

# 쇼트키 다이오드를 이용한 전력증폭기용 프리디스토터에 관한 연구

정회원 오규태\*

## A Study of Predistorter using schottkey diode for Power Amplifier

Kyu-Tae Oh\* *Regular Member*

### 요약

전력증폭기에서는 특유의 비선형 특성에 의해 출력에 왜곡이 발생하므로 이를 보상할 수 있는 방안을 강구하여야 한다. 본 논문에서는 쇼트키 다이오드를 직렬로 삽입한 전력증폭기용 프리디스토터의 특성에 관하여 연구하였다. 이를 통해 쇼트키 다이오드의 비선형 특성을 이용한 프리디스토터를 전력증폭기 전단에 삽입하면 전력증폭기를 선형화시킬 수 있음을 확인하였다.

즉, 입력 신호 레벨이 낮으면 입력된 신호는 전력증폭기로 그대로 들어가지만 입력 신호레벨이 높으면 프리디스토터에서 감쇄되어 전달된다. 그러므로 전력증폭기는 항상 saturation 영역에서만 동작하게 된다. Serenade 8.0을 이용하여 모의 실험을 통해 약 3% 가량의 효율이 개선됨을 확인할 수 있었다. 또한 800MHz에서 2.2GHz까지의 대역 중 1.8GHz 대역에서 가장 확실한 비선형특성을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

At Power amplifier, distortion of output is appeared because of non-linearity, so we must study method of compensation for non-linearity.

In this paper, it was studied about the characteristic of predistorter using serial schottky diode for an amplifier. As a result, we confirmed that power amplifier was able to linearize when we put predistorter using non-linearity of schottky diode before power amplifier.

When input carrier level was low, input carrier was delivered directly into power amplifier but input carrier level was high, input carrier was delivered into power amplifier through predistorter with suppressed level. As a result power amplifier always was at saturation region. Through simulation using serenade 8.0, we have concluded that efficiency was improved about 3%, and predistorter got best linearity at 1.8GHz between 800MHz~2.2GHz.

### I. 서론

RF 전력증폭기의 비선형특성은 AM-AM 변환 특성과 AM-PM 변환 특성으로 모델링할 수 있다<sup>[1][2]</sup>. 이 AM-AM 변환 특성과 AM-PM 변환 특성에 의해 인접채널 간섭과 상호변조 특성이 나타난다.

이러한 간섭현상을 줄이기 위해서는 RF 전력증폭기를 A급(class A), AB급(class AB), B급(class B)에서 동작시키거나 출력을 백-오프(back-off)시켜 선

형 영역에서 동작시켜야 한다<sup>[3]</sup>.

그러나 이러한 방법들은 전력소모가 많고 원하는 출력보다 더 큰 출력의 전력증폭기가 필요하게 되며 가격 또한 비싸다는 단점을 가지고 있다. 따라서, RF 전력증폭기의 효율과 선형성 모두를 향상시키기 위해서는 전력증폭기의 선형화가 필수적이다.

RF 전력증폭기의 선형화기법으로는 feedforward 방식, feedback 방식, predistortion 방식 등이 있다.<sup>[4]</sup>

\* 한국항공대학교 전자공학과

논문번호: 020353-0812, 접수일자: 2002년 8월 12일

Feedforward 방식은 비선형 전력증폭기의 출력 신호에 포함된 혼변조 왜곡 성분(intermodulation distortion)을 이용하여 선형화 하는 방식으로 정확한 혼변조 성분을 이용하므로 성능이 좋다는 장점이 있지만 부피가 크고 효율이 낮으며, 정확한 튜닝이 필요하다는 단점이 있다.<sup>[5][6]</sup> Feedback 방식은 전력 증폭기의 출력 신호의 혼변조 성분을 다시 입력 신호에 포함시켜서 선형화하는 방식으로 feedforward 방식에 비해 선형화기의 제작은 간단하지만 동작 주파수 대역이 좁고 외부 조건에 따라 발전할 우려가 있다는 단점이 있다.<sup>[7]</sup> Predistortion 방식은 전력 증폭기의 비선형 특성을 고려하여 전력증폭기의 입력 신호에 미리 왜곡을 주어 선형화 하는 방식으로 위의 두 방법에 비하면 선형화 성능면에서는 feedforward 방식보다는 떨어지지만 선형화기의 제작이 간단하며, 가격에 비해 비교적 좋은 특성을 얻을 수 있어서 현재 많이 사용되고 있는 선형화 기법 중의 하나이다.

