

I. 서 론

전력증폭기는 외부에서 인가되는 DC 전력을 이용하여 큰 RF 또는 마이크로파 출력 전력으로 변환시키는 소자이다. 전통적인 의미에서 전력증폭기는 작은 크기의 신호를 원하는 대전력의 신호로 증폭시키는 소자이지만, 다양한 통신 방식의 송신 시스템은 전력증폭기에 신호발생기, 변조기, 주파수 변환기, 선형화기, 그리고 전압변환기 등의 회로들을 포함하기도 한다. 전력증폭기는 통신시스템의 송신부 최종 단계에 위치하면서 신호전력 증폭의 기능으로 인하여 많은 양의 전류를 소모하는 것이 일반적이라 많은 열량의 방출을 동반하게 된다. 이는 통신시스템의 안정성을 저하시키는 요소로 작용하므로 전력증폭기의 설계에 있어서 높은 효율과 좋은 방열 조건 구축은 필수적인 고려 사항이 되었다. 또한 휴대용 단말기의 경우 배터리의 유효 사용시간과 밀접한 관계를 가지게 된다.

과거에는 통신시스템의 구현에 관한 이론과 구현이 FM이나 GMSK와 같은 고정 진폭변조에 국한되었다. 그런 변조기술을 이용하는 경우 인접 채널 간섭 효과가 미미하므로 전력증폭기를 포화 영역 근처에서 동작하게 하는 것이 보통이다. 그래서 전력증폭기의 동작이 C급으로 동작하게 하여 높은 효율을 얻을 수 있었다. 그러나 한정된 주파수 자원을 효과적으로 이용하기 위해 좁더 주파수 효율이 좋은 기저대역에서의 펄스 신호 조작(pulse shaping)을 동반한 16-QAM이나 QPSK와 같은 선형 변조 방식을 사용하는 것이 통신시스템의 대세가 되었다^[1]. 이러한 선형 변조방식 신호는 그 진폭과 위상에 정보를 포

함하고 있는데, 신호정보는 비선형 전력 증폭기의 증폭 과정에서 진폭 왜곡(AM-to-AM)과 위상 왜곡(AM-to-PM)이 발생하게 된다. 이 선형 변조 방식이 디지털 이동통신 시스템에 적용됨으로, 전력 증폭기 설계에 기존의 높은 효율 이외에도 선형성 확보가 중요한 요소가 되었다. 이 선형성 확보는 보통 캐리어 신호 대비 간섭 신호 비(C/I), 혼변조 왜곡 비(Intermodulation Distortion Ratio), 피크 신호 진폭 대비 평균 에러 신호 진폭 비(EVM: Error Vector Magnitude), 대역내 인접 채널 전력 누설 비(ACPR: Adjacent Channel Power Ratio), 인근 채널 전력 누설 비(ACPR: Alternative Channel Power Ratio), 대역외 신호 방출 비(Out-of-Band Emission)라는 항목들로 나타내지고 있다.

본 논문에서는 이동통신기지국용 대전력 증폭기 설계 기술이라는 제목으로 전력 증폭기의 효율 증대 및 선형화 기법 및 연구동향을 살펴보고자 한다.

II. 전력증폭기 효율증대 방안

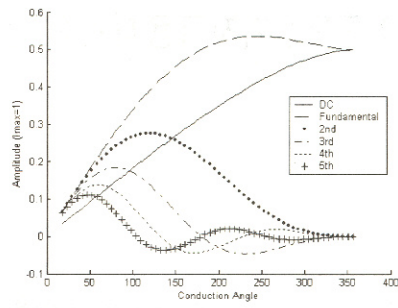
효율은 전력 증폭기의 설계에 있어서 매우 중요한 요소이다. 효율과 관련하여서는 여러 정의들이 사용되고 있다. 일반적으로 효율은 DC 전력 소모 대비 RF 출력 전력($\eta = P_o/P_i$)로 표현되는 것이 일반적이다. 전력 부가 효율은 DC 전력 소모 대비 RF 출력 전력에서 RF 입력 전력을 차감한 것($\eta = (P_o - P_{DR})/P_i$)을 나타내지만 만약 전력 증폭기의 이득이 크게 되면 일반적인 효율과 큰 차이가 없게 된다. 전력증폭기의 전력 효율은 특정 출력에서의 값이므로, 대부분의 전력 증폭기의 경우 전력 증폭기가 낼 수 있

는 최대 용량을 의미하는 1 dB 압축점($P_{1\text{ dB}}$) 근처에서 최대값을 갖고 출력이 낮아짐에 따라 효율이 감소하는 것이 일반적이다. 그러나 전력증폭기의 입력 신호가 실시간에 따라 달라지는 경우에는 유용한 파라미터는 평균 DC 전력 소모 대비 평균 출력 전력($\eta_{\text{AVG}} = P_{o, \text{AVG}}/P_{i, \text{AVG}}$)을 의미하는 평균 효율일 것이다^[2]. 다음에서는 전력증폭기의 효율을 증대하기 위한 방법을 여러 가지 측면에서 고찰하도록 하겠다.

