것이다. 또한 채널의 안정성과 고정점 대 고정점 통신으로 인한 잡음과 간섭의 감소로 고속의 데이터 전송이 가능하고 이에 따른 인터넷 접속 및 멀티미디어 서비스가 가능하다. 그러나, 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 기존의 협대역 CDMA 방식이나 시스템으로는 많은 어려움이 있으며, 고속의 데이터를 처리할 수 있는 광대역 시스템이 필요하고, 현재 WLL은 규격상 5, 10, 15 MHz 등의 시스템이 제안되어 있다. 본 논문에서는 이러한 서비스를 실현할 수 있는 10MHz용 기지국IF 시스템을 설계 및 구현하였다.

II. IF 모듈의 구성 및 기능

순방향 링크의 송신단 및 역방향 링크의 수신단 구조는 그림 1과 같이 설계되었고, 제작된 IF 송수신기의 세부 구조와 기능은 다음과 같다. 송신단은

기지대역 신호 처리부, 변조부 및 송신 전치부로 구성 되었으며, 기저대역 신호 처리부에서는 기저대역으로부터 전송된 신호를 저역 통과 필터와 증폭기 그리고 두번째 저역 통과 필터를 통과시켜 변조부로 공급한다. 변조부로 입력된 신호는 주파수 상향기인 I/Q 변조기에서 40MHz 국부 발진 신호와 합성된 후 송신 전치부로 전송된다. 송신 전치부에서는 대역 통과 필터에서 고조파에 의한 상호 변조 성분 등의 원치 않는 신호를 제거하고, 증폭기와 감쇠기에서 RF 입력 레벨에 적합한 전력 수준까지 증폭한 후 두번째 대역 통과 필터에서 여파시켜 RF 단으로 전송한다.

수신단은 수신 전치부, 복조부 및 기저대역 신호 처리부로 구성 하였으며, 수신단은 송신단의 역기능을 수행한다. 수신 전치부는 RF 단으로부터 수신된 40MHz 대역의 신호를 대역 통과 필터에서 여파시키고, 자동이득조절(Automatic Gain Control) 회로로 입력되기에 앞서 MMIC 증폭기에 의하여 자동이득조절 회로가 구동되기 위한 전력 레벨 크기로 증폭시킨다. AGC 루프에서는 수신 신호의 전력 크기를 필요한 레벨로 안정적으로 제어해 주고 두 번째 대역 통과 필터로 입력시킨다. 대역 통과 필터에서 출력된 신호를 주파수 하향기인 I/Q 복조기에서 국부 발진 신호와 합성하면 5MHz 대역의 기저대역 신호를 얻을 수 있다. 기저대역 신호 처리부에서는 이 신호를 수신하여 전송 대역 이외에서의 원치 않는 신호를 제거하기 위하여 저역 통과 필터를 사용한다. 필터 통과로 인한 감쇠 보상과 필요한 기저대역 신호의 전력을 얻기 위하여 신호를 증폭하고, 증폭기에 의해서 발생한 고조파 신호를 제거하기 위하여 다시 한번 저역 통과 필터를 사용한다. 국부 발진기는 40MHz의 VCXO를 사용하여 IF 변복조기에 공급하였다.

수신단에 입력되는 수신 신호의 진폭은 다양한 원인에 의하여 많은 왜곡을 받게 되며, 수신 신호 진폭의 불균일함은 수신단의 성능에 매우 심각한

영향을 초래하게 된다. 이와 같은 수신 신호 진폭의 흔들림에 의한 수신단 성능 저하를 방지하기 위하여 AGC 회로가 사용되었다. AGC 회로는 그림 2와 같은 폐환형 AGC 회로가 사용되었다.