predistortion 방식에서 입력신호에 왜곡을 주는 방법은 RF 대역에서 전력증폭기의 RF 비선형 특성과 반대가 되는 비선형 특성을 갖는 RF predistorter를 전력증폭기 앞단에 연결하여 RF 대역의 입력 신호를 미리 왜곡시키는 방법과 기저대역 신호에 미리 왜곡을 주는 방법이 있다.<sup>[8]</sup>

본 논문에서는 전력증폭기 선형화 방식 중 증폭기 전단에 쇼트키 다이오드를 사용하는 predistorter 방식의 특성을 분석하였다. 이를 위해 쇼트키 다이오드(schottky diode)를 직렬로 사용한 predistorter 방식을 연구하였으며, 주파수에 따른 전력증폭기의 특성을 확인하였다.<sup>[9]</sup>

다이오드를 이용한 predistorter 설계 시 주의할 점은 사용 주파수에 따라 다이오드의 특성이 달라지므로 전력증폭기의 비선형성을 보상할 수 있는 역함수의 구현 시 반드시 사용 주파수를 고려하여 설계하여야 한다는 것이다.

## II. 프리디스토터의 특성

### 2.1 선형화기가 부가된 전력증폭기의 구성

이 선형화기는 순방향 바이어스 상태에서 다이오드 등가저항의 비선형성을 이용한다. 그림 1은 쇼트키 다이오드를 직렬로 이용한 predistorter의 회로도이다.

Predistorter는 RF용 쇼트키 다이오드를 직렬로 이용하거나 병렬로 이용하여 간단히 구성할 수 있

으며 본 논문에서는 직렬로 이용한 방식에 관해 연구하였다.

선형화기의 특성을 측정하기 위해 Hewlett Packard사의 network analyzer 8720을 사용하였다. 이 장비는 S파라미터를 측정하기 위해 사용되며 최대 20GHz까지 측정이 가능한 장비이다.

그림 1은 predistorter의 회로도이며 그림 2는 predistorter의 PCB layout과 pattern도이다. 사용된 쇼트키 다이오드는 Hewlett Packard사의 HSMS-2822를 사용하였으며 C1, C2는 100pF, L1, L2는 4.7uF를 사용하였다.

그림 2는 그림 1의 회로를 실제로 구현한 것이다.

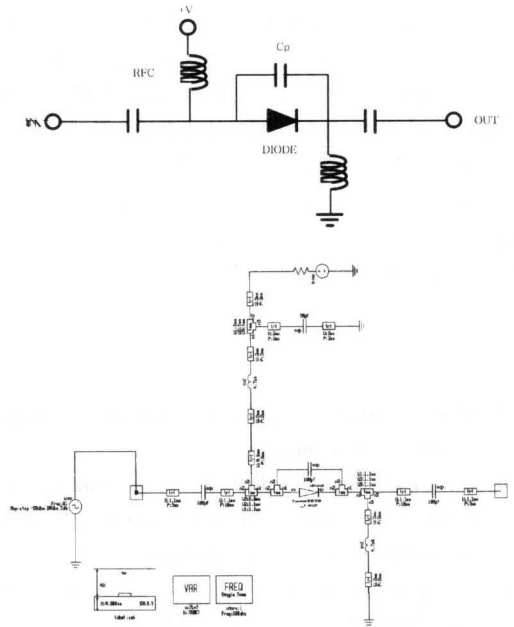


그림 1. 직렬 다이오드를 이용한 predistorter. 회로도 (상), 모의 실험을 위해 serenade로 구성한 회로도 (하)

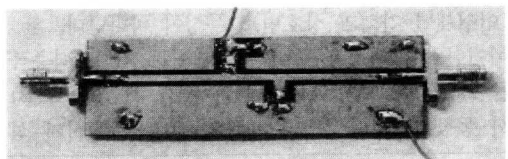
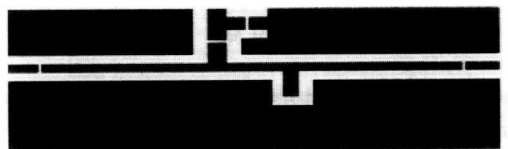


그림 2. Predistorter의 패턴도(상)와 실제배선도(하)

이 선형화기 동작의 기본 원리는 전력증폭기의 1-dB compression point보다 더 큰 입력 신호가 전력증폭기로 들어오면 전력증폭기가 포화 영역에서 동작하게 되어 인접채널간섭 현상이 발생하게 되는데 본 논문의 predistorter는 큰 입력 신호가 입력되는 경우 전력증폭기로 들어가는 신호 레벨을 줄여 전력증폭기가 항상 선형영역에 있을 수 있도록 하는 기능을 수행한다.

