

AGC 기능을 갖춘 IMT-2000용 IQ 벡터 모듈레이터 설계

The Design of IQ Vector Modulator having AGC Function for IMT-2000

오인열 · 박종화 · 손광철 · 김태웅 · 전형준* · 나극환

Inn-Yeal Oh · Jong-Hwa Park · Kwang-Chul Seon · Tea-Woong Kim ·
Hyung-Joon Jeon* · Keuk-Hwan Ra

요 약

본 논문에서는 개방 단락 반사형 IQ 벡터 모듈레이터를 설계 제작하였다. 개방 단락 반사형은 구조의 특수성으로 인해 외부 회로의 첨가 없이 IQ 벡터 모듈레이터를 구현할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 개방 및 단락의 반사구조로써 MESFET을 사용하여 구현되지만 이는 IQ 신호에 의해서 음 전압이 발생되어야 MESFET을 동작시킬 수 있고, 이 때문에 IQ 신호에 대한 TTL 적용이 되어 동작케하기 위해서는 설계가 복잡해진다. 반면 BJT 특성의 구조적 변형으로 전자 이동도 특성이 향상된 HBT 등의 소자가 등장하고 있고 높은 주파수에서도 문제없이 동작이 가능하도록 되었다. 이에 BJT 구조의 개방 단락 반사형 IQ 벡터 모듈레이터를 제안하고 제작하였으며, BJT 특성으로 인해 TTL 호환이 쉽다는 장점을 얻었다. 또한 AGC 기능을 갖도록 하기 위해 이득 제어가 될 때 위상의 변화 없이 구현되도록 독립적으로 동작하는 가변 감쇠기를 적용하였다. 제작 결과 4 사분면의 전체적으로 $\pm 1^\circ$ 의 위상차와 ± 0.6 dB의 진폭 차를 가지고 동작하며, 20 dB 가변범위 전체적으로는 위상에 영향을 주지 않으며 이득을 가변시킬 수 있는 설계의 결과를 이루었다. 또한 온도 변화량에 대해서도 $\pm 6^\circ$ 의 위상 변화량과 ± 0.5 dB의 진폭 변화량만을 갖는 결과를 얻음으로써 온도 변화에 대한 특성도 만족함을 확인하였다.

Abstract

In thesis we applied the short or open reflection type for IQ vector modulator. The open or short type is operated even exception of other redundancy circuit. Generally IQ vector modulator uses MESFET in performing reflection open or short, then minus voltage which is having complex structure is required to operate MESFET via IQ signal. However BJT can be substituted for MESFET, BJT is improved characteristics like as cutoff frequency, electron mobility and so on. We used BJT in IQ vector modulator which is compatible with TTL level in I,Q digital signal, and attached AGC function. We got the result of operations within $\pm 1^\circ$ phase and ± 0.6 dB amplitude variation with full range of 20 dB and variation of $\pm 6^\circ$ phase and ± 0.5 dB amplitude versus full temperature range.

Key words : IQ, Vector, Modulator, Phase, AGC

I. 서 론

본 논문은 통신에 많이 사용되는 IQ 벡터 모듈레이

터를 구현하였다. IQ 벡터 모듈레이터는 그림 1과 같이 I, Q 입력에 대해 반송파에 대한 RF 출력을 얻는데 있어서 같은 진폭을 가지며 위상이 서로 90° 차이를

「이 논문은 2002년도 광운대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.」

광운대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Kwangwoon University)

*(주)삼성에스원(Samsung S1 Co.)

· 논문 번호 : 20030107-004

· 수정완료일자 : 2003년 3월 20일

갖는 장치이다.

이러한 동작의 구현은 3가지의 구조를 가지며 설계가 될 수 있다. 이를 정리하면 IQ 벡터 모듈레이터는 위상 변환기를 이용한 IQ 벡터 모듈레이터^[1], 개방 단락 반사형 IQ 벡터 모듈레이터, 증폭기를 이용한 IQ 벡터 모듈레이터로 구분되며, 첫 번째의 위상 변환기를 이용한 방식은 I, Q 두 입력에 의해 동작하도록 하기 위해 4가지 신호 조건에 대한 90°의 위상차를 구현할 수 있는 값을 가져야 하고 이를 위해 별도의 아날로그 멀티플렉서 구조의 회로가 요구된다. 반면 두 번째의 개방 단락 반사형은 식 (1)에서 볼 수 있듯이 포트(로드)의 개방(반사계수 : 1) 또는 단락(반사계수 : -1)시의 반사되는 신호의 180도 위상차를 이용하여 구현된다.