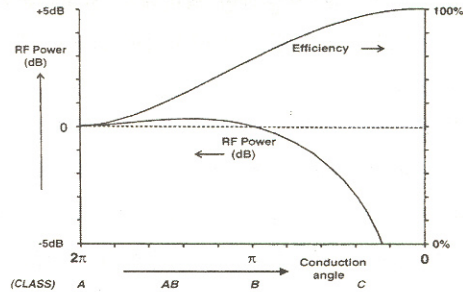
2-1 전력증폭기의 바이어스에 따른 효율 특성

전력 증폭기의 효율을 좌우할 수 있는 요소 중에 제일 먼저 생각할 수 있는 것은 전력 증폭기의 바이어스 방법을 들 수 있을 것이다. RF 입력 신호가 트랜지스터에서 전도되는 전도각(conduction angle)에 따라 바이어스를 A, AB, B, C급으로 나눌 수 있을 것이다. 일반적으로 A급에서 C급으로 이동할수록 전력 효율은 증가하지만 이득과 출력 레벨의 감소, 하모닉 신호들의 발생으로 인한 비선형 특성이 증가된다. 이때 AB급 상태에서의 선형성은 문턱전압(threshold voltage) 영향에 따라 선형적 특성의 추세가 약간 달라질 수는 있다^[3]. [그림 1]은 전도각에 따른 트랜지스터 출력 단에서의 DC, 기본파 및 하모닉 신호들의 출력 레벨특성과 그 효율들을 나타낸 것이다.

한편 D급 전력증폭기는 두 개 이상의 트랜지스터를 차동 전압 스위칭 연결 형태로 결합한 후에 이를 직렬 공진회로에 연결함으로써 이론적으로는 100%의 효율을 보장하는 증폭기이다. 다만 스위칭의 속도와 트랜지스터 출력 단 캐패시터의 영향으로 동작주파수의 제약을 받는다^{[4],[5]}. 그밖에 E, F, S급 증폭기를 고려할 수 있으나 D~S 급 전력증폭기의 경우 효율적인 측면에서는 유리하지만 전력증폭기의 선형성 확보측면에서는 이동통신 기지국용으로는 적절치 못한 구조이며 향후 선형성 확보측면에서 많은 연구



(a)



(b)

[그림 1] (a) 전도각에 트랜지스터 출력단의 출력 신호
(b) 트랜지스터 바이어스에 따른 출력 전력 및 효율

가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2-2 포락선 변조

이 방식은 뒤에서 언급될 Kahn 방법과 매우 유사하다. 전력 증폭기의 신호 레벨이 가변 대역을 가질 때, 전력증폭기의 효율을 높이기 위해 공급 전압을 능동적으로 변화시키되 증폭기가 선형적인 모드에서 동작할 수 있도록 충분히 여유가 있게 공급하는 방식이다^{[6],[7]}. 이를 위해서는 전력증폭기에 전압을 능동적으로 제어할 수 있는 전압변환기가 달려 있어야 하며, 능동적인 제어를 위해 DSP 기술을 이용하기도 한다. 시스템의 효율은 전압변환기 제어 능력에 의해 좌우되며, 낮은 출력 레벨에서는 전압변

환기 및 부가도 있다.

2-3 Doherty

Doherty 증폭기 두 증폭기를 가지고, 전체 출력 또는 carrier) 증폭률이 1/2 이상 또는 peaking) 출력에서 6 dB 유지하도록 하 Doherty 증폭기의 특성을 나타내고 있다. 이를 통하여 하모닉 λ/4 변환기의 2배로 될 때에 주 증폭기는 조건이 된다. 최근의 연구는 동작 전력 증가를 위한 Doherty 증폭기^[8], DSP를 이용한 전압변환기 바이어스를 조절하는 연구가 이루어졌다.

2-4 DGS 증폭기

최근 전송선로 이론을 배제한 PBG 구조와 밀리미터파 연구되어지고 있다. 이를 갖는 PBG 구조를 이용하여 이러한 PBG 구조를 고, 마이크로스

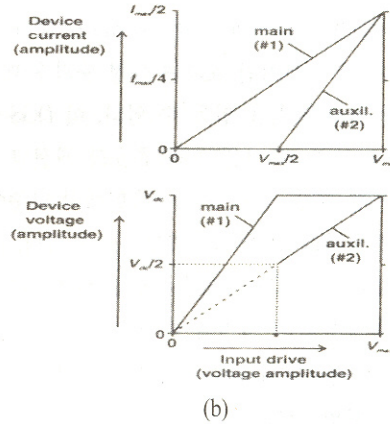
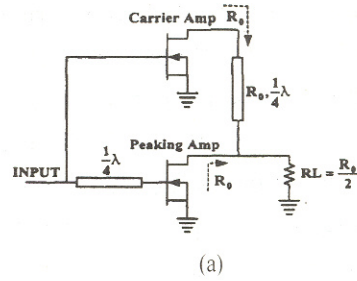
환기 및 부가 회로에 의하여 효율이 더 낮아질 수도 있다.

2-3 Doherty 증폭기

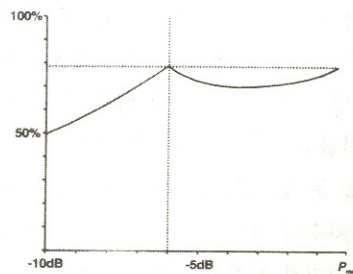
Doherty 증폭기는 같은 출력 용량을 가지고 있는 두 증폭기를 $\lambda/4$ 변환기를 이용하여 결합시킨 증폭기로, 전체 출력 용량의 1/2 이하일 때에는 주(main 또는 carrier) 증폭기만 동작하게 하고 전체 출력 용량이 1/2 이상일 때에는 주 증폭기와 보조(auxiliary 또는 peaking) 증폭기가 모두 동작하게 함으로 최대 출력에서 6 dB의 동작 범위에서 최대 효율 범위를 유지하도록 하는 효과를 얻고 있다. [그림 2]는 Doherty 증폭기의 블록도와 각 트랜지스터의 동작 상태를 나타내고 있다. Doherty 증폭기는 load-pull적인 분석을 통하여 해석을 할 수 있는데, 출력단에 달린 $\lambda/4$ 변환기의 특성 임피던스가 공통 부하 임피던스의 2배로 될 때 보조 증폭기가 출력을 일으키는 상태에서도 주 증폭기가 최대 출력을 유지해낼 수 있는 조건이 된다^[3]. [그림 3]은 출력 변화에 따른 일반적인 Doherty 증폭기의 효율 변화 특성을 보이고 있다. 최근의 연구 경향은 이 Doherty 증폭기를 더 넓은 동작 전력 범위에서 좋은 효율을 유지하도록 하거나^[8], DSP를 이용하여 두 개의 전력 증폭기의 바이어스를 조절하거나^[9], 비선형 성분을 좋게 하는 데에 연구가 이루어지고 있다^[10].