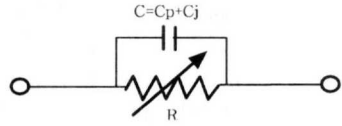


그림 3. 병렬 capacitor에 의한 직렬 다이오드의 등가회로

식 (1)과 식 (2)에 의해 다이오드 등가저항의 변화에 대한 이득과 위상 변화의 계산 결과를 그림 4와 그림 5에 보이고 있다.

2.2 Predistorter의 동작

그림 1의 회로가 predistorter이다. L1은 입력신호에 바이어스전압을 공급하는 역할을 한다. C3와 L2는 입력 신호의 주파수와 공진되어 공진된 주파수만 통과될 수 있도록 한다. 다이오드는 RF에서 빠른 스위칭 능력이 있는 쇼트키 다이오드를 사용하였다.

입력 신호 레벨이 쇼트키 다이오드의 turn-on level 이하이면 C3, L2 공진회로에 의해서만 통과된다. 이때 공진회로는 공진상태이므로 프리디스토터 출력 레벨은 입력신호 레벨과 같다.

만일 입력 신호 레벨이 쇼트키 다이오드의 turn-on level 이상이면 다이오드가 도통하여 다이오드는 일종의 저항과 같은 동작을 하여 리액턴스가 작용하게 된다. 이로인해 프리디스토터의 출력 신호는 입력신호에 비해 레벨도 낮아지고 위상도 지연되게 된다.

그러므로 프리디스토터의 출력은 일정 수준의 레벨을 유지할 수 있는 것이다.

2.3 Predistorter의 이득과 위상의 변화

그림 3은 그림 1 predistorter의 단순화된 등가회로이다. 등가회로의 S<sub>21</sub>은 다음 식과 같다.

$$S_{21} = \frac{2Z_0 Y}{1 + 2Z_0 Y} \tag{1}$$

$$Y = \frac{1}{R} + jaC \tag{2}$$

R은 직렬다이오드의 등가저항이고 C는 다이오드의 병렬 커패시턴스 C<sub>p</sub>와 다이오드의 접합용량 C<sub>j</sub>의 합이며 Z<sub>0</sub>는 특성 임피던스이다.

RF신호 입력 전력이 증가하면 평균 전류도 증가하게 된다. DC 전류의 증가는 파형의 푸리에 변환 계산에 의해 증명될 수 있는데 그것은 순방향 다이오드 전류의 증가와 등가 저항 R의 감소를 의미한다.

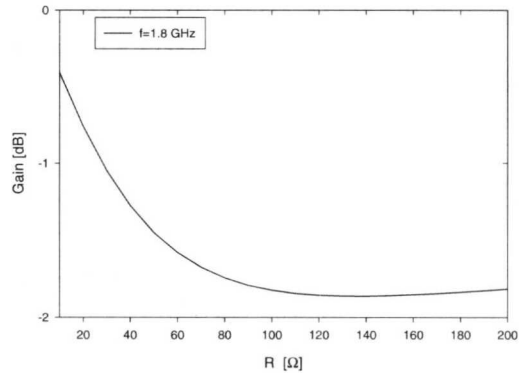


그림 4. 등가저항 R이 변할 때 진폭의 변화

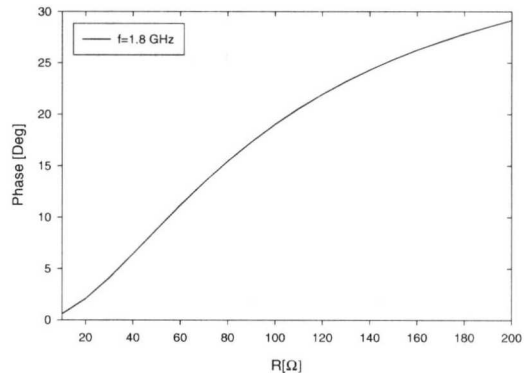


그림 5. 등가저항 R이 변할 때 위상의 변화

그림4와 그림5는 등가저항 R이 10~200[Ω]까지 변할 때의 결과이다. 여기서 병렬 커패시턴스 C<sub>p</sub>와 다이오드의 접합용량 C<sub>j</sub>의 합인 C는 1 pF 으로 정해져 있고 입력신호 주파수는 800MHz에서부터 1.8 GHz 까지의 이동통신용 주파수를 이용하였다.

