

FTS 방식이 전력증폭기의 성능에 미치는 영향

강상기*

Effects of the Method of FTSs on the Performance of HPAs

Sanggee Kang*

요 약

다양하고 많은 발사체를 효과적으로 운영하기 위해서 우리의 실정에 맞는 차세대 FTS(Flight Termination System)를 선정해서 개발할 필요가 있다. 차세대 FTS 방식으로는 Standard 톤, Secure 톤, MHA(Modified High Alphabet), EFTS(Enhanced FTS) 그리고 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)가 검토되고 있다. FTS는 사용 목적 때문에 우수한 성능과 높은 신뢰성을 필요로 하며, 소요 수량이 적은 반면에 가격은 고가이다. 때문에 차세대 FTS의 방식을 선정해서 새로운 FTS를 도입하더라도 현재 사용하고 있는 시스템의 주요 구성품의 재사용 가능성 여부도 검토할 필요가 있다. 특히 송신기의 주요 구성품인 전력증폭기는 반드시 재사용 가능성을 검토할 필요가 있다. 신호의 CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)는 신호의 평균전력에 대한 첨두전력의 비를 빈도로 나타낸 것이므로 전력증폭기나 송신기의 성능을 나타낼 때 주로 사용한다. 본 논문에서는 전력증폭기의 재사용 가능성을 검토하는 방법으로 송신신호의 CCDF를 시뮬레이션해서 비교하는 방법을 이용하였다. CCDF 시뮬레이션 결과 Standard 톤의 PEP(Peak Envelop Power)는 0.21dB로 계산되었으며, Secure 톤과 MHA는 송신신호가 Standard 톤과 같기 때문에 동일한 PEP를 갖는다. CPFSK 변조를 이용하는 EFTS의 경우에 PEP는 1.81dB 였으며, BPSK 변조를 이용하는 DSSS의 경우에는 2.6dB로 계산되었다.

Key Words : FTS(Flight Termination System), HPA, Standard tone, Secure tone, MHA(Modified High Alphabet), EFTS(Enhanced FTS), CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)

ABSTRACT

It is necessary to develop the next generation FTS which is suitable for our environment and effectively operates many launch vehicles. Standard tone, Secure tone, MHA, EFTS and DSSS are studied for the next generation FTS. FTS requires a high quality of performance and reliability because of their specific mission. And few FTSs are needed but the price is very expensive. Therefore we must investigate a part of the FTS whether the part can be reused for a part of the next FTS. In this paper, we use CCDF of the transmitted signal from FTS as the method to study a possibility of reusing HPA used in the present system. The simulation results show that PEP of Standard tone is 0.21dB and Secure tone and MHA has the same PEP. CPFSK's PEP is 1.81dB and PEP of DSSS using BPSK modulation is 2.6dB.

I. 서 론

우리나라의 경제력과 국방력이 증가함에 따라서 예전 보다 많은 발사체의 관리가 필요하게 되었다. 이들 발사체가 원래의 목적에 맞게 운용되고, 국민의 안전에 위협을 주지 않을 때에는 문제가 되지 않는다. 하지만 발사체가 원래의 목적과 다르게 사용되거나, 국민의 안전에 문제가 있다고 판단될 때에는 FTS를 동작시킴으로써 안전을 도모한다.

많은 발사체의 관리가 가능하고, 동시에 보안성도 우수한 FTS가 필요함에 따라서 새로운 방식의 FTS에 대한 연구가 이미 시작되었으며, 몇몇 나라에서는 새로운 FTS를 도입해서 운영 중에 있다[1,2]. 우리나라도 앞으로 점점 더 많아질 발사체를 효과적으로 관리하기 위해서 새로운 방식의 FTS의 도입을 검토해볼 필요가 있다. FTS는 사용 목적 때문에 높은 신뢰성과 성능을 필요로 하며, 수요가 많지 않은 반면에 상당히 고가이다. 때문에 새로운 방식의 FTS를 도입하는

* 본 연구는 군산대학교 정보통신기술연구소의 부분적인 지원으로 수행되었음.