$$|\Gamma| e^{j\theta} = \frac{Z_b - Z_0}{Z_b + Z_0} \quad (1)$$

Z_b : 포트 임피던스, Z_0 : 특성 임피던스

$|\Gamma| e^{j\theta}$: 로드 반사계수

또한 포트 외부에 회로의 첨가 없이 IQ 벡터 모듈레이터를 구현할 수 있다는 장점이 있다. 마지막으로 증폭기를 이용한 IQ 벡터 모듈레이터는 3 방식 중에 가장 회로가 복잡한 방식이며, 4개의 같은 특성을 요구하는 증폭기를 사용하기 때문에 일정 전력 소모가 발생하며, 4개 신호 조건을 만들어 내는 I, Q 두 입력에 대한 증폭기의 전원 제어를 할 수 있는 디코더가 외부 회로에 요구되는 단점은 있다. 그러나 앞의 두 방식의 경우는 삽입손실이 발생되지만 증폭기를 사용함으로써 인해 이득을 갖는 출력을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 두 번째에 언급한 개방 단락 반사형을 이용한 IQ 벡터 모듈레이터의 구조를 제안하였고, BJT의 Pinch-off 특성과 Avalanche through 특성을 이용하여 개방 단락 특성을 이루었으며, IQ 입력을 TTL 호환 가능한 구조로 해줌으로써 기존 방식에서 적용해 왔던 IQ 입력을 음 전압에서 TTL 호환 신호로 교체하여 음 전압 입력에 따른 불편함을 제거하여 주었다. 이 때문에 외부 제어 및 통신 회로에 쉽게 적용될 수 있다는 장점을 갖는다.

또한 위상 변화를 일으키지 않는 가변 감쇠기를 적용함으로써 IQ 벡터 모듈레이터에 AGC(Auto Gain

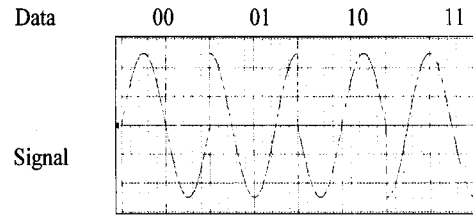


그림 1. IQ 벡터 모듈레이터 동작 파형
Fig. 1. The output signal of IQ vector modulator.

Control) 구현이 적용되어도 IQ 벡터 모듈레이터의 동작 파형이 손상 없이 구현되도록 하였다. 제작된 IQ 벡터 모듈레이터의 사양은 IMT-2000 시스템에 사용되는 선형화 증폭기의 제어에 적합할 수 있도록 고려하였으며 이를 표 1에 나타내었고, 미국의 GMC(General Microwave Corp.)사의 사양과 비교하여 설명하였다.

II. 가변 감쇠기 설계

가변 감쇠기는 PIN 다이오드의 순방향 전압에 대한 순저항 특성의 변화를 이용하는 것이 대부분이다. 가변 감쇠기는 보통 일반적으로 이용하는 전달형 감쇠기가 있으며, 하이브리드 커플러를 이용한 반사형 감쇠기가 있다. 전달형 감쇠기는 넓은 동작 영역을 갖도록 동작하기 위해서는 포트간 정합을 이룰 수 있도록 설계를 고려해야 하고, PIN 다이오드

표 1. IQ 벡터 모듈레이터 사양
Table 1. Specification of IQ vector modulator.

항 목	설계 사양	GMC사 사양
삽입손실	13 dB Max	13 dB Max
VSWR	1.3:1 Max	1.6:1
Power Handling	13 dBm	7 dBm
Insertion Phase Accuracy	± 3° Max	± 15°
Variation of Phase vs. Temp.	± 0.05°/°C	± 0.1°/°C
Attenuation Range	20 dB	20 dB
Variation of Amplitude vs. Temp.	± 0.01 dB/°C	± 0.02 dB/°C
Control Input Impedance	10 Kohms (40 uA Max)	10 Kohms (40 uA Max)
Operating Temp.	-30°C~80°C	-30°C~80°C
IQ 신호	TTL Logic	TTL Logic
전원공급	+ 5 V	± 5 V

의 순수 저항특성을 유지한다면 광대역 특성으로 동작한다는 장점이 있다^[2].

그러나 벡터 모듈레이터가 AGC 기능을 갖도록 하기 위해 위상의 영향을 주지 않으면서 이득 조절이 가능하도록 동작하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 PIN 다이오드 및 Quadrature 하이브리드 커플러를 이용한 반사형 구조로 구성하여 가변 감쇠기를 설계하였다. PIN 다이오드는 히타치사 제품을 사용하였다.

PIN 다이오드는 P+ 또는 N+로 한쪽 또는 양쪽에 강하게 도핑시켜 PN 접합 사이에 진성 영역이나 또는 아주 적게 도핑된 영역을 두도록 제작된 것이다.

이는 공핍층의 길이를 길게 함으로써 접합용량을 작게 구현하고 역 방향 항복전압을 높게 하는 특성을 갖는다. 또한 순방향 바이어스 전압을 변화시킴에 의해 공핍층 내에 캐리어의 주입을 조절함으로써 다이오드의 저항을 임의로 가변 시킬 수 있다^{[3][4]}.

