

Adaptive Vector Control 를 이용한 RF 고정 위상 제어기 설계

박승준, 정세웅, 오인주, 정용채
전북대학교 정보통신공학과 초고주파연구실 및 정보통신연구소

Design of a RF Fixed Phase Control Circuit using Adaptive Vector Control

Sueng-Jun Park, Se-Woong Jeong, In-Ju Oh, Yong-Chae Jeong
Dept. of Communication Eng. Chonbuk National University

요약

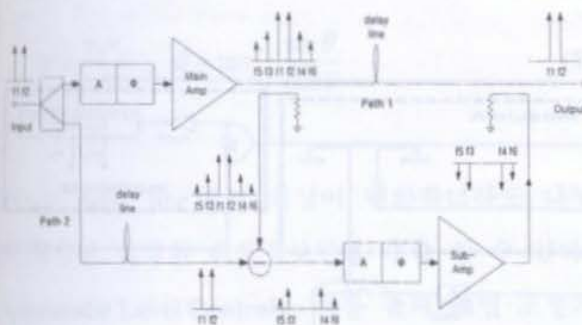
Feedforward 선형화기에서 외부환경으로 인한 delay line 의 위상 변화는 선형화기 특성을 저하 시키는 주된 원인이 된다. 본 논문에서는 새로운 방식의 벡터 결합 이론을 이용한 delay line 의 위상 변화를 일정하게 고정 시키는 회로를 설계 하였다. Multi-tone 신호가 입력되는 경우 증폭기의 이득과 위상을 일반 Network Analyzer 로 측정할 수 없기 때문에 I and Q Demodulator 를 이용해서 이득과 위상을 측정 하였으며 측정 결과는 $\pm 10^\circ$ 위상 변화에 대해 1-tone, 2-tone 신호를 인가하여 10dB dynamic range 범위 내에서 위상 변화가 0.35° 이내, 신호 진폭변화는 0.07dB 이하의 측정 결과를 얻었다.

I. 서론

기존 Feedforward 방식(그림 1)은 delay line 의 외부 환경(온도)으로 인한 위상변화에 대해 고려를 해주지 않아 delay line 의 불필요한 위상 왜곡으로 인해 선형화기의 신뢰성을 잃는 경우가 많다. 이에 대해 delay line 에서의 위상의 변화를 고정시키는 새로운 위상 제어기를 설계 하였다.

넓은 동작 범위에서 위상의 변화를 일으키는데 이는 동축 선로를 구성하고 있는 도체와 유전체의 온도 변화에 따른 열팽창 계수의 변화에 기인한다. 본 논문에서는 온도 변화에 따른 균속도 지연 선로의 삽입 손실의 변화는 무시하였다. 그림 2는 벡터 위상 제어 개념을 설명하고 있다. 균속도 지연 선로가 동작되는 온도에서 $-\theta_1 \sim \theta_1$ 만큼의 신호 위상을 변화 시킨다고 가정할 때, 상온에서 균속도 지연 선로의 출력 신호를 \vec{A} 라 하고, 온도의 변화에 의해 균속도 지연선로에서 나타나는 균속도 지연 선로의 출력 신호를 \vec{B} 라 하면 지연 선로의 출력 신호 \vec{B} 에 임의의 신호 성분을 추가하면 상온에서의 출력 신호 \vec{A} 를 복원할 수 있을 것이다. 즉,

$$\vec{A} = \vec{B} + \vec{a}$$



II. II. 벡터 위상 제어 회로의 동작

동축 선로를 이용한 반송파 신호 균속도 지연 선로는

를 만족하는 신호 성분 \bar{a} 를 출력 신호 \bar{B} 에 부가하면 항상 일정한 출력신호를 만들어 낼 수 있을 것이다. 이때 각 신호들이 상온에서의 신호 \bar{A} 의 진폭으로 정규화가 되어있다면 부가 신호 성분의 정보는 다음과 같이

UÀ½/

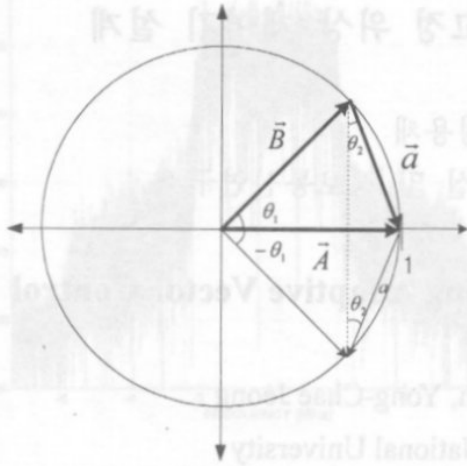


그림 2. 벡터 위상 제어 회로의 동작

구할 수 있다.