*군산대학교 정보통신공학과 무선기술연구실(skkgang@kunsan.ac.kr)

접수일자 : 2013년 1월 10일, 수정완료일자 : 2013년 2월 18일, 최종게재확정일자 : 2013년 2월 25일

경우에도 성능만을 고려할 것이 아니라, 현재의 시스템을 재 사용할 수 있는지 검토해 보는 것도 중요하다. FTS는 크게 지상국에서 운용하는 송신기와 발사체에서 운용하는 수신기로 구성되며, 지상국의 송신기는 기저대역신호처리부, 변조부 및 주파수상향부, 전력증폭기 그리고 안테나로 구성된다. 재사용 측면에서 전력증폭기는 전체 FTS 시스템에서 성능 및 비용에서 차지하는 비중이 크기 때문에 재사용 가능성을 반드시 검토해 볼 필요가 있다. 본 논문에서는 현재 FTS 기술동향을 고려해서 새로운 FTS를 도입하는 경우 FTS의 변조방식이 전력증폭기에 미치는 영향을 검토한다.

II. FTS 방식에 따른 송신기의 구성

현재 사용되고 있는 Standard 톤 방식 이외에 차세대 FTS 방식으로는 Secure 톤, MHA, EFTS 그리고 확산스펙트럼을 고려하고 있다[3,4]. Standard 톤 방식의 송신기의 구성은 (그림 1)과 같다. (그림 1)에서 알 수 있듯이 Standard 톤 방식은 FM 변조된 신호를 송신하며, 3개의 CW 신호를 변조신호로 사용한다. Standard 톤 방식에서는 20개의 톤 신호 중에서 임의의 3개의 톤을 이용해서 정보를 전송하므로 송신 신호에는 3개의 CW 신호가 존재하는 것으로 생각할 수 있으나, 임의의 3개의 톤 신호가 FM 변조신호로 사용되기 때문에 Standard 톤 방식의 출력신호는 하나의 톤 신호로 볼 수 있다. IRIG 톤 신호의 주파수는 <표 1>과 같으며, <표 1>에는 Secure 톤 주파수도 함께 표기하였다.

표 1. 톤 신호의 주파수

톤 번호	IRIG 주파수(kHz)	Secure 주파수(kHz)	톤 번호	IRIG 주파수(kHz)
1	7.50	7.35	11	25.01
2	8.64	8.40	12	28.21
3	9.54	9.45	13	31.83
4	10.76	10.50	14	35.90
5	12.14	11.55	15	40.49
6	13.70	12.60	16	45.68
7	15.45	13.65	17	51.52
8	17.43	15.45	18	58.12
9	19.66	-	19	65.56
10	22.17	-	20	73.95

Secure 톤 방식의 송신기는 (그림 2)와 같이 구성된다. Secure 톤 방식도 Standard 톤 방식과 마찬가지로 FM 변조된 신호를 송신한다. Secure 톤 방식이 Standard 톤 방식과 다른 점은 변조에 사용되는 CW 톤의 전체수가 8개로 Standard 톤보다는 작고 3개의 CW 변조신호 중에서 하나는 파일럿으로 이용된다는 점이다. 더불어 Secure 톤의 명령은 Standtand 톤보다 더 많은 일련의 톤 조합으로 구성된다는

점이 다르다. MHA 방식은 Secure 톤에 one-step 암호화 과정을 추가한 것으로, one-step 암호화를 통해서 어떤 CW를 FM 변조신호로 사용할지 결정하는 FM 변조 데이터를 생성하는 과정만 Secure 톤 방식과 다를 뿐 송신신호의 특성은 Secure 톤과 동일하다. (그림 3)은 EFTS 송신기의 구성도이며, 디지털 변조방식이기 때문에 암호화와 채널코딩이 가능하다. EFTS의 변조방식으로는 여러 가지 방식이 고려되었으나, (그림 3)과 같이 EFTS의 변조 방식으로는 CPFSK로 결정되어 운용되고 있다[1,2]. (그림 4)는 BPSK 변조를 이용한 DSSS 방식의 FTS 송신기의 구조를 보여준다. DSSS 방식이 일반적인 디지털 변조방식과 다른 점은 의사잡음코드를 사용한 확산과정을 거친다는 점이 다르나, 확산과정을 거침으로써 데이터율이 증가한다는 점만 다를 뿐 일반적인 BPSK 변조신호의 특성과는 차이가 없다.