PIN 다이오드의 저항 특성(R_s)은 전류(I_F), 절연체 영역의 폭(W), 캐리어의 수명(τ), 전자와 정공의 이동성(μ_p, μ_n)에 관련되어 있으며 식 (2)와 같다.

$$R_s = W^2 / (\mu_p + \mu_n) I_F \tau [\Omega] \quad (2)$$

반사형 가변 감쇠기는 그림 2와 같이 구현할 수 있으며, Quadrature 하이브리드로 구현되는데 일반적으로 넓은 동작 영역을 가지고 동작한다. 반사형 감쇠기는 전압에 따라 변화하는 R_s 에 따라 식 (3)의 감쇠량을 가지면서 동작한다.

$$A = 20 \log \left(\frac{R_s - Z_0}{R_s + Z_0} \right) \quad (3)$$

여기서 R_s 는 PIN 다이오드와 직렬 연결된 저항

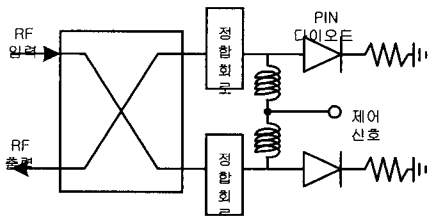


그림 2. 직렬 연결 다이오드형의 반사형 감쇠기
Fig. 2. Reflection type attenuator of series connected PIN diodes.

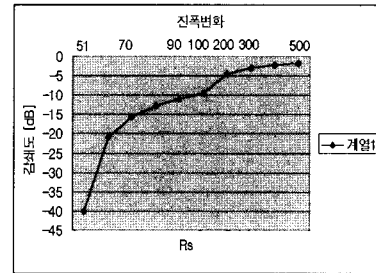


그림 3. 임피던스 조건에 따른 진폭 변화량 곡선
Fig. 3. The amplitude variation versus impedance condition in variable attenuator.

값을 의미하며, 특성 임피던스를 50Ω으로 감안하였 다. $R_s > Z_0$ 이라는 조건에서 식 (3)의 R_s 따라 감쇠도의 변화량을 나타내면 그림 3과 같다. 그림은 PIN 다이오드 특성이 51~500Ω 정도로 변화량을 갖는다는 것을 가정하고 도표화한 것이다. 그림에서 보듯이 특성임피던스와 PIN 다이오드의 저항특성이 일치할 때 -40 dB까지의 감쇠량을 가짐을 알 수 있으며 특성 임피던스를 50Ω으로 감안하여 볼 때 다이오드 저항이 특성 임피던스 근처에서 민감하게 진폭 변화량을 보임을 볼 수 있다.

그림 4는 가변 감쇠기의 측정 결과를 나타낸 것이며 11° 미만의 변화량만을 가지면서 828.5 mV에서 55.55 mV 변화량인 23.4 dB의 가변량을 가짐을 확인할 수 있다.

III. 위상 변환기 설계

위상 변환기는 고주파 신호의 위상을 가변 시키는 2단자 회로로서 여러 가지 통신 시스템 및 위상 배열 레이다 등에 사용된다. 여기서는 개방 및 단락의 두 조건에서 180° 위상차가 발생한다는 개념을 이용하여 반사형 위상 변환기에 적용하여 벡터 모듈레이터를 구현하였다.

디지털 가변 위상기는 보통 반사형 회로와 전달형 회로로 구성된다. 반사형 회로의 경우에는 반사계수의 위상 변화가 이용되며 하이브리드 결합방식과 써큘레이터 결합방식 등이 있다. 전달형의 경우는 전달계수의 위상 변화를 이용하며 가변 선로 방식, 부하 선로방식, 가변 회로망, 증폭 형태 등이 있다^[5].

반사형 위상 변환기의 특성을 얻기 위해서는 180° 하이브리드 커플러 및 Rate-race 구조를 이용

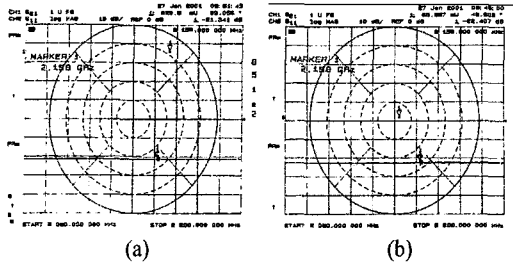


그림 4. 가변 감쇠기의 측정 결과
 (a) 최소손실($V_a=0$ V) 결과 (828.5 mV, 59°)
 (b) 최대손실($V_a=5$ V) 결과 (55.56 mV, 48°)
 V_a : 가변 감쇠를 위한 제어전압
 Fig. 4. Measurement result of variable attenuator.
 (a) Min. loss($V_a=0$ V) result of 828.5 mV, 59°
 (b) Max. loss($V_a=5$ V) result of 55.56 mV, 48°
 V_a : Control voltage for variable attenuator

할 수 있다. 어떤 경우에는 아이솔레이터를 이용하여 위상 변환기를 설계하기도 하나 이런 경우 위상 조절은 가능하나 경로간 정확한 위상 조절 값을 예측하기 어렵다는 단점이 있다.

위상 변환 특성은 바랙터 다이오드를 이용하여 설계한다. 바랙터 다이오드는 p-n-n 구조를 갖추고 있으며 역 바이어스 조건하에서 바이어스 전압에 따라 정전용량이 변하는 특성을 가지고 있다. 반사형 위상 변환기는 이 바랙터와 Quadrature 하이브리드 결합기를 사용하여 제작되어진다. 그림 5는 바랙터 다이오드를 이용한 위상 변환기의 도면을 나타낸 것이다. 바랙터 다이오드는 도시바사의 제품을 사용하였다.