$$\cos\theta_1 + a \cdot \sin\theta_2 = 1$$

$$\sin\theta_1 = a \cdot \cos\theta_2$$

$$a = \frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_2}$$

(6)식을 (5)식에 대입하여 θ_2 를 구하면

$$\cos\theta_1 + \frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_2} \cdot \sin\theta_2 = 1$$

$$\cos\theta_1 + \sin\theta_1 \cdot \tan\theta_2 = 1$$

$$\tan\theta_2 = \frac{1 - \cos\theta_1}{\sin\theta_1}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{1 - \cos\theta_1}{\sin\theta_1}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2\sin^2\frac{\theta_1}{2}}{2\sin\frac{\theta_1}{2}\cos\frac{\theta_1}{2}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\tan\frac{\theta_1}{2}\right) = \frac{\theta_1}{2}$$

이제 부가 신호의 진폭을 구해보면

$$a = \frac{\sin\theta_1}{\cos\frac{\theta_1}{2}}, \quad |a| = 20 \log \left| \frac{\sin\theta_1}{\cos\frac{\theta_1}{2}} \right| \quad [dB] \quad (8)$$

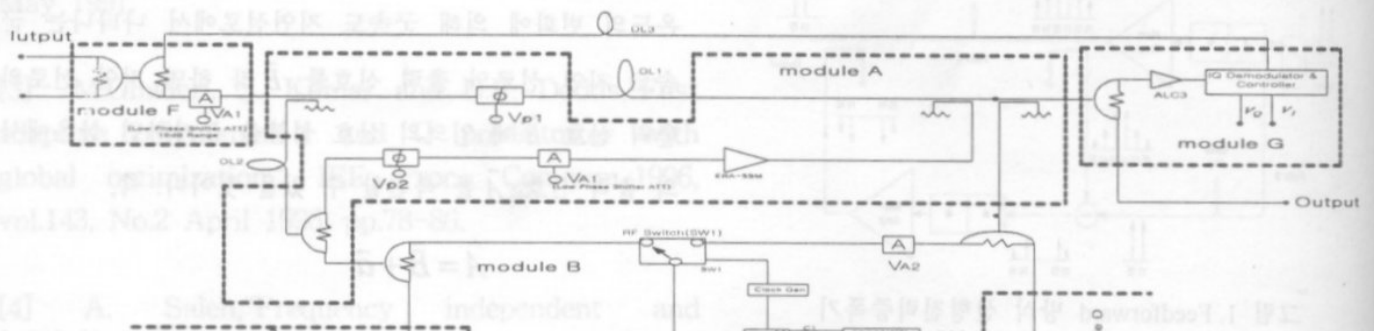
결과적으로 군속도 지연선로의 위상이 $\theta_1 = \pm 10^\circ$ 범위에서 변화시 $\theta_2 = \pm 5^\circ$ 변화를 가지면서 신호진폭의

크기가 반송파 신호대비 $|a|_{\max} = 0.087$ (or $-15.17dB$)

인 부가 신호를 vector 적인 합성을 통해 원래의 신호정보를 그대로 유지할 수 있다. 이때 군속도 지연회로의 위상 변화량이 작으면 부가 신호의 진폭 및 위상이 작아짐을 확인할 수 있다

(6) 그림 3은 벡터 Adaptive Control 를 이용한 RF 고정 위상 제어기이다. 그 동작 원리를 살펴보면 입력 단에 인가된 주 신호들은 분배기들을 거쳐 Gain 을 일정하게 해주는 AGC 부분[Module B], 위상을 일정하게 해주는 APC[Module E], 주 경로[Module A], 측정하게 위한 [Module G], ALC[Module C,D], 분배기[Module F] 로 크게 나눌 수 있다.