그림4는 등가저항 R이 10~100[Ω] 사이의 범위에서 S<sub>21</sub>의 진폭이 단조롭게 변화하는 것을 보여주고 있다.



예를 들어 신호 입력 레벨이 증가하게 될 때 직렬로 연결된 다이오드의 등가저항이 커져 전압 강하가 발생하게 된다. 이로 인해 입력 신호의 레벨은 프리디스토터를 지나면서 레벨이 감소하게 되어 전력증폭기가 선형 영역에서 동작할 수 있게 된다.

그림5는 등가저항 R이 10~100[Ω] 사이의 범위에서 S<sub>21</sub>의 위상이 단조롭게 변화하는 것을 보여 주고 있다. 신호 입력 레벨이 증가 함에 따라 쇼트키 다이오드의 등가 저항이 커지게 되고 이에 따라 predistorter의 리액턴트가 커지게 되어 전류 위상은 지연되게 된다.

만일 신호입력 레벨이 작아 다이오드가 turn-off 상태이면 predistorter의 입출력 위상은 동일하게 된다.

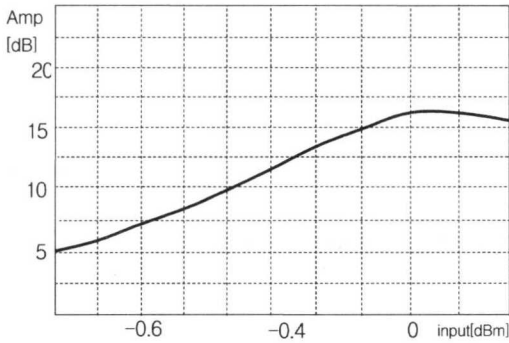


그림 6. 입력의 변화에 따른 predistorter 출력 진폭의 변화

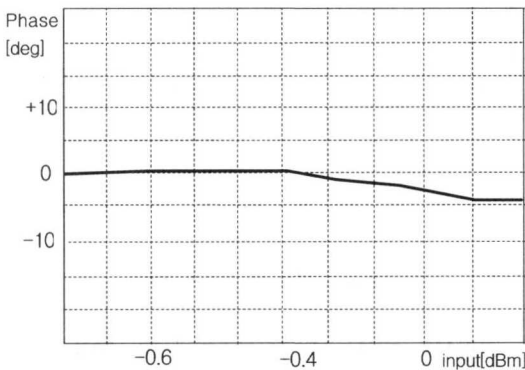


그림 7. 입력의 변화에 따른 predistorter 출력 위상의 변화

2.4 Predistorter의 입출력 관계

위의 predistorter의 등가회로의 특성에 따른 입출력 특성을 살펴보면 다음과 같다.

그림 6과 그림 7은 predistorter의 입력 레벨에 따른 진폭과 위상의 변화를 실험에 의하여 plotting한

것이다.

진폭이나 위상 모두 쇼트키 다이오드가 turn-on하는 0dBm이 지나면서 서서히 진폭은 감소하고 위상도 지연이 발생함을 알 수 있다.

이것은 입력 레벨이 증가함에 따라 다이오드가 turn-on이 되면서 등가저항이 증가하게 되어 증가적인 RLC 직렬병렬회로의 리액턴스가 증가하는 결과를 가져오기 때문이다.

III. 입력 주파수에 따른 predistorter의 특성

그림 8과 그림 9는 predistorter가 다양한 주파수대에서 어떤 특성을 나타내는지를 보기 위해 predistorter에 입력되는 입력 신호의 주파수를 변화시키면서 predistorter 출력의 진폭과 위상 변화를 관측한 것이다.

800MHz, 1.8GHz, 2.2GHz는 각각 셀룰라, PCS, IMT-2000 주파수 대를 의미한다.

그림 8과 그림 9에서 보면 프리디스토터의 등가저항 R이 작을 때는 주파수의 변화에 관계없이 이득이나 위상이 일정하다가 저항이 커질수록 주파수에 따라 특성에 변화가 있음을 알 수 있다.

