

300MHz급 NMR Transceiver 설계 및 제작

박양하*, 진승오*, 임진임*, 허 영*
 *한국전기연구소 영상응용연구그룹

A Study on the 300MHz NMR Transceiver

Yang-Ha Park*, Seung-Oh Jin*, Jin-Im Won*, Young Huh*
 *KERI Applied. Imaging Group

Abstract - We designed and manufactured 300MHz NMR RF Transceiver. NMR system is composed of NMR Spectrometer, Superconductive Magnet and Pulse Programmer, GUI. NMR RF Transceiver is composed of transmitter, receiver, frequency synthesizer, T/R switch, main power amp., RF coil. To phase modulation, transmitter is composed of mixer, splitter and combiner et al. To weak signal detection, receiver is composed of pre-amp., filter, mixer et al. Each module is manufactured PCB. And installed NMR system to detect chemical component of specimen. In result, we can get the information of specimen.

1. 서 론

NMR은 물질에 RF 펄스 신호를 가한 후 물질의 핵들이 그 에너지를 받아서 어떻게 반응하는가 하는 것을 측정하는 것이다. 그림 1.에는 본 연구에서 개발한 NMR의 구성도를 나타내었다.

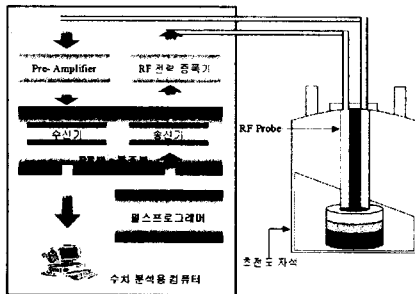


그림 1. NMR 구성도

일반적으로 NMR 시스템의 구성은 (1) RF Pulse의 Sequence를 임의로 편집할 수 있는 Pulse Sequence 편집용 소프트웨어, (2) Pulse Sequence를 정확한 Timing으로 실행 할 수 있는 펄스 프로그래머, (3) 펄스 프로그래머에서 발생하는 신호와 동기하여 RF Pulse를 변조하는 RF 변조부, (4) 변조된 RF Pulse를 증폭하는 RF 전력 증폭기, (5) 고자장내에서 RF Pulse를 전달하고 시료에서 발생하는 공명신호를 검출하는 RF Probe, (6) RF Probe에서 검출된 핵자기공명신호를 증폭하는 Pre-Amplifier, (7) 검출된 핵자기

공명신호를 복조하는 복조부, (8) 복조된 핵자기공명신호를 디지털로 변환하고 주파수 성분을 검출하는 수치분석용 컴퓨터 및 소프트웨어로 구성이 된다.

따라서 NMR은 고자장내에 위치한 시료에 RF Pulse를 가한 후, 시료에서 발생하는 핵자기 공명신호의 변화를 측정하여 이를 수치분석을 통하여 시료의 물리적·화학적 구성을 분석하는 장치이다.

2. NMR Transceiver의 설계

2-1. NMR의 원리

스핀이 영이 아닌 핵자들은 외부자기장 내에서는 자기 모멘트 μ 를 갖는다.

$$\frac{d\mu}{dt} = \mu \times \gamma B_0$$

이 식은 자기 모멘트 μ 가 B_0 축을 중심으로 γB_0 의 각속도로 회전함을 나타낸다. 이 자기 모멘트를 하나의 신호로 측정을 하는데, 이때 측정되는 신호는 자기 모멘트 μ 의 벡터 합으로 이것을 자기화(magnetization) M이라고 한다. 자기화 M의 크기는 외부자기장 B_0 와 핵의 밀도에 비례하며, 방향은 외부자기장의 방향과 같은 방향이다.

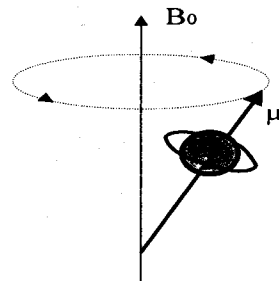


그림 2. 외부자기장에서의 자기모멘트 운동

이 자기화 M은 RF 에너지를 받으면 B_0 축에 수직인 면을 향해 움직인다. 그 다음 RF 에너지를 끊어주면 자기화 M은 에너지를 방출하며 원래의 상태(평형상태)로 되돌아간다. 이때 되돌아가는 과정이 각 핵에 따라, 그리고 각 핵들의 주변환경의 영향을 받아 모두 다르게 나

타나므로 NMR에서 물질의 성분을 분석하는 데에 이용할 수 있다.