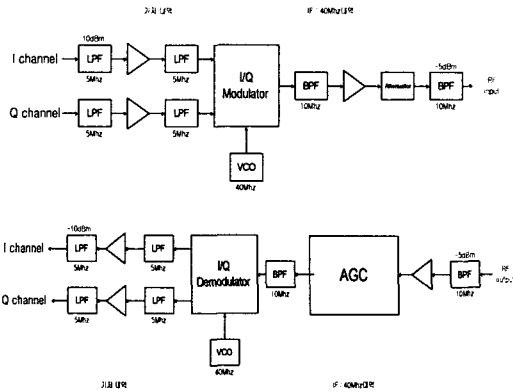


그림 1. IF 송수신단 블록도
Fig. 1. IF transceiver block diagram

그림 2는 폐환형 AGC 회로의 기본적인 기저대역 등가 모델이며, 이러한 모델을 이용하여 수학적 해석을 용이하게 할 수 있다.[9]

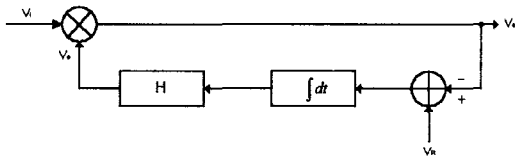


그림 2. 폐환형 AGC 회로의 기본적인 기저대역 등가모델
Fig. 2. Basic baseband equivalent model for feedback AGC loop

그림에서 곱셈 기호로 표시된 이득 제어 증폭기가 선형 이득 특성을 갖는 경우 이득 요소 H는 A_1 의 이득을 가지는 요소로 간주하고, 적분기의 이득을 A_2 로 간주하면 일차적으로 정상 상태에서 루프의 수학적 해석은 다음과 같다. 우선 출력 성분과 제어 입력은 다음과 같이 정의 된다.

$$v_o = v_i \cdot v_c \dots\dots\dots (2.1)$$

$$v_c = A_1 A_2 (V_R - v_o) \dots\dots\dots (2.2)$$

제어 입력을 적용하여 입출력 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$v_o = v_i A_1 A_2 (V_R - v_o) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$v_o = \frac{A_1 A_2 v_i V_R}{1 + A_1 A_2 v_i} \dots\dots\dots (2.4)$$

식 (2.1)을 이용하여 제어 입력을 구하면 다음과 같다.

$$v_c = \frac{A_1 A_2 V_R}{1 + A_1 A_2 v_i} \dots\dots\dots (2.5)$$

적분기의 이득 A_2 를 무한대로 가정한다면 출력 성분 v_o 와 제어 입력 v_c 는 다음과 같이 단순화 된다.

$$v_o = V_R \dots\dots\dots (2.6)$$

$$v_c = \frac{V_R}{v_i} \dots\dots\dots (2.7)$$

결론적으로 정상 상태에서 출력 신호는 기준 레벨과 동일하게 되고, 제어 입력은 기준 신호에 입력 신호를 나눔으로써 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이러한 정상 상태 정보를 이용하여 루프해석을 수행한다.

III. 시스템 설계 및 제작

3.1 시스템 설계 규격

송신단 및 수신단의 설계 규격은 각각 표 1, 표 2와 같다. IF 송신단과 수신단의 규격은 동일한 신호를 취급하므로 매우 유사한 특성을 갖는다. 칩 레이트 8.192Mcps의 신호가 10MHz의 대역을 점유한다고 가정하였으며, IF반송 주파수는 40MHz이다. 송신단의 입력신호는 외부의 기저대역 신호 발생부로부터 전송되며, 신호레벨은 -10 ± 5 dBm으로서 $-5 \sim -15$ dBm의 범위를 갖는다. 또한, 송신단의 출력신호는 -5 ± 5 dBm으로서 $0 \sim -10$ dBm의 범위를 갖는다.

표 1. IF 송신단 규격

Table 1. IF Transmitter requirements

항목	규격
변조주파수	40MHz
채널 및 대역폭	10MHz
칩 레이트	8.192Mcps
변조방식	QPSK
기저대역 입력	-10 ± 5 dBm
IF대역 출력 전력	-5 ± 5 dBm

표 2. IF 수신단 규격

Table 2. IF Receiver requirements

항목	규격
변조주파수	40MHz
채널 및 대역폭	10MHz
레이트	8.192Mcps
변조방식	QPSK
기저대역 입력	-5 ± 5 dBm
IF대역 출력 전력	-10 ± 5 dBm

한편, 수신단은 동일한 반송 주파수와 대역폭을 갖는 신호를 처리하며, IF 입력 신호 레벨을 -5 ± 5dBm으로서 0 ~ -10dBm의 범위에서 동작하며, 기저대역으로의 출력레벨은 -10 ± 5dBm으로서 -5 ~ -15dBm의 신호를 출력시킨다.

