

FM-CW파를 이용한 탱크 모니터링 시스템에 관한 연구

강 동 균* · 박 규 식** · 김 동 일**

A Study on the Tank Monitoring System Using FM-CW

Dong-Kyun Kang · Kyu-Sik Park** · Dong Il Kim***

< 목 차 >

Abstract

I. 서론

II. FM-CW 거리측이론

III. 시스템의 개요 및 구조

1. 센서부설계

2. 신호처리 및 모니터링 설계

3. SOFTWARE 설계

IV. 결 론

참고문헌

Abstract

Recently, the ship automation technology(SAT) has received great attention for the efficient management of the ship with minimum human efforts. Among the SAT, a distance measuring system, the key element is the signal processing unit for the interpretation of the received signal from the remote sensing of the oil tank.

In this paper, the tank monitoring system using FM-CW is described for the oil tank level gauge measurement with an emphasis of signal processing unit.

I. 서 론

인류는 오래전부터 합리적인 계량방법을 연구 사용해 왔으며, 되 또는 Pint, Gallon 등의 주로 소 규모의 단위부피계량에 만족해 왔던 유체의 계량

은 산업혁명과 20세기초 부터 석유화학산업의 급속한 팽창에 따라 연속 공정의 개념이 도입 되면서 보다 상세한 뜻을 갖는 유동량 또는 적산량등의 물리량으로 표현 하게 되었다.

최근 여러산업분야에서 정밀계측시스템의 연구

* 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정

** 한국해양대학교 이공대학 전파공학과

가 활발이 진행되고 있고, 특히 각종센서 기술중에서도 유조선, LNG, LPG 및 각종화학 & 석유제품의 저장탱크 그리고 원유저장 탱크에 사용되는 거리계측 시스템은 Microwave 기술, 신호처리 및 변환기술등 각종 제어/계측시스템 개발에 근간이 되는 핵심 기술이다. 그럼에도 불구하고 그중에 기존의 탱크내의 거리계측 시스템은 주로 기계식 장치가 주종을 이루고 있는 상태로 탱크내에 내용물의 종류에 따라 부식의 위험성, 탱크의 크기에 따른 설치 부적합성등을 들수있다. 근래에 와서는 초음파를 이용한 계측 시스템이 실용화 되어가는 실정인데, 초음파 시스템은 초음파가 갖는 공기중에서의 심각한 감쇠율과 온도에 따른 속도 문제등 많은 어려움을 안고있다. 반면 마이크로파를 이용한 거리 계측방식은 탱크내 압력, 온도, 혼합가스, 연기 및 화물의 종류에 대해 계측 정밀도가 변화하지 않으며, 국내 기존의 표면 계측 시스템의 문제점들과는 무관하게 시스템을 구현 할수 있고, 액면이 유동적이라 할지라도, 계측 측면에서 장애 요소가 없는 기술로서, 최근들어 해외에서는 FM-CW방식의 제안 및 상용화에 관한 연구들이 활발하게 이루어져 오고 있으며, 이방식의 유용성이 입증되어 있다. 그러나, 국내에서는 이 방식에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 FM-CW방식의 거리계측이론을 사용하여, 신호의 특징을 추출 하고 탱크내의 유량높이를 판단, 표시하는 시스템 개발을 목적으로 한다.(1), (2), (11), (12), (13)

II. FM-CW 거리계측이론

전압조정발진기(VCO)에서는 시간에 따라 주파수가 선형적으로 증가 및 감소하는 송신신호 S(t)를 발생시켜, 안테나를 통하여 공간상으로 나가게 되며, 거리 R 만큼 떨어진 위치에서 물체를 만나면 일부신호가 레이더의 안테나로 되돌아 온다.

이때, 수신된 신호R(t)는 왕복거리 2R에 의한 시간지연($\tau=2R/C$)뒤에 수신된다. 그러므로 그림 1(b)와 같이 송신신호 S(t)와 수신신호 R(t)는 주파수 차이가 나게 된다.