진폭 특성을 보면 800MHz대에서 진폭특성이 비선형특성을 잘 나타내지 않다가 주파수가 올라가서 2.2GHz대로 이것은 입력 신호레벨이 작을 때는 주파수에 따른 특성의 변화가 없으나 신호레벨이 커지게되어 1.9GHz 이상에 되면서 확실한 비선형특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

위상 특성도 마찬가지로 1.9GHz대 이상에서 비선형특성을 확실하게 나타냄을 알 수 있다.

그러므로 본 연구에서 제안된 predistorter는 셀룰라 이동통신 보다는 PCS이상의 주파수대에서 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

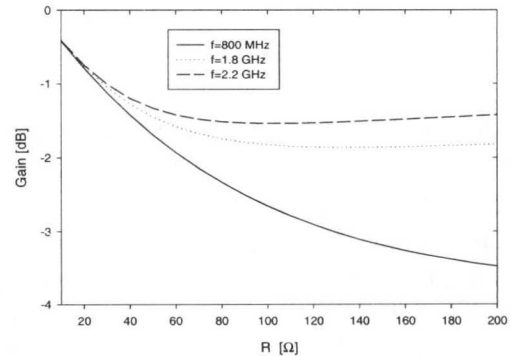


그림 8. Predistorter의 각 주파수대별 진폭 특성

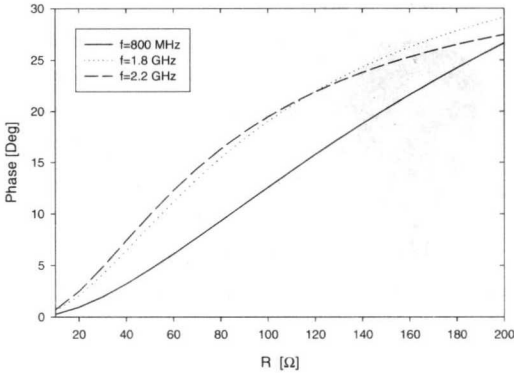


그림 9. predistorter의 각 주파수대별 위상 특성

그러므로 다이오드를 직렬로 사용한 predistorter를 1.8GHz이상의 주파수대역에서 사용하기 위해서는 주파수에 따른 전력 증폭기의 특성을 보상하기 위한 predistorter에서 만드는 역함수의 모양을 고려하여 predistorter를 설계하여야 한다.

#### IV. 선형화기가 부가된 전력증폭기의 특성

본 논문에서는 predistorter의 특성을 평가하기 위해 Ansoft사의 serenade 8.0에서 전력증폭기를 구성하여 모의 실험을 실시하여 predistorter의 선형화 특성을 확인하였다. 이에 사용된 전력증폭기는 실험실 환경에서 모의실험을 위한 간략화된 모형이므로 실제 응용에서는 GHz 주파수대의 특성을 고려한 설계가 이루어져야 한다.

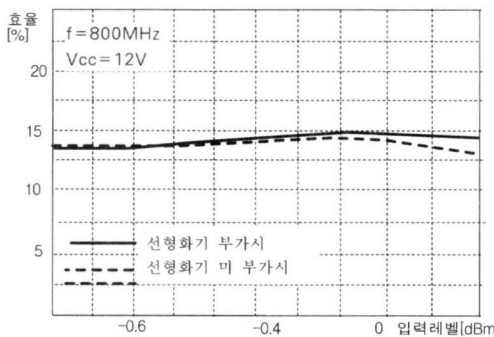


그림 10. 전력증폭기의 효율 특성 비교

쇼트키 다이오드를 이용한 predistorter가 전력증폭기의 비선형 왜곡을 보상해 줄 수 있음을 확인하기 위해 선형화기가 부가된 전력증폭기와 선형화기가 부가되지 않은 전력증폭기의 효율을 비교해 보았다.

입력신호의 레벨을 0.5V~1.5V까지 연속적으로 변화시키면서 각각의 경우 효율을 비교하여 본 결과 선형화기를 부가한 경우가 효율 개선 효과가 더 높음을 확인 할 수 있다.