AGC : 그림 3에서 입력전력 P_1 를 인가 했을 때 RF 스위치 (SW1)는 클럭 발생기에 의해 두 입력 단 중에 하나를 선택하여 Detector 에서 RF 신호가 DC 신호로 전환되고 충전된 두 값 C1,C2는 두 신호의 크기가 서로 비교되도록 설계하였다. 이 비교기는 가변 감쇄기 I(그림



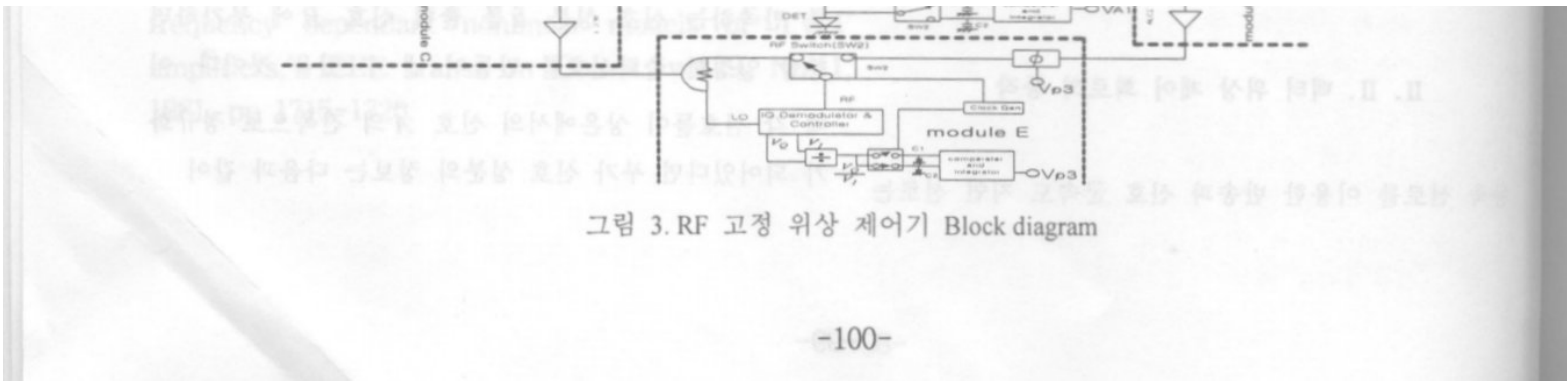


그림 3. RF 고정 위상 제어기 Block diagram

ÀiÀü/ÙÀ½

3)의 감쇄 값을 조절해서 결과적으로 전체이득을 일정하게 했다. 여기서 가변 감쇄기 2(그림 3)는 일정하게 된 이득을 원하는 어떤 값으로 조절될 수 있도록 하는 기능을 갖는다

APC : 그림 3에서 ALC1을 거친 후 RF 스위치 (SW2)는 클럭 발생기에 의해 두 입력 단 중에 하나를 선택하여 Detector에서 RF 신호가 DC 신호로 전환되고 충전된 두 값 C1, C2는 두 신호의 크기가 서로 비교되도록 설계하였다. 이 비교기는 위상 변환기 2(그림 3)의 감쇄 값을 조절해서 결과적으로 전체위상을 일정하게 했다. 여기서 위상 변환기 3(그림 3)은 일정하게 된 위상을 원하는 어떤 값으로 조절될 수 있도록 하는 기능을 갖는다

그림 4는 APC의 I & Q Demodulator 회로도이다.

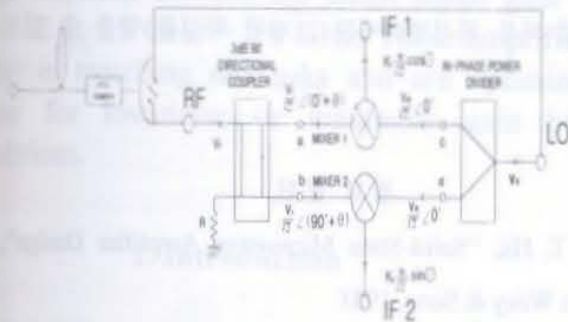


그림 4. I & Q Demodulator의 회로도

$$v_{IF1} = \frac{K_1}{2} v_r v_o \cos(\omega_o t + \theta) \cos \omega_o t$$

$$v_{IF2} = \frac{K_2}{2} v_r v_o \cos(\omega_o t + \theta - 90^\circ) \cos \omega_o t$$

$$y = \frac{v_r v_o}{2}, \theta = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad (5)$$