이 두신호를 혼합기(Mixer)에 넣어 그림1(c)과

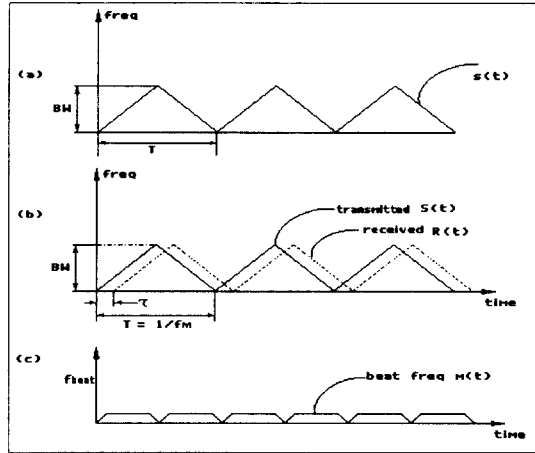


그림 1. FM-CW 송수신 원리

같이 차주파수를 뽑아낸다. 송신신호는 대역 폭을 BW라 하고 Sweep을 위한 삼각파의 주기를 T라고 할때,

단위 시간당 주파수 변화율

$$a = \frac{BW}{T/2} \quad (1)$$

수신신호가 돌아올때까지의 시간(τ)동안

$$F_{beat} = a \tau = \frac{BW}{T/2} \tau \quad (2)$$

$$= \frac{BW}{T/2} \frac{2R}{C} \quad (3)$$

만큼 주파수가 달라져 있다. 이때, 차 주파수는 거리에 비례하므로 송수신 신호를 이용하여 목표물까지의 거리 R을 구할수 있다.(2),(4),(6)

III. 시스템의 개요 및 구조

본 연구에서 구성한 시스템은 크게 센서부, 신호처리부, 모니터링부로서 나뉘며 전반적인 구성은

블록선도로 나타내면 그림 2와 같다.(7)

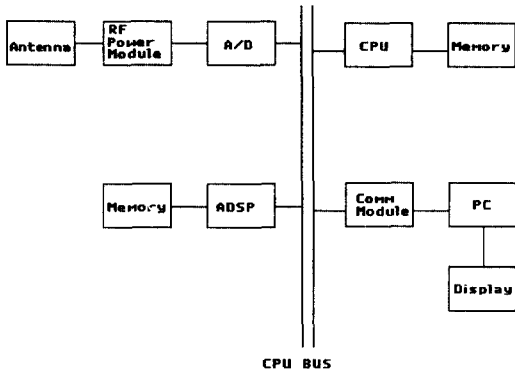


그림 2. 시스템 구성선도

1. 센서부 설계

1) 안테나

안테나는 전송로에서 자유공간으로 전파를 전파(송신), 또는 그 반대(수신)의 기능을 수행하는 역할을 한다. 이러한 기능을 갖는 안테나는 다양한 구조와 모양을 하고 있지만, 통상 탱크내 액면 계측을 위한 안테나로서 주로 지향성 특성이 우수한 Horn 및 Parabola 안테나가 이용되고 있으며, 또한 화학탱크와 같은 고압력, 고온, 증기가 발생하는 곳에는 원형 혼 안테나가 주로 사용된다. 본 장비에서는 방사빔폭을 15도, 안테나 이득을 24dB로 설계하였다.

2) RF-POWER MODULE

하이브리드 IC기술의 발전은 초고주파 전력의 영역에도 영향을 미쳐 특히 소형화가 요구되는 계측레이더의 송수신단에 모듈화가 진행되고 있다. 이 전력증폭 및 수신회로를 초고주파 혼성 집적회로 또는 RF POWER MODULE 이라고 부른다.현재 VHF대에서 수십GHz대에 걸쳐 통신, 소형레이더 및 고도계등에서 널리 활용화 되고 있다.