3.2 필터 설계

본 시스템에서는 저역 통과 필터와 대역 통과 필터의 두 가지 필터가 사용되었으며, 그 설계 내용과 필터 특성은 각각 그림 3, 4와 같다.

3.3 변복조기

본 논문에서 고려한 변복조 방식은 QPSK 방식이며, 이에 따라 기저대역 처리부는 I와 Q신호에 대한 신호 경로를 독립적으로 갖는다. 변조기에서는 I, Q 신호를 입력 받아 QPSK변조한 후 두 변조 신호를 더하여 RF측으로 전송한다. 역으로 복조기는 RF측으로부터 40MHz 대역의 신호를 수신

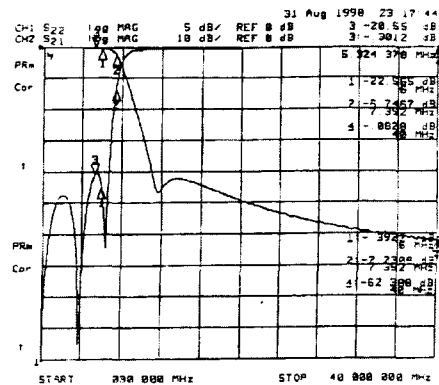


그림 3. 저역 통과 필터의 특성 곡선

Fig. 3. The characteristic curve of low-pass filter

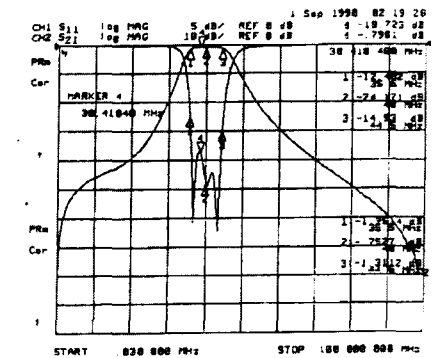


그림 4. 대역 통과 필터의 특성 곡선

Fig. 4. The characteristic curve of band-pass filter

하여 QPSK복조하고, I와Q의 신호를 분리하여 기저 대역으로 전송한다. 변조기와 복조기는 각각 Synergy 사의 SML-203과 QML-204제품을 사용하였으며, 그 규격은 표 3, 4와 같다.

표 3. 변조기 특성

Table 3. Modulator characteristics

항목	레벨
Device Current	80 mA
Power Dissipation	550 mW
RF Input Power	+13 dBm
Junction Temperature	150 °C
Storage Temperature	-65 to 150 °C

표 4. 복조기 특성

Table 4. Demodulator characteristics

항 목	레 벨
주파수	40MHz
Local OSC	+10 dBm, 40 MHz
Conversion Loss	7dB
Amplitude Unbalance	0.2 dB
Phase Unbalance	1.0 degree
Isolation	35 dB
Input IP3	+15 dBm

IV. 시스템 동작 실험 결과

제작한 시스템의 동작을 시험하기 위하여 10dBm의 3MHz 정현파 신호를 송신단 입력부로 입력시켜 송신단 각 부분에서의 신호 레벨을 측정하였다. 또한, 송신단 IF 출력을 루프백(loop back) 시켜 IF 수신단 입력부로 연결하였고, 수신단 각 부분에서의 신호 레벨을 검토하였다. 수신단에서 시스템 성능에 중요한 영향을 주는 AGC회로에 대한 특성을 측정하였고, 측정 결과 약 9 dB의 입력 신호 범위 내에서 일정한 신호 레벨을 출력시킴으로써 안정적인 동작 특성을 보였다. 또한, 송신단 입력부부터 수신단 출력부까지의 위상 변화도 측정하여 IF 송수신 시스템 내에서의 위상 왜곡을 관찰하였다. 1MHz부터 5MHz 까지의 신호를 입력시켜 위상을 측정한 결과 위상 왜곡이 매우 작아 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 정도의 비트 오류가 요구되는 데이터 통신에도 본 시스템의 적용이 가능함을 판단할 수 있었다.