결과적으로 delay line에서 위상이 변화하더라도 나누기 소자를 거치면 일정한 위상정보만을 추출할 수 있다

ALC(Automatic Level Control): 자동 출력 레벨 조정기로서 혼합기로 들어가는 LO와 RF에 일정한 레벨을 넣어

III. 실험 및 결과

가변 위상 변환기는 좋은 반사 특성을 위하여 반사형 구조를 채택하였으며, 가변 감쇄기 1은 저위상 변화 감쇄기를 사용 크기 제어 시 위상이 변화하지 않게 했다. 사용된 다이오드는 각각 Microsemi사의 UPP-9401과 Sony사의 1T362이다. 3dB 분배기는 RF Power사의 S03A888N1을 사용하였다. IQ 복조기를 구현하는데 사용된 혼합기는 Minicircuit사의 TUF-2SM로 구현하였다.

Multi-tone을 인가 시 위상정보를 얻기 위한 방법으로 그림 3 같이 출력에 혼합기를 사용하여 위상의 변화를

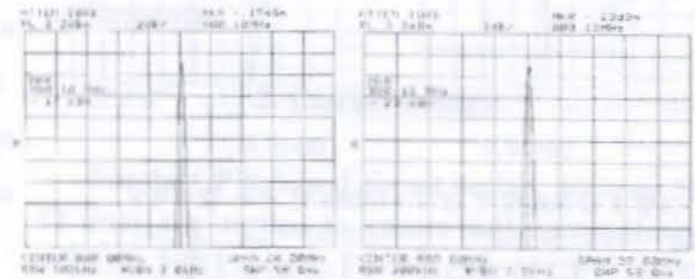


그림 5. (1-tone)입력 크기 +10dBm 일 경우 출력특성

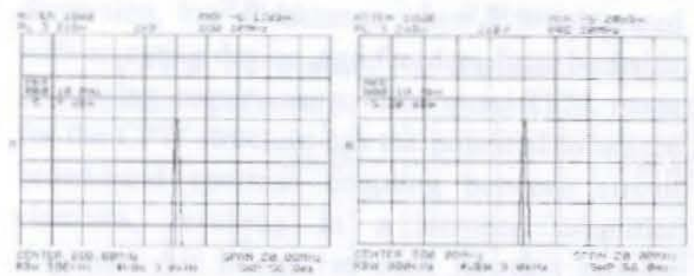
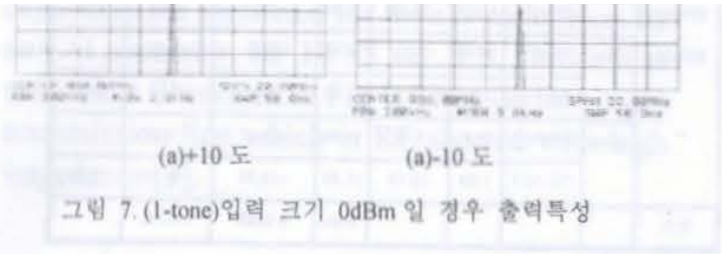


그림 6. (1-tone)입력 크기 +5dBm 일 경우 출력특성



주기 위한 것이다.

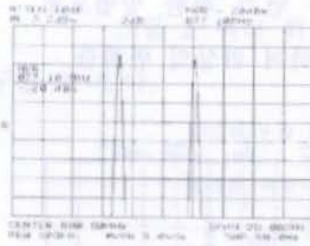
전체 회로의 위상과 크기를 측정하기 위해 I & Q Demodulator 의 회로도[Module G]를 사용했다.



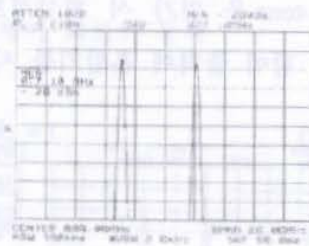
ÀÌÄü/ÜÄ½

<표 1> 1-tone 측정된 위상/크기 변화 특성

P _{in}	가변 위상 1	Control Voltage		출력 위상	출력 크기	
		ATT(V)	Phase 2(V)		PHASE(도)	880MHz(dBm)
10dBm	9V(+10°)	3.68	9.79	28.18	-0.17	
	7V(-10°)	0.98	10.56	27.94	-0.23	
5dBm	9V(+10°)	3.36	9.57	28.18	-5.17	
	7V(-10°)	0.84	10.42	28.18	-5.2	
0dBm	9V(+10°)	3.05	9.35	28.18	-10.23	
	7V(-10°)	0.7	10.29	27.94	-10.17	
				0.24	0.07dB	