본 장비의 모듈에는 마이크로 스트립선로,전압조정 발진기, 혼합기, 방향성 결합기, 아이솔레이터로 구성되며, 중심주파수가 10GHz대역에서, 출력

은 1mW 정도가 되는데 거리에 따라 중간 주파수가 변동하게 된다.(3),(9)

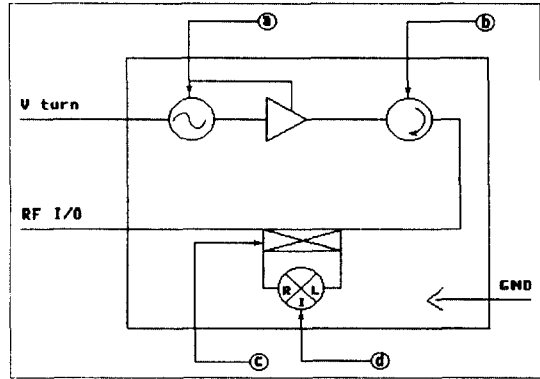


그림3. RF MODULE 기능선도

- a) 전압조정발진기
- b) 아이솔레이터
- c) 방향성 결합기
- d) 혼합기

3) 센서 주변회로

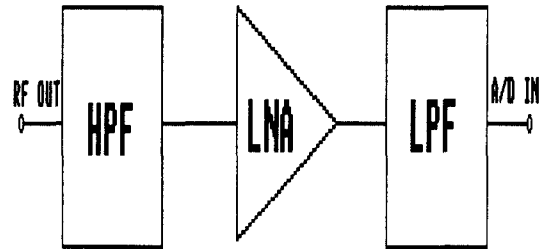


그림 4. 센서 주변회로

RF MODULE의 혼합기에서 송신신호와 수신신호의 차주파수 IF가 나오게 되는데, 여기에는 안테나에서 반사된 큰 저주파 신호가 존재하므로 저주파 차단 여파기를 통과시켜 안테나의 반사파를 제거 시켜야 한다.또한 초단에 LNA(Lower Noise Amplifier)를 사용하여 전체 수신단의 잡음지수를 줄인다.(5)

2. 신호처리 및 모니터링부 설계

본 시스템에서는 분산처리 방식을 채택하여, 각 탱크에서 직접 Local로서 탱크의 레벨상태를 관측할 수 있도록 구성하였는데, A/D 컨버터는 하나의 Sampling 데이터를 받아서 디지털로 양자화 시키고, 16 Bit의 양자화가 끝나면 데이터 리드 신호를 발생시켜, 임시기억 장소인 메모리에 Write 신호를 보내어 한개의 데이터가 메모리에 저장될수 있도록 한다. 이와 같은 동작이 Sampling clock에 동기되어 1024 Point로 반복되면 메모리에 1024 byte 신호가 가득차게 된다. Sampling 데이터가 모두 차게 되면 메모리에서 FF(Fito Full)신호를 발생시키며, CPU에서 READ 신호를 발생하여, DATA BUS를 통하여 FIFO의 데이터를 PC로 읽어들이후 FFT Algorithm에 의해 분석하고 그래픽 모니터에 분석된 결과를 표시한다.(7), (8), (10)

1) CPU부

CPU는 16bit 타입의 V25 Chip을 사용하고 있으며, 본 장치의 LOCAL의 대부분을 제어한다.

2) CPU MEMORY부

CPU용메모리는 ROM 512K 바이트, RAM 128K 바이트를 내장하고 있으며, ROM의 부트메모리에 의해 IC 카드에서 각종 프로그램을 RAM 상에 로딩 하여 사용한다.

3) DSP부

DSP는 Analog Device사 제품인 ADSP2101을 사용하는데 Chip내부에 24bit 메모리가 장착되어 있으며, 고속으로 연산을 하므로 원래의 성능에서 상당히 여유를 갖는 동작을 시키고 있다. A/D 컨버터로 받아들인 데이터의 윈도우 처리, 데이터 재배치, 1024 POINT의 FFT 및 파워 스펙트럼 처리 단 하기로함으로써 프로그램의 개발의 부담을 경감 시키고 있다.

4) DSP MEMORY부

DSP메모리는 프로그램용과 데이터용으로 각각 32K 워드를 내장하고 있다.

5) A/D 컨버터부

BB사의 축차비교형 16bit, ADC71JG을 사용하

며,변환시간이 50 usec 정도이다.