4.1 신호 레벨 측정

그림 5는 신호 발생기로부터의 출력을 측정한 결과이다. 출력 신호는 -10dBm의 3MHz 정현파이며, 6MHz부근에 계측기로부터의 고조파가 발생했음을 알 수 있다. 그림 6은 변조기 입력부에서의 스펙트럼으로 필터와 증폭기를 거친 결과로서 신호 레벨은 -11.96dBm이며, 초기 입력보다 약 2dB 감쇠하였고, 3번째 고조파의 크기가 크게 증가하였음을 볼 수 있다.

기저 대역으로부터 입력된 I와 Q채널 신호는 I/Q 변조기에서 40 MHz 반송파와 합성되어 I와 Q의 변조된 신호가 더해진 상태로 출력된다. 그림 7은 변조기 출력에서의 측정 결과이다. 변조기의 삽입 손실은 규격에 8 dB였으나, 실험에서는 6.7 dB로 측정되어 만족할 만한 결과를 얻었으며, 신호 레벨은 -18.58 dBm이었다. 변조기의 출력 레벨은 매우 낮아 IF 출력 요구 조건을 만족하지 못하므로 MMIC 증폭기 2개를 사용하여 전력을 증폭하였고, 감쇠기를 추가하여 신호 레벨을 원하는 수준으로 미세 조정할 수 있도록 하였다. IF출력단에서 최종 출력하기에 앞서 대역 통과 필터를 사용하여 불필요한 신호를 제거하였으며, 이 필터에서 약 3dB의 감쇠가 발생하였다. 증폭기와 감쇠기를 통과한 레벨은 -1.73dBm이고, 대역 통과 필터의 출력 레벨은 -5.09dBm이다. 그림 8은 송신단의 최종 출력 스펙트럼이며, 여기서의 고조파는 42dBc 이하이다.

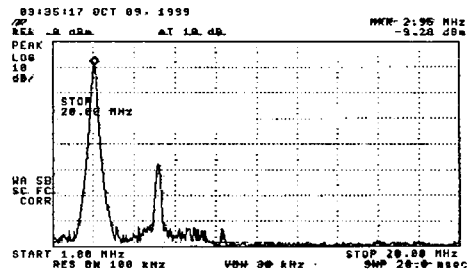


그림 5. 송신단 입력 신호
Fig. 5. Transmitter input signal spectrum

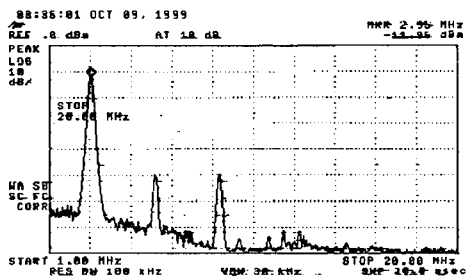


그림 6. 변조기 입력 신호
Fig. 6. Modulator input signal spectrum

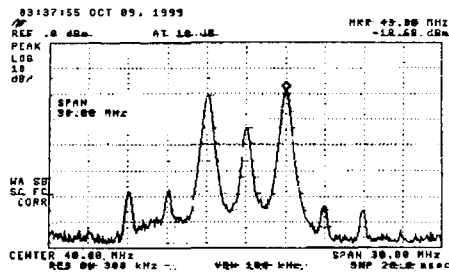


그림 7. 변조기 출력 신호
Fig. 7. Modulator output signal spectrum

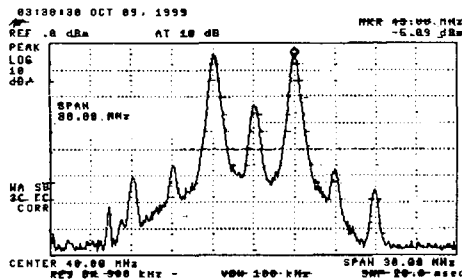


그림 8. 송신단 최종 출력 신호
Fig. 8. Transmitter output signal spectrum

복조기에는 40MHz 대역 신호와 국부 발진기에 의한 40MHz 반송파가 입력되어 I/Q 복조된다. 그림 9에서의 신호는 I/Q 복조된 기저대역 신호이다. 복조기의 삽입 손실은 규격에서 -7dB이나, 실험에 의해서는 -11dB가 측정되었다. 규격과 같은 결과를 얻지 못한 이유는 송신부 출력을 수신부 입력