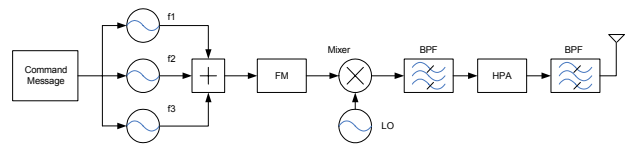


그림 1. Standard 톤 송신기 구조

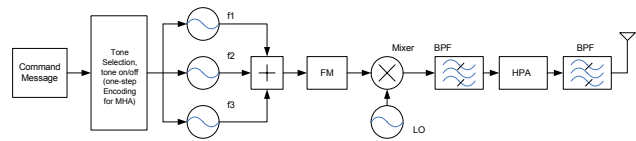


그림 2. Secure 톤과 MHA의 송신기 구조

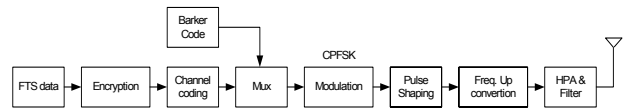


그림 3. EFTS 송신기 구조



그림 4. DSSS 송신기 구조

III. 송신신호의 통계적 특성과 전력증폭기 성능

송신기의 주요 구성요소인 전력증폭기의 재사용 가능성을 검토하는 가장 현실적인 방법은 변조된 신호를 생성해서 송신기의 입력신호로 직접 사용해 보는 것이다. 그러나 실제 변조된 신호를 인가해서 시험하는 방법은 변조기(기저대역신호처리부)의 개발이 이미 완료되어 있어야 가능하나, 송신기의 구조를 변경하고자 하는 경우에는 그렇지 않은 경우가 대부분이다.

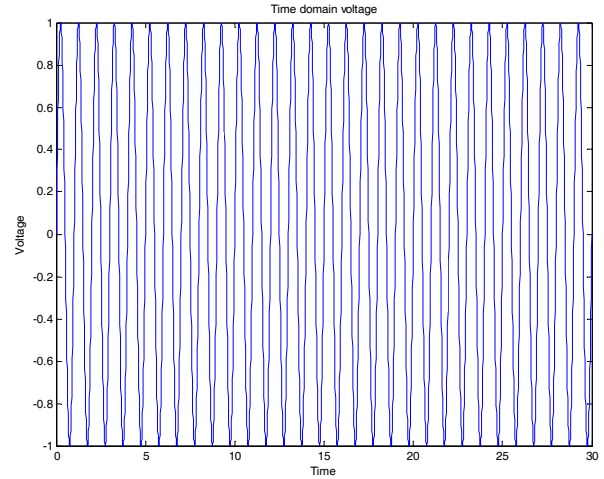
실제 변조신호를 사용하는 방법과 더불어 전력증폭기의 성능에 미치는 영향을 확인하는 효과적인 방법으로는 변조

신호의 통계적인 특성을 파악하는 방법이 있으며, 일반적으로 새로운 통신시스템을 설계할 때 가장 많이 사용하는 방법 중에 하나이다. 변조신호의 통계적인 특성은 신호의 CCDF를 이용해서 확인할 수 있다. 신호의 CCDF는 신호의 평균전력에 대한 첨두전력의 비가 어떤 빈도로 발생되는지 알려준다. 따라서 두 신호의 CCDF를 비교해 보면 어떤 신호가 전력증폭기에 더 악영향을 주는지 확인할 수 있다. 예를 들어 동일한 평균전력을 갖는 경우에도 첨두전력이 크고, 첨두전력의 발생 빈도가 많으면, 신호가 왜곡될 확률이 많다. 따라서 동일한 평균전력을 갖더라도 신호의 첨두전력 발생빈도가 큰 경우에는 전력증폭기의 출력 전력을 낮추거나 출력전력이 큰 전력증폭기를 사용해야 신호의 왜곡을 줄일 수 있다. 때문에 일반적으로 송신기의 구조가 전력증폭기 특성에 미치는 영향은 전력증폭기에 인가되는 신호의 통계적인 특성인 신호의 CCDF를 비교함으로써 전력증폭기에 어떤 영향을 미치는지 알 수 있다.