2-4 DGS 증폭기

최근 전송선로의 접지면에 주기적으로 식각된 패턴을 배열한 PBG(Photonic Band Gap) 구조가 마이크로파와 밀리미터파 대역에서 소자 응용을 위해 많이 연구되어지고 있으며, 전파 지연 및 대역 저지 특성을 갖는 PBG 구조를 이용하여 고효율 증폭기, 여파기, 혼합기를 설계한 논문들이 발표되고 있다^{[11]-[14]}. 이러한 PBG 구조는 해석이 상대적으로 매우 복잡하고, 마이크로스트립 전송선로로 구현할 때 결합 패



[그림 2] (a) Doherty 증폭기의 블록도
(b) Doherty 트랜지스터의 동작 상태도



[그림 3] Doherty 증폭기의 효율 특성

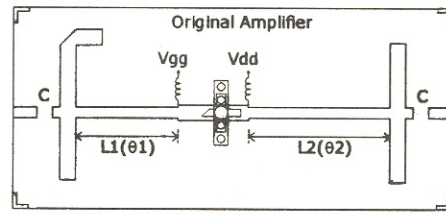
턴이 있는 면과 외부의 접지면 사이에는 공간이 필요하므로, 고출력을 다루는 전력증폭기의 경우 많은 방열량을 없애기 위한 방열판이 필요하다는 측면에서 적절한 설계라고 판단되지 않는다. 대신 접지면에 복잡한 배열 대신 단지 하나 또는 그 이상의 패턴

의 결함으로 대체한 DGS(Defected Ground Structure)를 사용한다면 이러한 문제를 완화할 수 있을 것으로 판단되며, 이 DGS 구조를 이용하여 방향성 결합기, 여파기, 전력증폭기를 설계한 논문들도 발표되고 있다^{[15]-[18]}. 이 DGS 전송선로는 상대적으로 해석이 용이하며, 전송선로의 접지면에 결함을 주게 되면 전송선로의 등가 직렬 인덕턴스와 병렬 접지 캐패시턴스를 증가시켜 전송선로의 폭을 넓히면서 위상상수를 증가시켜 전파 지연(slow-wave) 효과를 얻을 수 있다. 이 전파 지연 효과는 특정 주파수 대역에서의 대역 차단 특성을 얻을 수 있다. 이 DGS 증폭기는 하모닉 차단 특성을 통해 효율의 개선과 더불어 선형성 개선에도 기여한다는 측면에서 나중에 다룰 선형성 개선의 한 방법이라고 할 수 있다. [그림 4]는 표준 증폭기와 DGS 전송선로를 사용하여 회로의 크기를 줄이면서 전기적 특성을 비교한 것이다^[19]. 이 때 아령모양의 레이아웃은 접지면을 식각해 낸 결함을 보인 것이다.

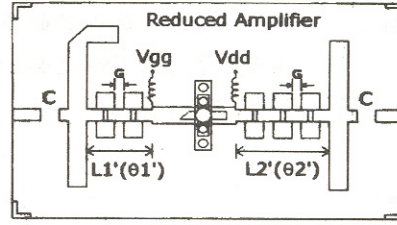
앞에서 같이 신호 전송선로의 접지면에 결함을 두어 대역 저지 특성을 이용한 회로 구현도 할 수도 있지만, 이 전송선로의 접지면 결함을 바이어스 선로에 적용하여 그 신호 지연을 이용하면 하모닉 신호의 차단 효과를 통해 증폭기의 효율과 이득의 개선 등을 얻을 수 있다. [그림 5]는 증폭기의 드레인 단자에 연결되어 있는 $\lambda/4$ 바이어스 선로의 접지면에 결함을 준 것으로, 바이어스 선로의 폭을 넓혀주고 홀수 차수의 하모닉을 차단하는 특성을 얻으며, 효율 및 전기적 특성의 개선을 나타내고 있다^[20].

2.5 증폭기 공용 시스템

CDMA 통신 시스템은 각 단말기 사용자에게 유일(orthogonal)한 코드를 배정하므로 각 사용자 이외의 다른 사람의 신호는 잡음 처리함으로써 많은 사용자가 동시에 통화가 가능하게 한다. 따라서 CD-

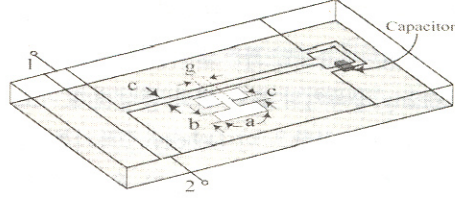


(a)



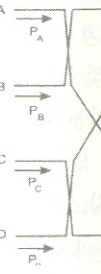
(b)