식 (4)는 바랙터 다이오드의 역 전압의 변화에 의한 용량성의 변화가 위상을 가변함을 보여주는 식이다.

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{\frac{1}{j\omega C} - Z_0}{\frac{1}{j\omega C} + Z_0} \quad (4)$$

$$= 1 \angle \tan^{-1}(-2\omega CZ_0)$$

반사형 위상 변환기는 Quadrature 하이브리드 커플러의 삽입손실이 발생하는 것을 제외하고는 진폭의 변화는 없으나 정전 용량 값에 따라 위상이 가변될 수 있도록 한 것이다^[6]. 이 정전 용량 값에 따라 180°까지의 위상 변화를 가질 수 있음을 알 수 있다. 그러나 정전 용량 값이 최대로 변하는 경우를 따지

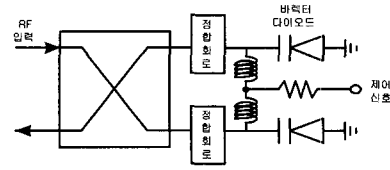


그림 5. 바랙터 다이오드를 이용한 위상 변환기
 Fig. 5. Phase shifter using varactor diode.

더라도 140°의 위상차를 일반적으로 가진다. 반사형 위상 변환기의 구조는 바랙터 다이오드를 Quadrature 하이브리드 커플러에 입력에 대한 진행과 포트에 연결하여 입력에 대한 반사 신호를 갖도록 하였다. 반사 동작에서 바랙터의 전정 용량 값에 의해 위상이 조정되도록 한 것이다. 이렇게 반사형으로 위상 변환기를 제작하였고 위상 가변이 더 요구된다면 반사형 위상 변환기를 직렬로 연결시켜 가변되는 위상 값을 더 가변시킬 수 있도록 할 수 있다.

그림 6은 위상 변환기의 측정 결과를 보인 것이며 300° 정도의 위상 변화량을 가지면서도 진폭변화는 829.5 mV에서 882.2 mV로 0.54 dB의 미세한 차이를 확인할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여서 IQ 벡터모듈레이터 뒷부분에 위상 변환기를 적용하여 20 dB 범위의 AGC 동작시 발생하는 11°의 위상 오차 부분을 보상하도록 하는 회로를 적용하였다. 즉 AGC를 위해 입력되는 제어 전압을 감지하여 위상을 보상하도록 한 것이다. 그리고 IQ 벡터 모듈레이터에 적용된 개념인 개방 또는 단락에 대한 위상 변환기의 동작을 Agilent사의 ADS Tool로 동작을 확

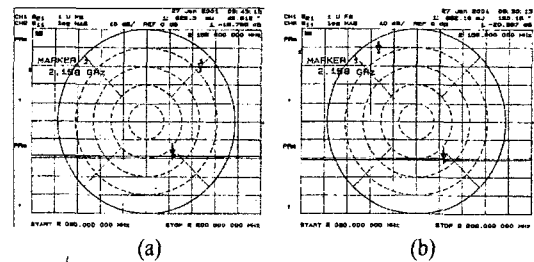


그림 6. 위상 변환기의 측정 결과
 (a) 최소 위상($V_p=0$ V) 결과(829.5 mV, 42°)
 (b) 최대 위상($V_p=5$ V) 결과(882.2 mV, 120°)
 V_p : 위상 변환을 위한 제어전압
 Fig. 6. Measurement result of phase shifter.
 (a) Min. Pha.($V_p=0$ V) result of 829.5 mV, 42°
 (b) Max. Pha.($V_p=5$ V) result of 882.2 mV, 120°
 V_p : Control voltage for phase shifter

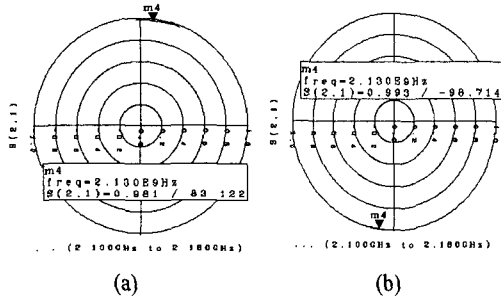


그림 7. 개방 단락시 위상 변환기의 출력 결과
 (a) 개방시 측정결과, (b) 단락시 측정결과
 위상=83°, 진폭=0.9 V, 위상=-98°, 진폭= 0.9 V
 Fig. 7. The simulation result of phase shifter in open and short condition.
 (a) Open state result, (b) Short state result
 $\text{Phase}=83^\circ$, $\text{Amp}=0.9 \text{ V}$, $\text{Phase}=-98^\circ$, $\text{Amp}=0.9 \text{ V}$

인하였다. 그림 7의 왼쪽 그림은 개방 시 위상 변환기의 출력 결과이며, 오른쪽 그림은 단락 시 위상 변환기의 출력 결과이다.

그림 7에서 진폭의 변화 없이 정확히 180°의 위상차를 갖고 동작함을 볼 수 있다.