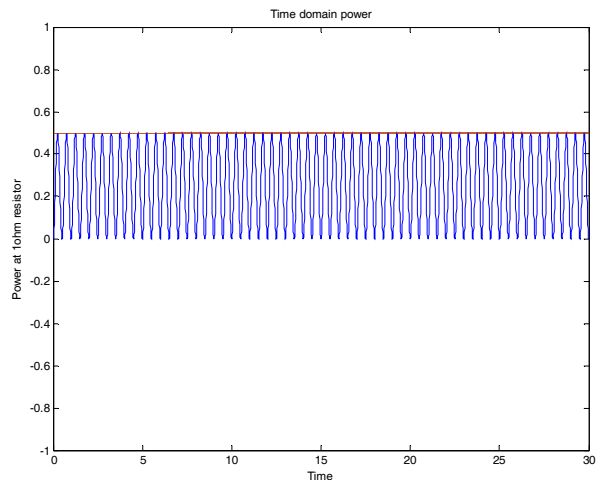
(그림 5)는 주파수가 서로 다른 CW 신호를 다양하게 합성하는 경우, 이 합성 신호에 대한 CCDF와 시간영역에서 전압, 순시전력 그리고 순시전력 포락선의 평균을 시뮬레이션한 결과를 보여준다. 당연한 결과이겠지만 합성되는 CW 신호의 수가 많을수록 PEP(Peak Envelop Power)는 증가하고, 합성신호가 PEP 값을 가질 확률은 감소한다. (그림 5)의 (a)와 같이 크기가 1V인 CW 신호는 (b)에서 알 수 있는 것처럼 순시전력의 포락선에 변화가 없기 때문에 PEP는 1이며, (d)와 같이 2개의 CW 신호가 합성되는 경우 순시전력의 최대값은 2W이며, 순시전력의 포락선의 평균은 1W가 되므로 PEP는 2가 됨을 알 수 있다. 더불어 (그림 5)의 (d)와 (f)에서는 포락선의 최대값이 존재하는 시간은 (d)보다 (f)가 작음을 알 수 있다. 만약 10개의 CW 신호가 합성된다면, 이 경우 PEP는 10이 됨을 예측할 수 있다. 그러나 10개의 CW가 동 위상이 될 때 최대 PEP가 되고, PEP가 10이 되는 빈도는 지극히 낮음을 예측할 수 있다. (그림 6)의 시뮬레이션 결과로부터 2개, 3개, 4개 및 8개의 CW 톤이 조합된 경우, 각각의 경우에 PEP가 3dB, 4.7dB, 6dB, 9dB가 될 확률은 대략 0.1%임을 알 수 있다. 대부분의 경우 임의의 변조신호에 대한 PEP를 알고 있으나, 실제 변조신호를 생성할 수 없는 경우에는 CW 톤의 합성신호로 송신기의 특성을 시험하는 방법을 사용한다. 더불어 CW 톤에 대한 송신기의 특성은 객관적인 시험방법을 제공하는 이점이 있기 때문에 (그림 6)의 시뮬레이션 결과는 전력증폭기를 포함한 송신기의 시험에 유용하게 이용될 수 있다.

<표 1>의 톤 신호들 중에서 합성되는 톤의 수가 2, 3개 등으로 다양하게 합성되어 출력으로 나타나는 경우에는 합성되는 톤의 수에 따라서 출력 신호의 CCDF는 다르게 나타난다. 하지만 임의의 3개의 톤이 FM 변조신호로 인가되고, FM변조된 신호가 출력되는 경우에는 변조신호의 톤 주파수와는 무관한 CCDF 특성을 갖는다. 따라서 Standard 톤 방