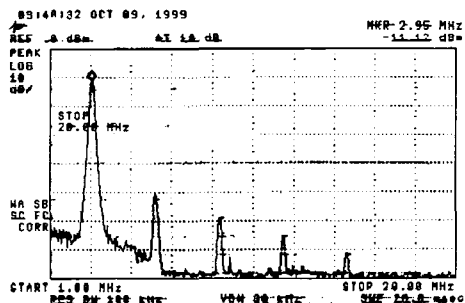


그림 9. 수신단 복조기 출력 스펙트럼
Fig. 9. Receiver demodulator output signal spectrum

으로 사용하였을 때 그 레벨이 AGC에서 요구하는 기준 입력에 미치지 못하였기 때문이다. 그러나, 기저대역에서 신호를 충분히 증폭하기 때문에 성능에는 큰 영향을 주지 않는다.

복조후의 증폭기는 -11.12dBm의 입력 신호를 증폭하여 -0.09dBm의 신호를 출력시킴으로써 약 10dB의 이득을 얻었다. 저역 통과 필터를 통과한 최종 출력 스펙트럼은 그림 10과 같다.

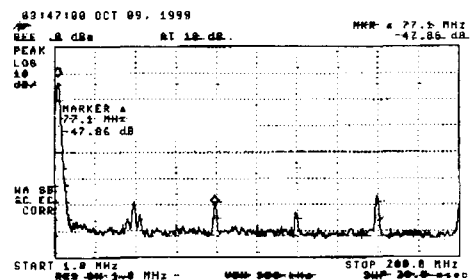


그림 10. 수신단 최종 출력 스펙트럼
Fig. 10. Receiver output signal spectrum

그림 10에서 고조파 신호가 발생함을 볼 수 있는데, 이는 국부발진기에서 발생하는 40MHz 반송파 신호가 PCB 상에서 기저대역 신호와 이웃에 위치하고 있어 기저대역 신호에 영향을 주어 잡음이 발생한 것이며, 블록별로 차폐물을 세워 상호 변조 성분 및 고조파 신호가 크게 줄어드는 결과를 얻었다.

4.2 자동이득조절(Automatic Gain Control)

자동이득조절기(AGC)의 성능 측정을 위해서 송신단의 출력을 루프백시켜 수신부로 입력시켰으며, 40MHz ±5MHz대역의 신호를 고려하였다. AGC의 입력 전력이 +4dBm에서 -10dBm으로 변할 경우 AGC 출력 측정치는 표5와 같다. 특히 AGC의 입력 전력이 +2dBm에서 -6dBm사이에서 변할 경우의 AGC 출력 전력은 약 2dBm ±0.08dB로 매우 안정적인 출력 레벨을 얻을 수 있었다.

표 5. 자동이득조절기의 동작 특성

Table 5. The characteristics of AGC loop

AGC 입력 전력	AGC 출력 전력
+4dBm	+4.00dBm
+2dBm	+1.92dBm
0dBm	+2.02dBm
-2dBm	+2.02dBm
-4dBm	+2.09dBm
-6dBm	+2.09dBm
-8dBm	+0.17dBm
-10dBm	-1.70dBm

4.3 위상 특성

본 시스템내의 군 지연(Group Delay) 특성을 측정하기 위하여 오실로스코프의 리샤주 도형을 이용하여 주파수를 1MHz에서 5MHz까지 100KHz씩 증가 시키면서 IF 모듈의 송신부 입력과 수신부 출력에서의 위상을 측정하여 비교하였다. 그림 11은 리샤주 도형 측정 결과를 주파수축과 위상축으로 표현한 것이다. 그림 11로부터 측정된 주파수 범위에서 위상 특성이 매우 선형적이라는 것을 알 수 있으며, 광대역 상에서 위상 왜곡이 거의 없으므로 고속의 데이터 전송이 요구되는 광대역 통신 시스템에 적용 가능함을 알 수 있다.