실험에 의하면 그림 10에서 보는 바와 같이 입력 신호레벨이 -0.4dBm이하일때는 선형화기를 부가하지 않은 경우와 선형화기를 부가한 경우의 효율이 거의 같으나 입력 레벨이 -0.2dBm을 넘어서면서 선형화기를 부가한 경우의 효율이 더 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

이와 같은 결과는 전력증폭기가 포화상태가 되어 전력증폭기가 비선형 영역에서 동작하므로 효율이 저하되기 때문이다. 진단에 predistorter를 부가하면 -0.2dBm이상의 신호가 들어가더라도 전력증폭기 진단의 predistorter에서 신호 레벨을 미리 감쇄시켜 전력증폭기가 선형영역에서 동작할 수 있으므로 효율의 저하를 막을 수 있게되어 효율이 저하되지 않는다. Serenade 8.0에서 구현한 모의 실험 결과 입력 레벨이 1dBm 이상에서 약 3%이상의 효율이 개선되는 효과를 얻을 수 있었다.

#### V. 결론

이상에서와 같이 쇼트키 다이오드를 이용한 predistorter는 전력증폭기의 비선형 특성을 간편하게 보상하여 선형화시킬 수 있음을 확인하였다.

이 predistorter는 다이오드의 turn-on 레벨을 중심으로 입력 신호레벨이 다이오드의 turn-on 레벨보다 작으면 LC 공진회로로만 입력신호가 통과하여 진폭과 위상에 변화가 없으나 turn-on 레벨보다 높은 입력 신호가 들어오면 다이오드가 turn-on되어 다이오드가 등가저항으로 작용하여 진폭을 감소시키고 위상을 지연시킨다.

이와 같은 predistorter의 특성 때문에 전력증폭기에는 일정 레벨 이상의 신호가 들어오지 않게 되고 그에 따라 전력증폭기는 항상 선형 영역에서만 동작하게 되어 전력증폭기의 효율이 개선될 수 있다.

이 predistorter를 serenade 8.0을 이용하여 전력증폭기 모의 실험을 실시한 결과 입력 레벨이 800MHz, 1dBm 이상에서 약 3%이상의 효율이 개선되는 효과를 얻을 수 있었다.

향 후 이 회로를 이동 통신에 적합한 1.8GHz 이상에서 사용할 수 있도록 연구가 이루어 진다면 휴대폰에 사용되는 전력증폭기에도 저렴한 가격으로 적용이 가능할 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

[1] James K. Cavers, "Convergence Behavior of an Adaptive Feedforward Linearizer," IEEE Trans, pp. 499-502. 1994.

[2] Stephen A. Maas, Nonlinear Microwave Circuits, Artech House, 1988.

[3] 정용채, 장익수, 김철동 "선형화기 설계방식에 대한 고찰," 전자공학회지, 제 24권, 제 1호 pp. 14~20, 1997년 1월.

[4] D. Cahana, J. R. Potukuchi, R. G. Marshalek, and D. K. Paul, "Linearized transponder technology for satellite communications part I :linearizer circuit development and experimental characterization," Comsat Technical Review, vol. 15, no. 2A, pp. 227-308, Fall 1985.

[5] H. Seidel, "A microwave feed-forward experiment," Bell System,

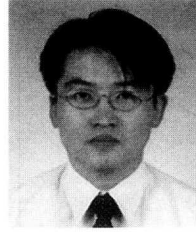
[6] 이원우, 박광량, 정용채, 장익수, 윤상원, "Feedforward 방식을 이용한 Predistorter에 관한 연구," 전자공학회 논문지, 제31권 A편 5호, pp. 68-75, 1994.

[7] F. Perez, E. Ballesteros and J. Peres, "Linearization of microwave amplifiers using active feedback network," Electronics Letters, vol. 21, no. 1, pp. 9-10, Jan. 1985.

[8] Aldo N. D, Vinvconzo Lottici, "RF Power Amplifier Linearization Through Amplifier and Phase Predistortion." IEEE Trans. on Commu, vol. 44, pp. 1477-1484, Nov. 1996.

[9] 윤상영, 정용채 "Carrier Complex Power Series 해석을 통한 대전력 증폭기용 전치 왜곡기 설계." 한국전자과학회논문지, 제5호, 2001년 8월

오 규 태(吳圭泰)



1996년 2월 : 서울산업대학교  
전자공학과(공학사)  
2000년 8월 : 한국항공대학교  
정보통신과(공학 석사)  
2001년~현재 : 한국항공대학교  
전자공학과 박사과정  
현재 : SDsolution 대표

<주관심 분야> 무선통신, 무선 LAN