[그림 4] (a) 표준 증폭기와 (b) 소형화된 DGS 증폭기의 레이아웃



[그림 5] $\lambda/4$ DGS 바이어스 선로를 이용한 전력증폭기

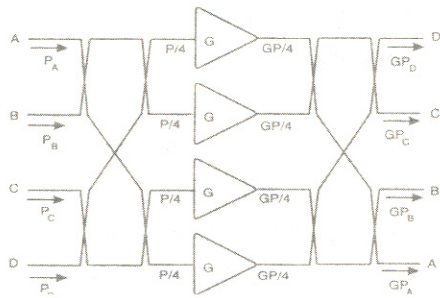
MA 변조 방식의 통신에 있어서 출력 신호의 효과적 제어는 매우 각 기지국에서의 사용자 수를 결정하는 요소가 되므로 지속적인 전력 제어가 일어나는 것이 보통이다. 각 기지국은 많은 수의 가입자를 처리하기 위하여 기지국을 구역별 분리(sectorizing)하고 각각 세부 기지국으로 운영을 하는 것이 일반적이며, 각 세부 기지국은 가입자의 수에 따라 출력 전력이 달라짐으로 세부 기지국 증폭기의 출력 효율이 달라질 수 있다. 다음의 증폭기 공용 시스템은 각 세부 기지국이 증폭기를 공유함으로써 특정 세부 기지국으



[그림 6]

로 통화량이 집량의 제한이 발생 입력 신호는 각 증폭된 출력 신호로 특정 증폭기 따른 이용 효율 증폭기 공용 시

기지국용 대역요한 설계 주안 확보될 것이다. 레벨까지 증폭화(saturation) 영역적이다. 포화 영역 자체의 비선형 전력 신호의 진폭은 왜곡이 발생 공통 증폭될 경(tion) 신호들이 호들은 혼신(cross-trum)을 갖는 성에 의해 인접



[그림 6] 증폭기 공용 시스템의 블록도

로 통화량이 집중되는 됴에 따라 증폭기의 출력 용량의 제한이 발생하는 것을 막기 위한 구조이다. 각 입력 신호는 각 증폭기에 분산되고, 각 증폭기에서 증폭된 출력 신호는 특정 출력 단자로만 나오게 함으로 특정 증폭기를 특정 기지국에서만 사용하는데 따른 이용 효율의 저하를 막는 구조이다. [그림 6]은 증폭기 공용 시스템의 블록도이다^[21].

Ⅲ. 선형화 기법

기지국용 대전력 증폭기 설계에 있어 또 다른 중요한 설계 주안점은 증폭기 입출력 신호간의 선형성 확보일 것이다. 전력 증폭기 운용에 있어 최대 출력 레벨까지 증폭할 수 있도록 비선형 특성을 갖는 포화(saturation) 영역 근처에서 동작시키는 것이 일반적이다. 포화 영역 부근에서 동작되는 전력 증폭기는 자체의 비선형 특성에 의하여 입력 신호 대비 출력 신호의 진폭 비와 변위 위상 특성이 일정하지 않은 왜곡이 발생되고, 2개 이상의 반송파가 입력되어 공통 증폭될 경우 혼변조 왜곡(intermodulation distortion) 신호들이 발생하게 된다. 이들 혼변조 왜곡 신호들은 혼신(cross-talk)으로 동작하게 된다. 증폭되는 신호가 CDMA 신호와 같이 확산 대역(spread spectrum)을 갖는 신호일 경우에는 증폭기의 비선형 특성에 의해 인접 채널에 잡음(noise)을 일으키며 자신

의 채널에도 많은 잡음을 내포하게 된다. 따라서 비선형 특성을 갖는 전력 증폭기의 입력을 수 dB back-off하여 비교적 선형 영역에서 동작되도록 하면 혼변조 왜곡 잡음은 줄일 수 있으나 출력 전력이 낮아지고, 출력 전력을 원하는 레벨까지 높이려면 여러 개의 전력 증폭기를 병렬 접속 구동해야 하므로 전체 전력 증폭기의 부피가 커지고 전력 효율이 낮아지며, 더 큰 용량의 전원 공급을 필요함으로써 안정성이 저하되는 단점이 있다. 대전력 증폭기의 포화영역에 대한 비선형 특성을 보상하기 위한 선형화기(linearizer)를 전력 증폭기와 함께 사용하게 되면 포화 영역에서도 혼변조 왜곡 잡음을 대폭 줄이면서 원하는 출력을 얻을 수 있다.

3-1 피크 전력 감쇄

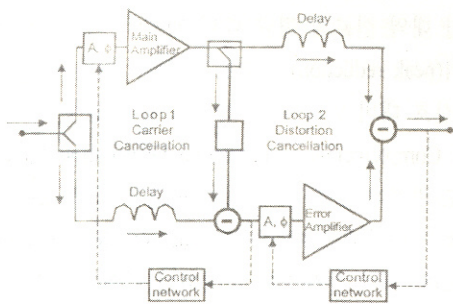
주파수 효율이 좋은 디지털 변조 방식을 쓰는 것이 일반적인 통신기술의 추세이다. 현재 CDMA 방식의 통신에서는 기지국 송신 단의 경우 QPSK 변조 방식을, 단말기에서는 p/4-QPSK 변조를 쓰는 것이 일반적이다. 단말기의 경우 단말기의 한정된 회로 부피를 고려하여 변형된 변조 방식을 이용하여 기저 대역의 I/Q 신호의 진폭 변화를 최소화하여 단말기 증폭기에서 발생될 왜곡을 최소화하는 방식을 취하고 있다. 그러나 여러 가입자의 통화를 동시에 취급해야 하는 기지국의 경우 QPSK 변조방식을 쓰되 여러 채널의 코드가 동기화되는 과정을 최소화함으로써 확산 대역 신호의 평균 대비 피크 전력비를 줄이는 방식(peak reduction)을 취하고 있다. 이는 신호의 평균 신호 대비 실제 출력 신호의 확률 발생 빈도(CCDF: Complementary Cumulative Distribution Function)와도 관계가 있다^[21]. 신호의 피크 전력 감소는 전력 증폭기 동작에 있어 일종의 back-off 효과를 얻을 수 있으며, 전력 증폭기의 소형화에 기여할 수도 있다. 이를 통해 전력 증폭기의 효율과 선형성의 증대라는