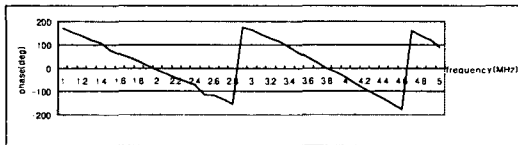


그림 11. IF모듈에서의 위상 특성
Fig. 11. The phase characteristics of IF module

V. 결론

본 논문에서는 10MHz 대역의 신호를 처리할 수 있는 광대역 CDMA 시스템 기지국용 IF 모듈을 설계 및 제작하였다. 이 시스템의 송신단은 기저대역 신호를 I/Q 변조하는 기능을 하며, 증폭기, 저역통과 필터, I/Q 변조기, 감쇠기, 대역통과 필터

등으로 구성하였다. 수신단은 RF단으로부터 신호가 수신된다고 가정하여 수신된 신호를 기저대역으로 I/Q 복조하는 기능을 하며, 자동이득조절회로, 증폭기, I/Q 복조기, 대역통과 필터 및 저역통과 필터로 구성하였다. 처리되는 신호의 대역폭을 10MHz로 고려하여 IF 반송파는 40MHz로 설계하였으며, 측정결과 IF 송신단의 출력 전력은 기저대역 입력이 -10dBm ±3dB 일 때 40MHz에서 -5dBm ±3dB, 수신단의 출력 전력은 IF 대역 입력이 -5dBm ±3dB 일 때 기저대역에서 -10dBm ±3dB의 특성을 얻었다. 또한, 자동 이득 조절 루프는 -7dBm에서 +2dBm까지의 9dB 동작 범위에서 약2dBm의 일정한 레벨을 출력시켰고, 1MHz부터 5MHz까지의 신호를 스위치켜 IF시스템 내에서의 위상 변화를 관찰한 결과 위상 왜곡이 매우 적어 고속 데이터 통신 시스템에 적용이 가능함을 보였다. 한편, 40MHz의 반송파 신호가 변복조되는 과정에서 +10dBm의 반송파가 변복조기의 접지 케이스에서 검출되어 기저대역 신호에 영향을 주는 것을 발견하였으며, 이러한 잡음에 대한 대책으로서 변복조기에 동판으로 접지 케이스를 세웠을 때 기저대역에 있었던 40MHz 신호가 20dB 감쇠되어 스퓨리어스가 40dBc로 감소됨으로써 되어 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] J. S. Lee and Leonard E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House, 1998.
- [2] W. H. Hayward, Introduction to Radio Frequency Design, Prentice Hall International, Inc., 1997.
- [3] John G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, Inc., Third Edition. 1995.
- [4] Theodore S. Rappaport, Wireless Communication, Prentice Hall International, Inc. 1996
- [5] Kamilo Feher, Wireless Digital Communications, Prentice Hall International, Inc. 1995.
- [6] Marvin K. Simon, Sami M. Hinedi, William C. Lindsey, Digital Communication Techniques

- Signal Design and Detection, Prentice Hall International, Inc. 1994.
- [7] Bernard Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, 1988.
- [8] Young-Jun Chong, A Design and Implementation of Base Station Transceiver for Wideband PCS system using CDMA Technology, ICICS '97 Singapore, 9-12 September 1997.
- [9] 최형진, 동기방식 디지털 통신, (주)교학사 1995.
- [10] George L. Matthaei, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks*, Artech House, 1980



강 병 권(姜炳權)
 1982. 3. - 1986. 2. 연세대학교 공과대학 전기공학과 공학사
 1986. 3. - 1988. 2. 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사
 1988. 3. - 1993. 2. 연세대학교 대학원 전기공학과 공학박사

1993. 3. 1997.8. 한국전자통신연구원 이동통신기술연구단 선임연구원
 1997. 9. 현재 순천향대학교 정보기술공학부 조교수
 * 주관심분야 : CDMA 이동통신, 스펙트럼 확산 통신, 통신 이론.



김 선 형(金宣衡)
 1975.3 ~ 1979.2 성균관대학교 공과대학 전자공학과 공학사
 1979.3 ~ 1981.2 성균관대학교 일반대학원 공학석사 전자공학과 통신전공
 1981.3 ~ 1987.2 성균관대학교 일반대학원 공학박사 전자공학과 통신전공
 1982.9 ~ 1983.2 국방과학연구소 연구원
 1983.3 ~ 1989.2 인덕전문대학 전자과 조교수
 1984.5 ~ 1984.9 미국 조지아공과대학(G.I.T) 방문 교수
 1989.3 ~ 현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수
 1998.1 ~ 현재 순천향대학교 정보통신창업지원센터 센터장
 *주관심분야 : 이동통신, 전자상거래, 통신시스템.