IV. IQ 벡터 모듈레이터

IQ 벡터 모듈레이터의 동작원리는 I, Q 비트의 두 조건에 따라 개방과 단락을 구현함으로써 Quadrature 위상을 구현할 수 있는 원리를 이용하였다. 이를 위해 능동소자의 동작 점에 따른 Pinch-off 동작과, Avalanche through 동작특성을 이용하여 IQ 벡터 모듈레이터를 적용할 수 있다. 입력되는 두 비트의 신호에 의해 개방 단락의 두 조건을 만족시키기 위해 MESFET이나 BJT 등의 소자를 이용할 수 있다. MESFET은 전자의 이동성이 뛰어나 높은 Bit-rate까지 구현이 가능하다는 장점이 있으나, 가격이 높고, 제어 전압으로 음 전압을 이용해야 한다는 단점이 있어 회로가 복잡해진다. 반면 BJT를 이용하면 가격적인 면이 월등히 유리하고, 회로가 간단하게 구현이 될 수 있고, 별 부가적인 회로의 첨가 없이 직접 TTL 호환되도록 구성해 줄 수 있다. 또한 BJT 특성이 향상되어 X-Band까지 Cut-off 주파수로 사용될 수 있는 소자가 나오고 있어서 본 논문에서는 NEC사의 BJT를 이용하여 IQ 벡터 모듈레이터를 구성하였다. BJT로 구성된 IQ 벡터 모듈레이터는 TTL 호환된다는 장점과 구

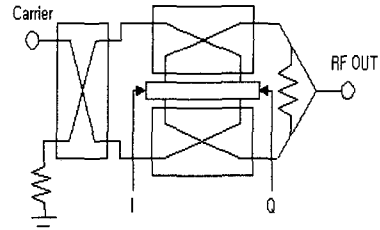


그림 8. 반사형 IQ 벡터 모듈레이터
 Fig. 8. Block-diagram of IQ vector modulator for reflection type.

조가 간단하고, 가격경쟁력이 높다는 장점을 갖는다.

그림 8은 IQ 벡터 모듈레이터의 블록도를 나타내었다. 그림 8에서 I, Q 입력을 받는 가운데 네모 부분이 BJT로 구성된 회로 부분이며, I, Q 입력에 대해 BJT 게이트 전압을 동작시켜 BJT의 Pinch-off 동작과 Avalanche through 동작을 갖도록 한다. 이러한 동작에 따라 개방 및 단락 구현이 이루어져 Quadrature 하이브리드 커플러의 위상이 180° 차이를 갖도록 한다. 동작이 정확한 IQ 벡터 모듈레이터를 구현하기 위해 위상오차를 줄여서 정확한 위상 출력을 갖도록 하는 것이 중요하다. 위상 오차의 발생은 각각의 출력 상태가 위상 차이를 가질 뿐 아니라 진폭의 오차도 일으키기 때문이다. 그림 8의 구조에서 보듯이 반사형 IQ 벡터 모듈레이터는 각각의 경로에서 출력되는 신호를 Wilkinson 커플러에 의해 합쳐져서 원하는 출력 값을 얻는다. 여기에서 위상 오차는 진폭에 영향을 미치게 된다. 반송파의 입력으로 $S_1(t) = A \cos(\omega t + \theta)$ 의 신호가 입력되고, 이 입력이 하이브리드 커플러의 두 경로로 출력되어 Wilkinson 커플러에 입력되는 두 경로의 신호를 dB 개념의 P_1 (위의 경로 출력), P_2 (아래 경로 출력) 그리고 θ 의 식으로 유도하면 식 (5)와 같다.

$$P_3 = 10 \log \left[10^{\frac{P_1}{10}} + 10^{\frac{P_2}{10}} \right] \quad (5)$$

여기서 P_1 과 P_2 가 같은 전력을 가지고 위상차 θ 가 $\pm 45^\circ$ 가 되어 항상 일정한 진폭의 폭을 가지고 출력이 되나 두 경로 사이에 삽입손실의 차이로 진폭의 오차가 발생한다든지, 위상 차이가 발생하여 Wilkinson 커플러에 합쳐진다. 이렇게 되면 오차만큼 출력되는 진폭 및 위상은 틀려지게 된다. 여기서 각 경로의 위상 오차 및 진폭 오차를 갖고 출력된다

고 가정한다면 진폭의 크기 및 위상 오차는 식 (6-1) 과 (6-2)와 같다.

$$P_2 = P_1 + \delta P \quad (6-1)$$

$$\theta = \pm \frac{\pi}{2} + \delta \theta \quad (6-2)$$

$\delta P(dB)$ 는 두 경로 사이의 전력차이며, $\delta \theta$ 는 위상 차를 나타낸 식으로 가정하고, P_1 을 0 dBm으로 할 경우 출력되는 전력은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta R = 10 \log [1 + 10^{\frac{\delta P}{10}} \pm 2 \times 10^{\frac{\delta P}{20}} \times \sin(\delta \theta)] \quad (7)$$

IQ 벡터 모듈레이터의 위상은 $\delta \theta/2$ 의 값을 갖고 출력되며, 두 신호의 크기와 위상 오차에 따라 출력되는 신호의 진폭은 $\delta P(dB)$, $\delta \theta$ 에 따라 달라져 출력된다.