효과를 얻을 수 있는데, 이 방법은 회로 설계 기법과는 관계가 없으나 기저국 전력 증폭기의 선형성을 증대하기 위한 방법 중 하나로 많은 연구가 되어지고 있다.

3-2 피드포워드 선형화 방식

피드포워드(feedforward) 방식은 선형화 하고자 하는 증폭기의 출력에서 추출되어진 반송파와 혼변조 왜곡 신호 중에서 반송파를 제거하고 혼변조 왜곡 신호만을 추출하여 다시 증폭기의 출력 단에서 역 위상으로 결합시킴으로써 C/I 비(Carrier to Intermodulation)를 개선시키는 방식이다. 이 방식은 여타 방식에 비해 개선 효과는 뛰어나지만 큰 용적과 용량을 필요로 하며 회로가 복잡하고 시간 보상용 지연 선로(delay line)에 의한 출력 전력의 감소가 발생하는 단점이 있다^[22].

[그림 7]은 피드포워드 선형화 방식의 블록도를 나타낸다. 두 개의 루프(loop)로 이루어진 피드포워드 선형화기는 각 루프에서의 신호 이득 정합과 역 위상 정합이 반송파 신호 및 혼변조 왜곡 신호 제거 특성을 좌우한다. 또한 반송파 신호가 대역폭을 가질 경우 전 대역에서의 선형화 개선 특성을 가지려면 각 경로간의 전파 지연 시간의 정합이 아울러 요구된다. 일반적으로 전력 증폭기는 동작 주파수, 온도, 전압, 입력 전력 레벨 및 기타 환경 조건에 따라 전



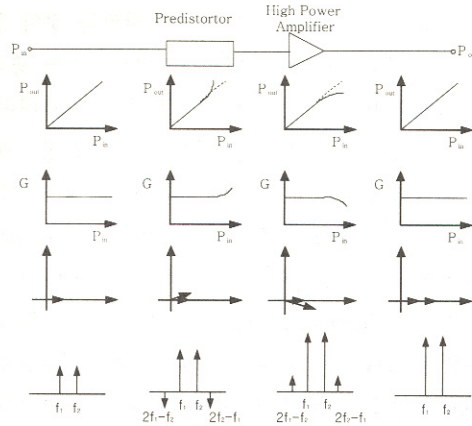
[그림 7] 피드포워드 선형화기의 블록도

기적 특성이 달라지므로 이득과 위상의 제어가 지속적으로 이루어져야 하는데 이를 효과적으로 수행하기 위한 여러 가지 방법 등이 논문 및 특허로 발표되고 있는데 일반적으로 pilot 톤을 사용하며 그 pilot 톤들을 인가하는 방법들이 주로 언급되고 있다^{[23],[24]}. 이러한 pilot 톤을 사용하지 않고 순수하게 아날로그 회로에 의한 제어로 선형화 효과를 얻는 방법도 소개되고 있다^[25].

3-3 전치왜곡 선형화 방식

전치왜곡(predistortion) 선형화 방식은 증폭기의 이득 및 출력 신호 위상의 왜곡 특성과 반대가 되는 역왜곡 특성 전치 왜곡기를 증폭기 앞에 부차함으로써 혼변조 왜곡 특성을 개선시키는 방식이다. 이 방식은 저전력 소자로 구현이 가능하고 전체 선형화기가 소형, 경량이나 비선형 개선 특성이 피드포워드 방식에 비해 작다는 단점이 있다. [그림 8]은 전치왜곡 선형화 방식의 블록도이다.

전치왜곡 선형화 방식을 세분하여 살펴보면 전력 증폭기의 전달 함수를 분석하여 그 역의 전달 함수를 전치왜곡기로 구현하는 방법이 있고^{[26],[27]}, 동작 주파수 대역 혼변조 신호를 만들어 인가하거나^[28],



[그림 8] 전치왜곡 선형화기의 블록도

저주파 대역의 하거나^[29], 하폭기의 비선형 있다. 또한 압호를 추출하여진폭 변조를 다^{[31],[32]}. 이라 처리하여 RF 있다.

전치왜곡 전달 함수를 방법 이외의 만 선형화 효서는 선형화 치왜곡 회로 것이 일반적

3-4 부캐환

부캐환(neg 왜곡 신호들서 혼변조 왜단에 인가하키거나^[33], 출으로 보내어 점은 부캐환 캐환의 긴 지 대역 주파수 캐환이 아닌 의 가능성을 환 선형화 방 보이고 있다

3-5 디지털

디지털 전으로 놀랄만

저주파 대역의 2차 혼변조 왜곡 신호를 만들어 인가하거나^[29], 하모닉 신호의 인가를 통하여^[30] 전력 증폭기의 비선형 성분을 제거하는 방법들이 소개되고 있다. 또한 입력 신호로부터 저주파 2차 혼변조 신호를 추출하여 이 정보로 입력 신호의 위상 변조나 진폭 변조를 하여 선형화하는 방법들도 소개되고 있다^{[31],[32]}. 이러한 전치왜곡을 중간 주파수 대역에서 처리하여 RF 대역의 전력 증폭기를 선형화 할 수도 있다.