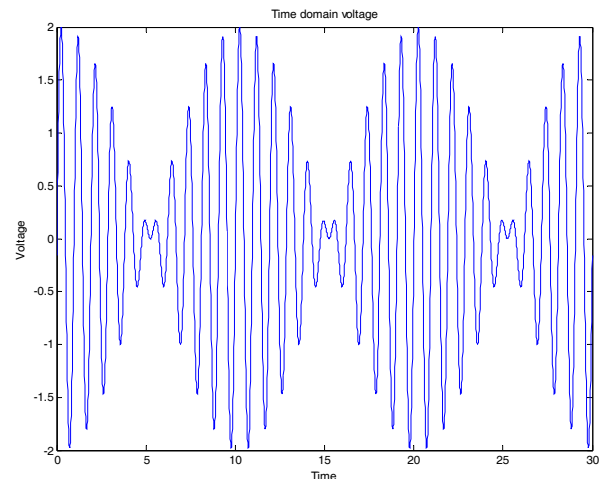
식의 송신신호에 대한 CCDF를 계산하고, 이를 기준으로 나머지 차세대 FTS 방식의 송신신호에 대한 CCDF를 계산해서 비교해 봄으로써 이전에 사용한 전력증폭기를 사용해도 문제가 없는지 확인할 수 있다.