그림 9에서는 위상차를 0~20°, 진폭차를 0~5 dB 로 가정하였을 경우에 두 경로의 진폭 및 위상차에 따른 진폭의 출력 결과를 도표화하였다. 두 경로의 위상차는 두 경로의 위상이 -90°에서 위상차가 발생하여 위상 오차가 줄어들고 있다고 가정하였고, 진폭차는 식 (6-1)에서 가정한 것처럼 한쪽 경로가 기준 경로보다 증가하고 있다고 가정하였기에 위상 차 및 진폭차가 증가할수록 IQ 벡터 모듈레이터 출력 결과는 증가하고 있음을 나타내고 있다. 출력 레벨은 증가하는 것처럼 보인다는 것은 정확한 레벨 위치를 그만큼 벗어나고 있음을 의미한다.

$S_i(t) = A \cos(\omega t + \theta)$ 으로 가정하고 I, Q 신호의 입력조건에 따라 4 가지 벡터 모듈레이터의 출력 신호는 반사형 IQ 벡터 모듈레이터의 입력 신호를 식 (8)의 4 가지로 표현된다. 식 (8-1)은 I, Q 신호에 TTL 신호의 Low, High 입력을, 식 (8-2)는 Low, Low 입력을, 식 (8-3)은 High, Low 입력을, 식 (8-4)는 High,

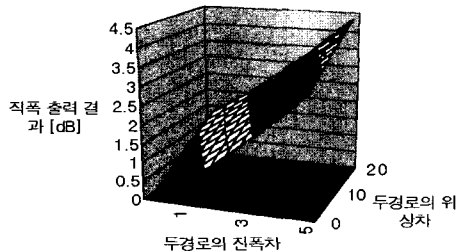


그림 9. 두 경로의 위상 및 진폭 오차의 출력 결과
Fig. 9. Output curve via phase and amplitude difference of two signal paths.

High 입력일의 출력 신호 표현을 나타낸 것이다.

$$\frac{\sqrt{2}A}{2} \cos(\omega t + \theta_1 + 45) \quad (8-1)$$

$$\frac{\sqrt{2}A}{2} \cos(\omega t + \theta_1 - 45) \quad (8-2)$$

$$\frac{\sqrt{2}A}{2} \cos(\omega t + \theta_1 + 135) \quad (8-3)$$

$$\frac{\sqrt{2}A}{2} \cos(\omega t + \theta_1 - 135) \quad (8-4)$$

이에 대한 결과는 IQ 벡터 모듈레이터가 $\sqrt{2}/2$ 배 감소를 나타내며, 위상이 90 도의 위상차를 갖고 출력 됨을 나타낸다.

이에 대한 I, Q 시뮬레이션 결과는 Agilent 사의 ADS 시뮬레이션 툴을 이용하여 IMT-2000 시스템이 사용하는 2.11 GHz~2.17 GHz 대역의 IQ 벡터 모듈레이터의 동작 특성을 재확인 해주었다. 이의 결과는 그림 10과 같다.

시뮬레이션 결과 진폭의 차이는 거의 없으며, 위

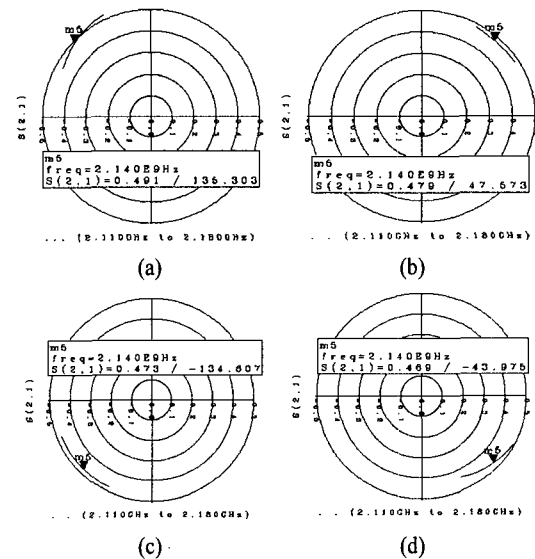


그림 10. IQ 벡터 모듈레이터의 시뮬레이션 출력 결과

- (a) 위상 = 47°, 진폭 = 0.4 V
- (b) 위상 = 136°, 진폭 = 0.4 V
- (c) 위상 = -134°, 진폭 = 0.4 V
- (d) 위상 = -43°, 진폭 = 0.4 V

Fig. 10. The simulation result of IQ vector modulator.