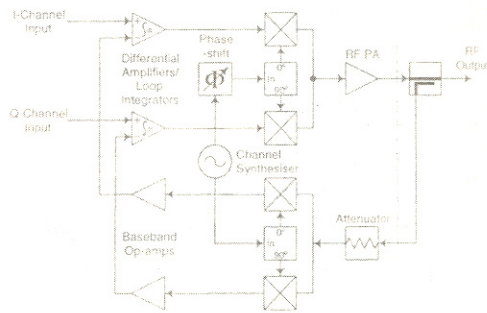
전치왜곡 선형화 방식 중에서 입력 신호에 따른 전달 함수를 분석하여 역왜곡 전달 함수를 제공하는 방법 이외의 다른 방법은 특정 전력 레벨 근처에서만 선형화 효과가 좋게 나타나고, 다른 신호 레벨에서는 선형화 효과가 떨어지는 것이 일반적이므로 전치왜곡 회로에 대한 지속적인 제어를 필요로 하는 것이 일반적이다.

3.4 부궤환 선형화 방식

부궤환(negative feedback) 방식은 반송파와 혼변조 왜곡 신호들이 함께 있는 전력 증폭기의 출력 단에서 혼변조 왜곡 신호만을 추출하여 증폭기의 입력단에 인가하여 전력 증폭기의 비선형 성분을 감소시키거나^[33], 출력 신호의 포락선 정보 등을 기저 대역으로 보내어 선형화 하는 방식이다^[34]. 이 방식의 단점은 부궤환에 의해 전체 증폭 이득이 감소하고, 부궤환의 긴 지연 시간으로 역위상 편이값 유지가 협대역 주파수에서만 가능하며, 특정 주파수에서는 부궤환이 아닌 정궤환(positive feedback)으로 인한 발진의 가능성을 가지고 있다는 점이다. [그림 9]는 부궤환 선형화 방식을 이용한 직교 루프 송신기 구조를 보이고 있다.

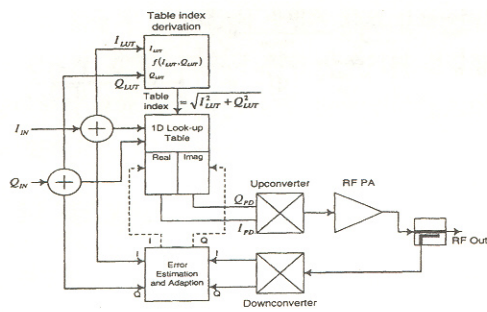
3.5 디지털 전치왜곡 선형화 방식

디지털 전치왜곡 선형화 방식은 DSP 기술의 발전으로 놀랄만한 능력을 발휘하고 있는 선형화 방식이



[그림 9] 부궤환 선형화 방식을 이용한 직교 루프 송신기

다. 신호 처리를 하는 대역이 기저 대역, 중간 주파수 대역, RF 주파수 대역이냐에 따라 여러 종류로 나눌 수 있으나 현재 연구의 주류를 이루는 것은 기저 대역을 신호 처리하여 선형화 하는 것이 주류를 이루고 있다. 이는 RF 대역의 부품 가격의 변화가 미약한 반면 기저 대역의 부품 가격의 급격한 하락 경향과 무관하지 않다. 전력 증폭기의 출력 단의 신호들을 일부 추출하여 다시 기저 대역으로 낮추어 동위상 신호(I) 성분과 직교위상 신호(Q) 성분을 추출하여 원래 입력되었던 신호 성분들과 비교하여 전력 증폭기에서 발생하는 왜곡이 최소화되게 하는 방식이다. 이 때 주의가 필요한 것은 첫째로 전력 증폭기의 출력 신호를 복조하여 기저 대역으로 변환할 때 전력 증폭기의 출력 신호 정보들이 복조 과정에서 변화되지 않아야 한다는 것이다. 만약 복조 과정에서 선형성 확보가 충분하지 않다면 기저 대역에서 신호 처리가 잘못된 정보를 가지고 이루어질 수 있다는 점이다. 둘째로 일종의 부궤환 과정이 충분히 빨리 일어나야 하며 DSP 처리 시간이 충분히 짧아야 한다는 점이다. 이는 대역폭의 문제와 이동통신 기지국의 출력 레벨 제어 시간과 연결되는 점이다. 현재 대역폭이 넓은 A/D 및 D/A 컨버터와 빠른 속도의 DSP, 그리고 DSP를 효과적으로 제어할 수 있는 알고리즘 개발이 많은 관심의 대상이다^[35]. [그림

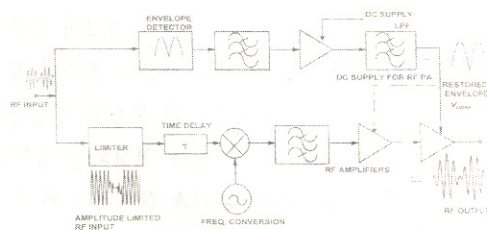


[그림 10] 고정 이득 디지털 전치왜곡 증폭기

10]은 고정 이득을 얻고자 하는 디지털 전치왜곡 증폭기의 블록도이다.