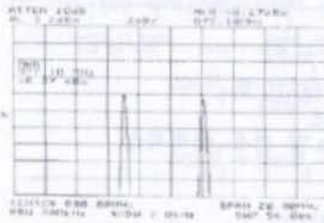


(a)+10도

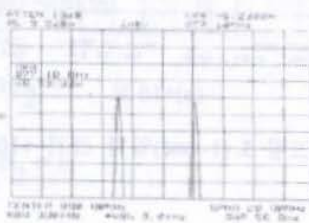


(a)-10도

그림 8. (2-tone)입력 크기 +10dBm 일 경우 출력특성

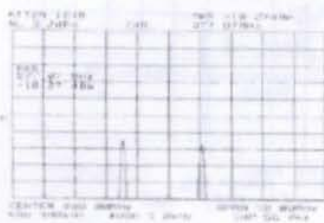


(a)+10도

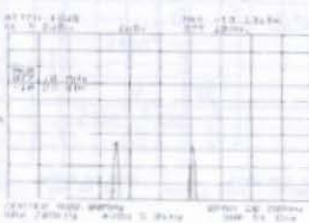


(a)-10도

그림 9. (2-tone)입력 크기 +5dBm 일 경우 출력특성



(a)+10도



(a)-10도

그림 10. (2-tone)입력 크기 0dBm 일 경우 출력특성

<표 2> 2-tone 측정된 위상/크기 변화 특성

P _{in}	가변 위상 변환기 1	Control Voltage		출력 위상	출력 크기		오차
		ATT1 (V)	위상 변환기 2(V)		877MHz (dBm)	882MHz (dBm)	
2-tone 877MHz	9V(+10°)	3.79	9.28	11.53	-0.20	-0.20	
	7V(-10°)	1.369	10.23	11.88	-0.20	-0.20	0.03

측정하였다. +/-10도 위상 변화에 대해 1-tone(880MHz), 2-tone(877MHz, 882MHz) 신호를 인가 시 10dB 범위 내에서 위상 변화가 0.35도 이내, 크기는 0.07dB 이하를 얻었다.

IV. 결론

본 논문에서는 벡터 결합 이론을 이용 새로운 방식의 위상 고정 회로를 설계 하였다. +/-10도 위상 변화에 대해 10dB 범위 내에서 위상 변화가 0.35도 이내, 크기는 0.07dB 이하를 얻었다.

기존 Feedforward 방식은 delay line의 외부 환경으로 인한 위상변화에 대해 고려를 해주지 이로 인해 선형화기의 특성이 저하 될 수 있다.

본 논문에서 제안한 고정 위상 제어기를 Feedforward 방식에 이용한다면 외부 환경변화에도 고정된 특성을 얻을 수 있으리라 본다.

참고 문헌

- [1] Tri T. Ha, "Solid-State Microwave Amplifier Design", John Wiley & Sons, 1981
- [2] S.K.Koul, B.Bhat, "Microwave and millimeter wave phase shifter", Artech House, 1991
- [3] Walter Joswick, "I/Q Networks deliver various modulation formats", Microwave&RF, vol.33, pp81-94, March.1994
- [4] David A, Bell, " Operational amplifiers", Prentice Hall, 1990
- [5] Stewart Walker, "A Low Phase shift Attenuator", IEEE Trans, Microwave Theory Tech, vol.42, No.2, pp. 182-185, February.1994
- [6] In-ho Kang, Ik-soo Chang, Yong-chae Jeong, Sang-won Yun, The Design of Automatic Gain and Phase Controlled Amplifier, APMC, pp.18-20, 1995

882MHz	5dBm	9V(+10°)	3.595	9.15	11.88	-5.27	-5.27	
		7V(-10°)	1.22	10.2	11.88	-5.23	-5.23	0.04
	0dBm	9V(+10°)	3.4	9.02	11.88	-10.27	-10.27	
		7V(-10°)	1.09	10.18	11.88	-10.23	-10.23	0.04
오차					0.35	0.07dB	0.07dB	

ΔiÄü/ÜÄ½