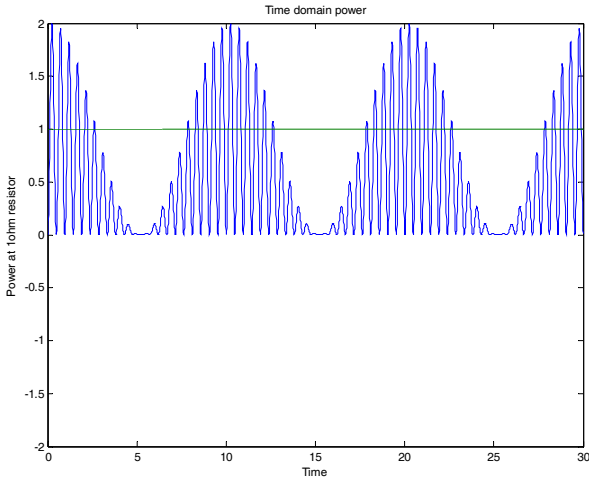
(a) CW 1개의 전압파형



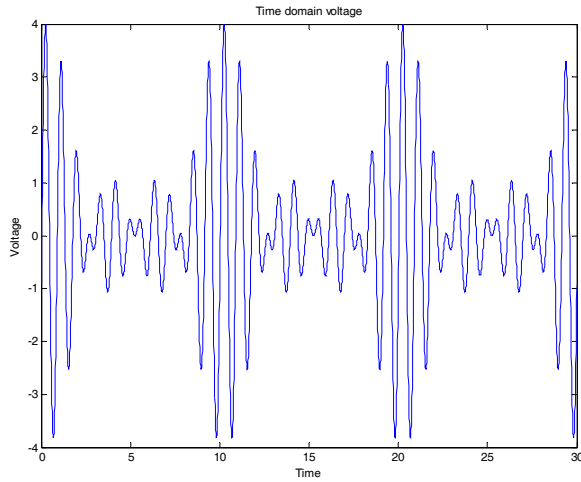
(b) CW 1개의 순시전력과 포락선의 평균



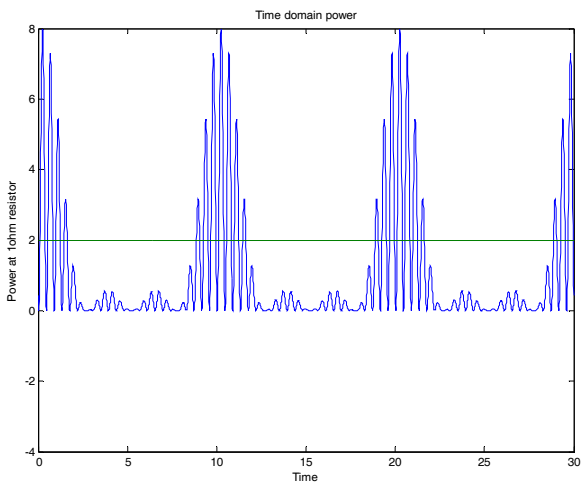
(c) CW 2개를 합성한 신호의 전압파형



(d) CW 2개를 합성한 신호의 순시전력과 포락선의 평균



(e) CW 4개를 합성한 신호의 전압파형



(f) CW 4개를 합성한 신호의 순시전력과 포락선의 평균

그림 5. CW 톤을 합성한 신호에 대한 전압과 전력

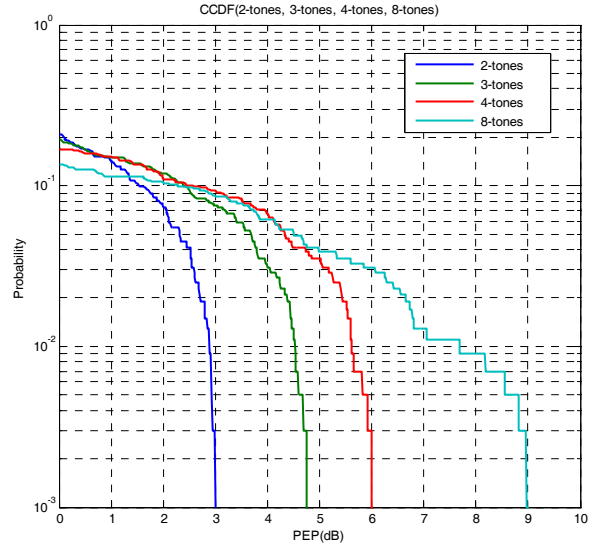


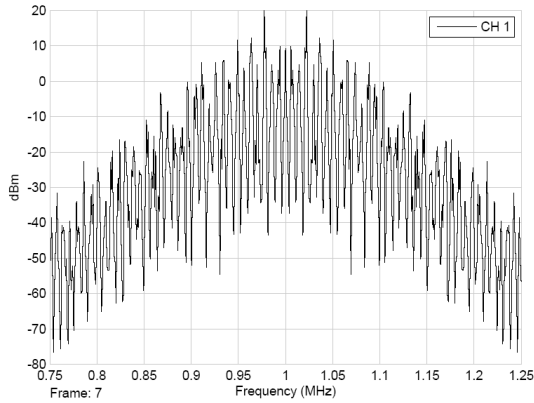
그림 6. 톤 신호에 대한 CCDF

Standard 톤 신호의 출력 스펙트럼과 CCDF를 시뮬레이션한 결과는 (그림 7)과 같다. (그림 7)의 FMCW는 주파수가 각각 7.5kHz, 35.9kHz 그리고 73.95kHz인 3개의 CW를 이용해서 FM 변조한 결과이다. (그림 7)의 (b)의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 Standard 톤의 출력신호는 평균전력대 침투전력의 비가 대략 0.21dB로 아주 작다. 