3-6 포락선 제거 및 복원 방식

칸(Kahn)에 의하여 제시된 포락선 제거 및 복원 방식(Envelope Elimination and Restoration: EER) 방법은 매우 효율적이지만 비선형적인 RF 증폭기를 매우 효율적인 포락선(envelope) 증폭기와 결합하여 매우 효율적이면서 선형성이 탁월한 RF 전력 증폭기를 구현하고자 하는 방법이다^[36]. [그림 11]은 그 블록도를 나타내고 있다. 리미터는 어느 신호 레벨 이상의 포락선 정보를 제거하여 일정 진폭을 갖는 위상 변조된 신호들을 만들며 이 신호들이 C, D, E 또는 F급의 RF 증폭기에 의하여 증폭된다. 증폭된 신호들의 진폭 변조는 최종 전력 증폭기의 바이어스가 포락선 정보에 의하여 인가됨으로 얻어진다. 기존의 선형적인 증폭기와는 달리 포락선 제거 및 복원 방



[그림 11] 포락선 제거 및 복원 방식의 블록도

식은 넓은 동작 전력 범위에서 높은 효율을 제시하며 훌륭한 선형성을 제시하는 것으로 알려졌다. 이때 선형성은 RF 트랜지스터의 특성 보다는 주로 변조 방식에 의존한다는 것이 기존의 선형화 방식과 차별이 된다. 이때 선형성에 영향을 미치는 요소는 포락선의 대역폭, 포락선과 위상 변조간의 시간 정합이다. 포락선의 대역폭은 RF 대역폭보다 2배는 넓어야 하며, 포락선과 위상 변조간의 부정합은 RF 대역폭의 역수에 대해 1/10을 초과하지 않아야 된다^[37].

IV. 결 론

언제 어디서나 누구에게든지 통신을 하고 싶은 희망은 이동통신 기술의 발전으로 현실화 되어가고 있다. 이동통신의 한 축인 기지국의 전력 증폭기인 설계 기술의 동향을 살펴보았는데, 고효율이라는 특수성으로 다른 증폭기 달리 특히 효율 개선과 선형성 확보 측면에 주로 살펴보았다. 주로 현재 많이 사용되고 있는 기술도 있는 반면, 어떤 기술은 논문으로만 발표되고 실제로 잘 적용되지 않는 경우도 많이 있는데 이것은 기술의 재연성과 안정성적인 측면에서 바라보아야 한다고 판단된다. 향후 많은 연구가 필요한 기술도 있는데 기지국 전력 증폭기 설계 기술은 더 넓은 대역폭을 가지면서 더 좋은 효율과 선형성 확보라는 측면은 변하지 않는 이슈라고 판단된다. 또한 이제는 기지국의 전력 증폭기를 설계 기술이 디지털 신호처리 기술과 많이 결합 되어가는 진화 추세를 생각할 때 RF 설계인력의 연구 관심 분야가 디지털 기술분야로 더 넓어져야 한다는 사실이다.

참 고 문 헌

[1] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, IEEE Press, pp. 197- 294,

1966.
 [2] F. H. Raab, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [3] Steve C. Cripps, *Power Amplifiers for RF Communications*, Artech House, 1999.
 [4] F. H. Raab, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [5] Mihai Alb, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [6] J. Staudinger, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [7] D. R. Anderson, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [8] Masaya Iwamoto, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [9] Yu Zhao, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [10] Jeonghyeon Kim, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.
 [11] F. R. Yan, "Efficiency of Class-B and Class-C Power Amplifiers", *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 123-132, 1980.

- IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 9, no. 11, pp. 372-374, Nov. 1998.
- [12] C. Y. Chang, V. Radstic, Y. Qian and T. Itoh, "High Efficiency Power Amplifier with Novel EBG Ground Plane for Harmonic Tuning", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 807-810, 1999.
- F. K. Yang, Y. Qian and T. Itoh, "A Novel Uniplanar Compact PBC Structure for Filter and Mixer Applications", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 919-922, 1999.
- [14] F. K. Yang, K. F. Ma, Y. Qian and T. Itoh, "A Uniplanar Compact Photonic-Bandgap (UC-PBG) Structure and Its Applications for Microwave Circuits", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 47, no. 8, pp. 1309-1314, Aug. 1999.
- [15] C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn and J. B. Lim, "A Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 4, pp. 131-133, Apr. 2000.
- [16] C. S. Kim, J. S. Lim, J. S. Park, D. Ahn and S. W. Nam, "A 10 dB Branch Line Coupler Using Defected Ground Structure", *European Microwave Conference Digest*, pp. 66-71, 2000.
- [17] J. S. Yoo, G. Y. Kim, J. S. Park, D. Ahn, J. Y. Kang and J. B. Lim, "A Design of the Novel Coupled-Line Bandpass Filter Using Defected Ground Structure", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 329-330, 2000.
- [18] J. S. Lim, H. S. Kim, J. H. Park, D. Ahn and S. W. Nam, "A Power Amplifier with Efficiency Improved Using Defected Ground Structure", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 4, pp. 170-172, Apr. 2001.
- [19] 임종희, 정승희, 홍희갑, 조영환, 이종희, 안성
- 1965.
- [2] F. H. Raab, "Average efficiency of Power Amplifiers", *Proc. RF Technology Expo*, pp. 474-485, 1986.
- [3] Steve C.ripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Artech House, 1999.
- [4] F. H. Raab, D. J. Rugs, "HF power Amplifier operated in both class B and Class D", *Proc. RF Expo West*, pp. 114-124.
- [5] Mital Abulett, *RF Power Amplifier*, Noble Publishing, 2001.
- [6] J. Staudinger, B. Hladik, D. Newman, G. Norris, G. Sadownick and B. Sherman, "High Efficiency CDMA RF Power Amplifier Using Dynamic Envelope Tracking Technique", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 875-876, Jun. 2000.
- [7] D. R. Anderson, W. H. Carroll, "High-efficiency inductor-coupled high-level modulator", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1509-1512, May 2001.
- [8] Masaya Iwamoto, Arcealy Williams, Pin-Fan Chen, Andre G. Metzger, Lawrence E. Larson and Peter M. Asbeck, "An Excited-Doherty Amplifier With High Efficiency Over a Wide Power Range", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 12, Dec. 2001.
- [9] Yu Zhao, Masaya Iwamoto, Lawrence E. Larson and Peter M. Asbeck, "Doherty Amplifier with DSP Control to Improve Performance in CDMA Operation", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 687-690, Jun. 2002.
- [10] Jonghyeon Cho, Youngoo Yang, Bonghee Shin and Bumman Kim, "An Adaptive Bias Controlled Power Amplifier with a Load Modulate Combining Scheme for High Efficiency and Linearity", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 81-84, Jun. 2003.
- [11] F. R. Yang, Y. Qian, R. Corradi and T. Itoh, "A Novel Low-Loss Slow Wave Microstrip Structure",