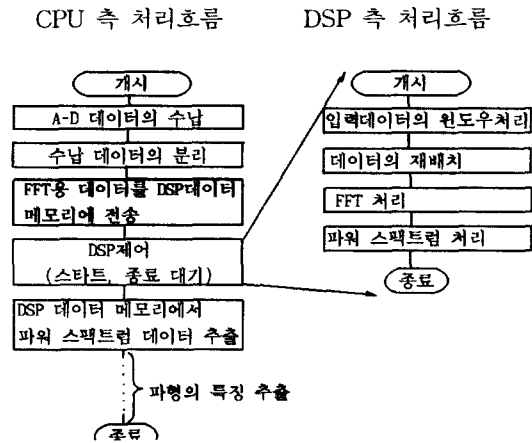
6) A/D 콘트롤부

CPU로부터의 가동신호에 의하여 A/D보드에 대해 입력 신호의 선택, 샘플홀드, A/D변환개시 타이밍 등을 발생한다. 또 CPU에 대해서는 A/D 변환의 타이밍에 맞추어 DMA 요구 신호를 발생하고, CPU DMA 기능에 의해 A/D 컨버터로부터의 데이터를 메모리에 수납 한다.(이 부분은 카운터와 ROM에 의한 시퀀스 제어로 실현한다.)

3. SOFTWARE 설계

소프트웨어 부분은 크게 4부분으로 제어, 신호처리, 통신, GUI(Graphic User Interface)부분으로 나눌수 있다. 제어 및 신호처리 부분에 대한 순서도는 다음 표 1과 같다.

표 1. CPU와 DSP의 처리흐름



1) 제어부분

Host CPU와 DSP간의 데이터 전송은 쌍방향 통신 시스템을 통하여 이루어 진다. 또 강제적으로 DSP를 홀드하고 외부확장 메모리로 부터 데이터를 읽고 쓸수있다.

2) 신호처리 부분

수신된 신호를 1024 POINT의 고속 푸리에 변

환(FFT)하여, 수신신호중 반사신호를 정확히 얻고 10회의 반복된 샘플 데이터값을 평균해서 반사체까지의 거리를 측정한다.(10)

3) GUI 및 통신부분

사용자 인터페이스는 사용자인 인간과 컴퓨터 사이의 대화창구로서, 컴퓨터의 성능이 강화되고 그래픽 기능이 향상됨에 따라 사용자 인터페이스가 얼마나 효율적이고 간편하게 되어 있는가 하는 점이 사용자가 컴퓨터를 선택하는데 있어 매우 중요한 요소의 하나로 자리를 잡아가고 있다. 80년대 말 부터 그래픽컬 사용자 인터페이스(Graphical User Interface)가 등장하여, 키보드를 통하여 일일이 입력하는 것이 아니라 마우스 등으로 또는 직접적으로 키보드에 의해 이미 준비되어 있는 메뉴나 아이콘, 대화상자 등을 통해 컴퓨터의 전문가가 아니더라도 컴퓨터를 쉽고 편리하게 사용할수 있도록 해준다. 통신방식은 PC상의 RS232-C 비동기 시리얼 포트를 액세스 하도록 지원하는 여러방법 중 ROM-BIOS 지원방법을 적용 하여 이에따른 BIOS인터럽트를 통하여 비동기식 시리얼 통신을 위한 보오레이트, 데이터 길이, 패리티 검사의 형태등 통신에 필요로 하는 항목들을 초기화 할수 있을 뿐만 아니라, 이에따른 비동기식 시리얼 데이터 통신을 구현함으로써, 얻어진 측정결과치를 PC 모니터상에서 본 시스템 구현에 맞게 그래픽화면및 텍스트 모드로 처리한뒤 출력하도록 하는 절차로 이른바 GUI를 구현한다. GUI 및 통신부의 순서도는 표 2와 같다.