때문에 Standard 톤의 출력인 FMCW는 CW 신호와 마찬가지로 거의 등포락선을 갖는 신호임을 알 수 있다. Secure 톤과 MHA는 변조 신호의 주파수만 다를 뿐 출력신호는 Standard 톤과 동일하게 3개의 CW를 이용해서 FM 변조한 신호를 송신하기 때문에 출력신호의 통계적인 특성은 모두 Standard 톤과 동일하다.

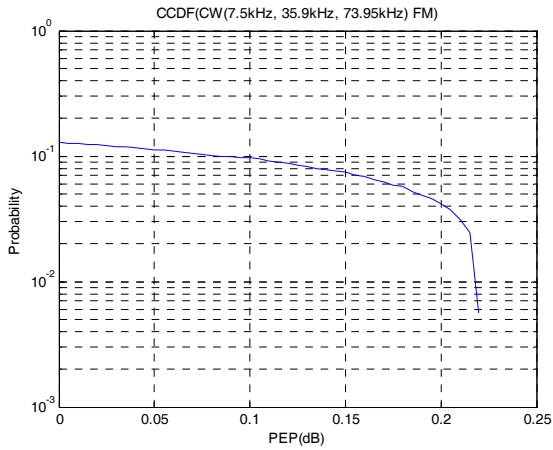
Standard 톤과 같은 톤 방식의 FTS는 FM 변조시 주파수 편이가 $\pm 30\text{kHz}$ 로 정해져 있기 때문에 송신신호의 대역폭은 거의 결정되어 있다. 반면에 CPFSK의 대역폭은 펄스성형 (pulse shaping) 필터의 변조지수와 roll-off에 의해서 영향을 받는다. (그림 8)에는 변조지수에 따라서 CPFSK의 스펙트럼이 어떻게 변화되는지 나타내었다. (그림 8)로부터 변조지수를 달리함으로써 CPFSK의 대역폭 조절이 가능하며, 변조지수가 클수록 신호의 대역폭이 증가함을 알 수 있다. [5]에서는 성능이 최적인 변조지수를 0.65, IF 대역통과필터는 데이터율의 1.6 - 1.8배 및 수신기 필터의 대역폭은 데이터율의 2배로 기술하고 있으며, 본 논문에서도 [5]의 파라미터를 이용해서 CCDF를 시뮬레이션하였다.