- 남상욱, "결합 접지 구조를 이용하여 소형화한 증폭기의 개선된 전력 성능", 한국전자과학회 논문지 13(8), pp. 754-763, 2002년 9월.
- [20] Yong-Chae Jeong, Si-Gyun Jeong, Jong-Sik Lim and Sangwook Nam, "Power Amplifier Design using $\lambda/4$ DGS (Defected Ground Structure) Bias Line", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, to be published in 2003.
- [21] *HP ESG Family Signal Generators Option UND Dual Arbitrary Waveform Generator*, Agilent User's and Programming Guide.
- [22] Nick Pothecary, *Feedforward Linear Power Amplifiers*, Artech House, 1999.
- [23] Derek L. Tattersall, "Feed Forward Amplifier Network with Frequency Swept Pilot Tone", *US Patent*, no. 5130663, 1992.
- [24] Shoichi Narahashi, Toshio Nojima and Makoto Maeta, "Feed-Forward Amplifier", *US Patent*, no. 5166634, 1993.
- [25] Yong-Chae Jeong, Young-Jean Song, In-Ju Oh and Chul-Dong Kim, "A Novel Adaptive Feedforward Amplifier Using an Analog Controller", *Microwave Journal*, vol. 46, no. 4, pp. 76-85, Apr. 2003.
- [26] C. Haskins, et al., "FET diode linearizer optimization for amplifier predistortion in digital radio", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 21-23, Jan. 2000.
- [27] Yong-Chae Jeong, Sang-Young Yun, "Design of a Predistortive High Power Amplifier using Carrier Complex Power Series Analysis", *Microwave Journal*, vol. 45, no. 4, pp. 92-102, Apr. 2002.
- [28] Gyujae Seo, Jeongho Kim, Yonbchae Jeong and Chul. D. Kim, "A Design of Predistortion HPA using Frequency Up-Conversion Mixing Operation", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 2221-2224, Jun. 2003.
- [29] Young Kim, Hyung Soon Jang, Sung Uk Kim, Ik Soo Chang and Yong Chae Jeong, "A New Predistortor Using Low Frequency Intermodulation Signals Injection of a Harmonic Generator", *IEICE Transaction on Electronics*, vol. E-86-C, no. 8, Aug. 2003.
- [30] 박재완, 박경석, 정형태, 김철동, 장익수, "Harmonic Injection 선형화 방식의 2차 IM 영향에 관한 연구", 마이크로파 및 전파통신 학술대회 논문집, 26(1), pp. 303-306, 2003년 5월.
- [31] Sang-Won Kim, Hyeong-Tae Jeong, Chul D. Kim and Ik-Soo Chang, "New Predistortion Method Using Phase Modulation with Envelope Signal", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1339-1342, Jun. 2003.
- [32] 이효아, 이철환, 정용채, 김영, 김철동, "2차 저주파 혼변조 신호 주입을 이용한 전치왜곡 선형화기 설계", 한국전자과학회논문지, 14(9), pp. 969-975, 2003년 9월.
- [33] Youngsik Kim, Youngoo Yang, Sanghoon Kang, and Bumman Kim, "Linearization of 1.85 GHz Amplifier Using Feedback Predistortion Loop", *IEEE MTT-S Digest*, Jun. 1998.
- [34] R. Sperlich, J. A. Sills and J. Stevenson Kennedy, "Closed-Loop Digital Pre-Distortion for Power Amplifier using Genetic Algorithms", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 347-350, Jun. 2003.
- [35] P. B. Kenington, M. Cope, R. M. Bennett and J. Bishop, "A GSM-EDGE High Power Amplifier utilising Digital Linearisation", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1517-1520, May 2001.
- [36] Bernard E. Sigmon, "A Kahn Technique Transmitter", *IEEE MTT-S Workshop Handbook*, Jun. 1998.
- [37] F. H. Raab, "Intermodulation distortion in Kahn-

≡ 필자소개 ≡

정 용 채



1989년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)

1991년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1996년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1991년 2월 1998년 2월: 삼성전자 정보통신사업본부 선임연구원

1998년 3월~2000년 3월: 전북대학교 전자정보공학부 전임강사

2000년 4월~현재: 전북대학교 전자정보공학부 조교수, 정보통신 연구센터 참여교수 및 IDEC WG 책임교수

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, 전력 증폭기 선형화기 설계, 전송선로 주기구조 해석