- (a) Pha = 47°, Amp = 0.4 V
- (b) Pha = 136°, Amp = 0.4 V
- (c) Pha = -134°, Amp = 0.4 V
- (d) Pha = -43°, Amp = 0.4 V

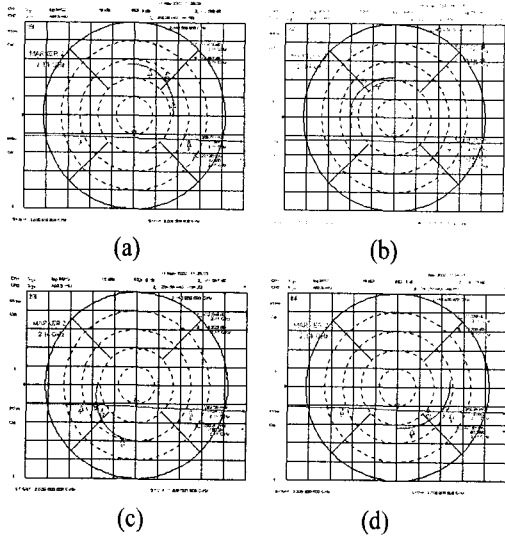


그림 11. IQ 벡터 모듈레이터의 출력 결과
(가변 감쇠기 = -12 dB @ 0 V)
(a) 위상 = 136°, 진폭 = -12.7 dB
(b) 위상 = 44°, 진폭 = -12 dB
(c) 위상 = -134°, 진폭 = -11.5 dB
(d) 위상 = -45°, 진폭 = -12.1 dB

Fig. 11. Measurement result of IQ vector modulator.
(Variable attenuator condition: -12 dB @ 0 V).
(a) Pha = 44°, Amp = -12 dB
(b) Pha = 136°, Amp = -12.7 dB
(c) Pha = -134°, Amp = -11.5 dB
(d) Pha = -45°, Amp = -12.1 dB

상오차는 최대 +2°의 오차 범위 내에서 동작하고 있음을 확인하였다. 이를 근거로 PCB는 Rogers사의 RO4580을 이용하여 제작하였다.

V. 측정 및 결과

그림 11은 Agilent 사의 Network Analyzer로 측정된 결과이며 이 결과에서 볼 수 있듯이 4 사분면의 전체적으로 ±1°의 위상차와 ±0.6 dB의 진폭 차를 갖는 4 사분면의 일정한 출력 결과를 나타냄을 볼 수 있다.

그림 12는 그림 11의 결과에서 20 dB 감쇠를 더 갖게 한 후에 Network Analyzer로 4사분면에 대한 조건에 대해 다시 측정된 결과이다. 가변 감쇠기의 결과에서 볼 수 있듯이 20 dB 레벨 변화 시에 11도의 오차가 발생함을 감안하여 AGC 제어 전압에 따라 위상 보상회로를 적용하여 측정하였고, 측정 결

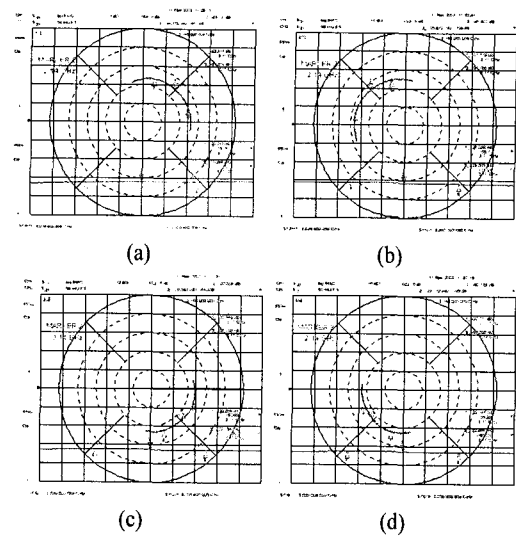


그림 12. IQ 벡터 모듈레이터의 출력 결과
(가변 감쇠기 = -32 dB @ 5 V)
(a) 위상 = 45°, 진폭 = -32.1 dB
(b) 위상 = 135°, 진폭 = -31.3 dB
(c) 위상 = -135°, 진폭 = -32.7 dB
(d) 위상 = -44°, 진폭 = -32.5 dB

Fig. 12. Measurement result of IQ vector modulator.
(Variable attenuator condition: -32 dB @ 5 V).
(a) Pha = 135°, Amp = -31.3 dB
(b) Pha = 45°, Amp = -32.1 dB
(c) Pha = -135°, Amp = -32.7 dB
(d) Pha = -44°, Amp = -32.5 dB

과에서 볼 수 있듯이 20 dB 가변범위 전체적으로 위상의 영향을 주지 않으며 이득을 가변시킬 수 있는 설계의 결과를 이루었다.

또한 온도에 따른 위상 변화량과 진폭 변화량을 감소시키기 위해 온도 보상회로를 설계하여 주었다. 온도에 대한 진폭과 위상 변화량을 보상하기 위해 온도 센서를 연결하여 보상되는 전압을 가변 감쇠기와 위상 변환기에 입력될 수 있도록 하였으며, 온



그림 13. AGC 기능을 갖춘 IQ 벡터 모듈레이터 실물
Fig. 13. The photograph of IQ vector modulator with AGC function.