(그림 9)는 펄스성형 필터의 roll-off가 0.5이고, 변조지수가 0.65인 CPFSK 신호의 출력 스펙트럼과 CCDF를 시뮬레이션한 결과이다. (그림 9)에서 CPFSK의 PEP가 1.85dB일 확률은 0.1%임을 알 수 있다. (그림 10)은 BPSK 변조를 이용한 DSSS의 CCDF를 시뮬레이션한 결과이다. BPSK의 경우 PEP가 2.6dB일 확률은 0.1%이며, 이 값은 Standard 톤보다 2.4dB 더 큰 값이다.

따라서 차세대 FTS 방식들이 동일한 전력증폭기를 사용하는 경우, 전력증폭기의 출력신호의 전기적인 특성이 같으려면 CCDF 시뮬레이션 결과와 같이 어떤 FTS는 전력증폭기의 송신전력을 낮추어 주어야 한다. 동일한 전력증폭기를 사용한다면 EFTS의 경우 Standard 톤 보다 약 1.64dB, BPSK 변조 확산스펙트럼 보다 2.4dB 출력전력이 낮아야 Standard 톤과 유사한 왜곡 특성을 갖는다.

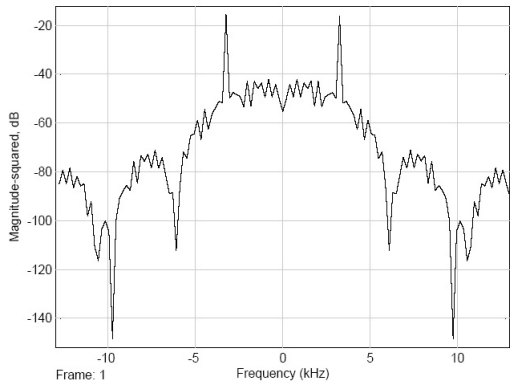


(a) FMCW 신호의 스펙트럼

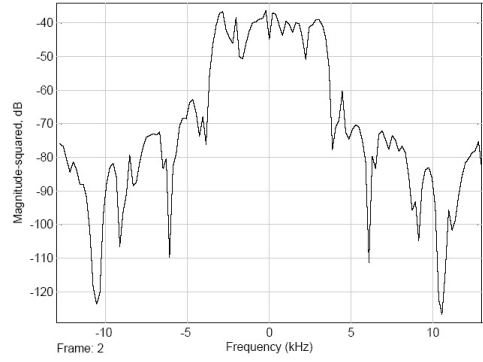


(b) FMCW 신호의 CCDF

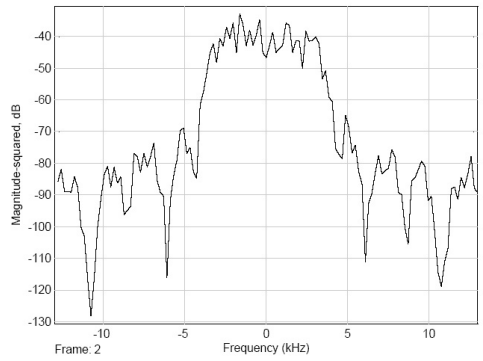
그림 7. FMCW 신호의 스펙트럼과 CCDF



(a) Modulation index = 1



(b) Modulation index = 0.8



(c) Modulation index = 0.65

그림 8. 변조지수에 따른 CPFSK의 스펙트럼

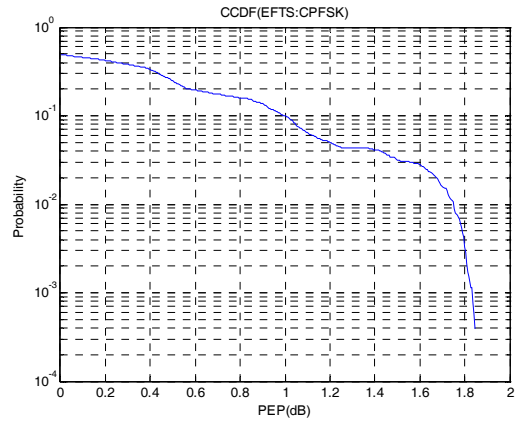


그림 9. CPFSK의 CCDF

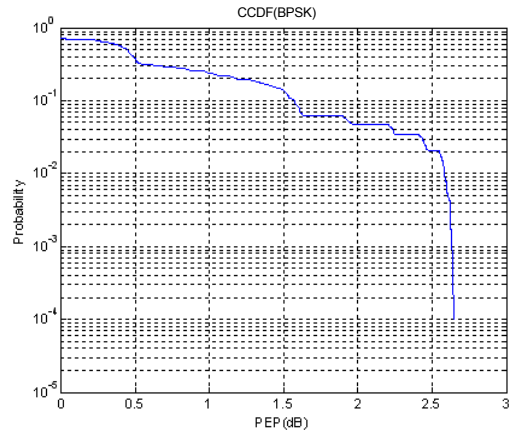


그림 10. BPSK 변조방식의 확산스펙트럼의 CCDF

IV. 결 론

본 논문에서는 전력증폭기의 재사용 가능성을 검토하는 방법으로 송신신호의 CCDF를 이용하였다. Standard 톤, Secure 톤 그리고 MHA의 송신신호는 모두 동일한 특성을 가지며, CCDF 시뮬레이션 결과 0.21dB의 PEP를 갖는 것으로 계산되었다. 반면에 CPFSK는 1.85dB, BPSK 변조 DSSS는 2.6dB의 PEP를 갖는다. 송신신호의 PEP가 크면 그 만큼 큰 출력을 갖는 전력증폭기를 사용하거나, 기존의 전력증폭기의 출력을 그 만큼 낮춰서 사용해야 한다. 본 논문의 결과는 전력증폭기를 재사용을 검토에 유용한 자료로 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] RCC RS-38, Enhanced Flight Termination System Study Phase I-IV Reports, Nov. 2002.
- [2] Jeff S. Vetter and Travis Cribbet, "The Design and Development of the Prototype Enhanced Flight Termination System," -, 2002.
- [3] 황수철, 임유철, 이재득, 이재덕, "외국발사체의 FTS (flight termination system) 명령방식 검토", 통신위성우주산업회논문지, 제32권 6호, pp. 148-152, 2004.
- [4] 배영조, 오창열, 이효근, "미국의 차세대 비행종단시스템 표준화 동향", 항공우주산업기술동향, 제8권 제1호, pp.86-95, 2010.
- [5] RCC 119-06, Telemetry Applications Handbook, May 2006.
- [6] RCC 120-09, Telemetry Systems Radio Frequency Handbook, March 2008.
- [7] RCC 313-01, Test Standard for Flight Termination Receiver/Decoder, 2001.
- [8] Kanchan Mishra, CPFSK Demodulation Techniques, Indian Institute of Technology, Guwahati, May 2007.

저자

강 상 기(Sanggee Kang)



- 1988년 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 - 1989년 : 삼성반도체통신
 - 1989년 ~ 1992년 : 해군통신장교
 - 1994년 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 - 2004년 : 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
 - 1994년 ~ 2005년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 - 2006년 ~ 2008년 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
 - 2005년 ~ 현재 : 군산대학교 정보통신공학과 부교수
- <관심분야> : RF, M/W 부품 및 시스템