표 2. 디스플레이 과정 순서도

시리얼 통신 및 그래픽 출력을 위한 초기화
그래픽 형식(Format)초기작업
데이터 통신
그래픽 화면 및 텍스트 모드출력

IV. 검토 및 결론

본 연구에서는 현재 전량 수입하여 시판되고 있는 탱크모니터링 시스템을 분석하여 국내 개발을

위한 레이더 설계 및 신호처리 기술, 모니터링 설계기술등 상품화 기반기술을 마련하였다. FM-CW 레이더 실험에서 그림 5(A)의 결과를 보듯이, Ramp 파형에 따른 IF 주파수가 거리에 따라 변화함을 관측 하였다. 그러나, noise 및 안테나에 의한 반사파가 초저주파로 유입됨이 나타났고, 그림5(B)의 High Pass Filter 회로의 삽입으로 저주파에서 noise 및 반사파가 감쇄되는 현상을 확인 할수 있었다. 또한 HPF의 차단주파수에 따라 최소탐지거리가 결정됨을 알수 있었고, 측정거리에 따라 적절한 차단주파수의 선정이 요구됨을 알수 있었다.

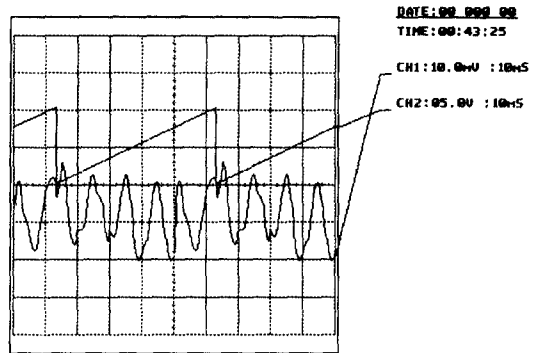


그림 5(A) IF 출력파형

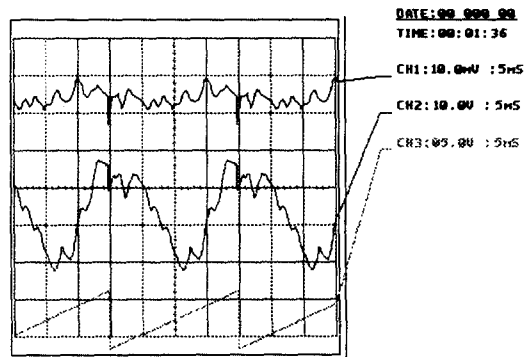


그림 5(B) HPF를 사용한 IF 출력파형

차후 전체 시스템의 연동작업과 일부 회로에 대

한 TREAD-OFF가 수행 되어야 하며, 정확도 및 분해능에 지속적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 강충신, "FET를 이용한 연속 초음파 도플러 시스템 제작에 관한 연구" 아주대학교 석사학위논문, pp. 13-19, 1988
- 2) 최홍기, "10GHZ 대역에서 동작하는 주파수변조 연속파 레이다의 제작 및 실험" 한국과학기술원 석사학위논문, pp. 4-5, 1991
- 3) 김정기 · 김봉겸, "능동혼합기의 비선형설계 및 제작에 관한연구", 대한전자공학회, 제17권, 1994
- 4) Merril I. Skolnik, "Introduction to Radar System", 2nd ed., MacGraw-Hill, new york, 1980.
- 5) Arthur B. Williams, Fred J. Taylor, "Electronic Filter Design Handbook", 2nd ed., McGraw-Hill, York, 1988.
- 6) Jurgen Kehrbeck, Eberhardt Heidrich, Werner Wiesbeck, "A Novel and Inexpensive Short Range FM-CW Radar Design", IEEE International Radar Conference", 1992, pp. 288-291.
- 7) 동역 메카트로닉스 연구소, "계측제어 시스템", 영진출판사
- 8) 동역 메카트로닉스 연구소, "DSP 응용실무", 영진출판사
- 9) 과학기술정보연구소, "MICRO-WAVE 대회로 기술 및 설계 테크닉"
- 10) Paul M. Enbree, Bruce Kimble, "C Language Algorithms for Digital Signal Processing" Prentice Hall International Editions,
- 11) SAAB Marine Electronics, "Saab Tank Radar "
- 12) ENRAF NONIUS, "SERIES 872 MICROWAVE RADAR LEVEL GAUGE"
- 13) VEGA, "RADAR based level transmitter"