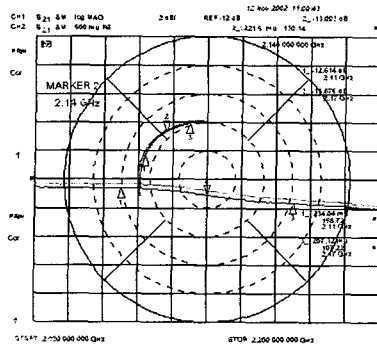


그림 14. IQ 벡터 모듈레이터의 온도 변화 결과
Fig. 14. Temp. variation of IQ vector modulator.

도에 따른 변화량을 최소화하였다. 그림 14는 IQ 벡터 모듈레이터의 온도 변화에 따른 변화량을 나타낸 결과이다. $-30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 의 온도 변화에 대해 ± 0.5 dB의 변화량과 $\pm 6^{\circ}$ 의 변화량을 일으키고 있음을 볼 수 있다. 이는 온도 보상에 대한 회로가 적용되어 사양을 만족하고 있음을 알 수 있다.

VI. 검 토

본 논문에서는 3세대 통신으로써 대두되고 있는 IMT-2000 서비스에 적용되는 IQ 벡터 모듈레이터를 설계 제작하였다. 측정 결과 20 dB AGC 기능이 적용된 상태에서도 4 사분면을 모두 $\pm 1^{\circ}$ 를 만족하고 있으며, ± 0.5 dB 내에서 동작하고 있고, 온도 변화량에 대해서는 온도 보상회로가 이상 없이 동작하고 있어 목표했던 사양을 만족하고 있음을 확인하였다. 이렇게 제작된 IQ 벡터 모듈레이터는 QPSK, QAM의 직접 변조에 사용될 수 있고, 확장하여 256 QAM에까지 적용이 가능하다. 또한 이러한 구조를 이용하여 진폭 및

위상을 제어하여 동작특성을 얻는 회로에도 사용이 가능하다. 그래서 이동통신용 선형화 증폭기 등의 RF 제어 기능으로써도 사용하는 추세이다^{[7],[8]}.

참 고 문 헌

- [1] B. T. Henoch, P. Tamm, "A 360° reflection type diode phase modulator", *IEEE Trans Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-19 pp. 103-105, Jan. 1971.
- [2] 정용채 외 3인, "벡터 감쇠기의 설계", 추계종합학술발표회논문집(상), pp. 776-779, 1998년 11월.
- [3] G. Hiller, "Design with PIN diodes", *RF Design*, Mar./Apr. and May/June 1979.
- [4] Alpha Industries, Inc., *Design with PIN Diodes*, Application Note, APN1002, 1999.
- [5] 윤현수 3인, "360° 반사형 가변 위상 변환기 설계", 춘계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, 서울대학교, vol. 21, no. 1, pp. 237-240, 1998년 5월.
- [6] J. I. Upshur, B. D. Geller, "Low-loss 360° X-band analog phase shifter", *IEEE MTT-s Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 487-490, 1990.
- [7] Jean-Serge Cardinal, Fadhel M. Ghannouchi, "A New Adaptive Double Envelope Feed back (ADEF) Linearizer for Solid State Power Amplifiers", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, no. 7, pp. 1508-1515, July. 1995.
- [8] Perter B. Kenington, *High Linearity RF Amplifier Design*, Artech House, Boston · London, 2000.

오 인 열



1993년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 8월: 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1996년 7월~1999년 8월: (주)LG 정보통신 중앙연구소 이동통신단 연구원

1999년 8월~2002년 7월: (주)알에프하이텍 연구소 고출력 증폭기 개발팀 팀장, 선임연구원
 2003년 8월: 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 [주 관심분야] 이동통신시스템 및 부품연구, 디지털방송 및 LMDS 기술, 고출력 증폭기 선형화 기술

김 태 응



1988년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 2월: 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1990년 3월~1995년 3월: (주)이디엔지니어링 부설연구소 선임연구원

1999년 2월: 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 2002년 9월~현재: 광운대학교 정보통신연구원 연구교수

박 중 화



1988년 2월: 광운대학교 전자공학과 산업대학원 (공학석사)
 1999년 8월: 광운대학교 전자공학과 대학원 (공학박사)
 2002년 9월~현재: 광운대학교 정보통신연구원 연구교수

전 형 준



1993년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학박사)
 1999년 3월~2000년 12월 : (주)

대양전기공업주식회사
 2001년 2월~현재: 삼성에스원 기술연구소 전임연구원
 [주 관심분야] 마이크로웨이브 하드웨어 설계, 블루투스 무선기술

손 광 철



1986년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 2월: 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1997년 2월: 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1997년~2000년: (주)CTI 선임 연구원

2000년~현재: 광운대학교 정보통신연구원 연구교수
 [주 관심분야] RF 및 Photonics 신소재

나 극 환



1981년 7월: 프랑스 ENSEEIHT 국립 종합 공과대학 (공학박사)
 1981년 9월~1986년 12월: 광운대학교 전자공학과 부교수
 1987년 1월~1988년 1월: 미국 COSMST 연구소 객원 연구원
 1988년 2월~현재: 광운대학교 전자

공학과 교수
 [주 관심분야] RF 및 마이크로파통신 시스템 기술, 선형화 및 출력 최적화 기술, 밀리미터파 통신 시스템 기술, 수치 해석