2-2. 송신단의 설계 및 제작

NMR RF Tranceiver는 RF Coil을 여기하는데 필요한 RF pulse를 만들기 위하여 Frequency Synthesizer에 의해서 310.7MHz 및 10.7MHz의 정현파 신호가 만들어 진다. 이들 주파수는 Transmitter에서 전송신호를 만들기 위하여 Phase Modulation을 한다. 이 신호는 RF Pulse 증폭기에서 증폭되어 코일에 인가된다. RF Pulse 증폭기는 RF Pulse를 증폭하여 신호를 필요에 따라 0° , 90° , 180° , 270° 로 RF 코일을 통하여 여기시키게 된다.

코일은 RF 펄스를 송신한 다음 물질에서 나오는 미약한 신호를 받아서 LNA(Low Noise Amplifier)인 RF 전치증폭기로 보낸다. 이 신호는 전치 증폭기에서 100dB이상 증폭된 다음 Receiver단에서 신호처리를 거쳐 ADC(Analog-Digital Converter)로 보내면 디지털 데이터가 되어 FFT하여 물질의 성분을 파악하게 된다. 이때 코일은 RF Pulse를 물질에 인가하기 위해 RF 증폭기에 연결되기도 하고 물질로부터의 신호를 증폭하기 위해 전치 증폭기에 연결하기도 한다. 이 과정을 하는 역할을 T/R 스위치(Transmitter/Receiver Switch)라 한다. 그림 3.에는 송신단의 구성도를 나타내었다.

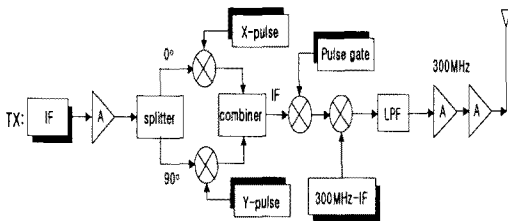


그림 3. NMR 송신단의 구성도

RF 발진회로는 IF 주파수인 10.7MHz와 반송파 주파수인 310.7MHz의 신호를 만들어 낸다. 여기서 10.7MHz는 중간 주파수이지만 여기에서는 NMR의 저대역의 신호로서 4상의 위상변조하는데 이용이 된다. 본 시스템에서는 PTS사의 PTS 310 Frequency Synthesizer를 사용하였다. Frequency Synthesizer에서 출력된 IF 신호는 Splitter에 의해서 0° 의 두 신호로 분리가 된다. 이 때의 출력은 입력에 비해 3dB가 떨어지므로 필요하다면 Splitter의 출력단에 증폭기를 달 필요가 있다. 분리된 신호의 하나는 송신단의 위상변조를 위하여 쓰여지고 나머지 하나는 수신단의 입력된 신호와의 Mixer를 통한 ΔF 검출을 위한 mixing 수신신호로 쓰여진다.

송신단의 IF 신호는 $\pm X$, $\pm Y$ 의 제어신호에 의해

Four-Phase의 위상변조 신호를 출력하게 된다. 여기서의 위상변조를 위해서는 Mixer가 사용되었다. $\pm X$, $\pm Y$ 의 신호레벨은 +5V로 하였다. 각각의 출력된 신호는 Tx Gate에 의해서 펄스 프로그램에 의한 Pulse Sequence에서 설정한 시간에 의한 출력신호의 제어가 이루어진다. IF 신호는 Frequency Synthesizer에 의해서 출력된 310.5MHz의 신호와 Mixer에 의해서 곱해진다. 이 때의 출력은 300MHz와 321MHz의 두 성분의 신호가 출력되는데 LPF에 의해서 최종 300MHz의 신호성분만 남게 된다. 이 위상변조된 300MHz의 신호는 Main Power Amplifier에 입력이 되어진다. 여기에서 사용된 Main Power Amplifier는 AMT사의 M-3205 Pulse Power Amplifier을 사용하였다.

2-3. 수신단의 설계 및 제작

수신단은 송신단에서 위상변조하여 보낸 펄스를 물질에서 수신하여 그에 따른 고유한 미소의 신호를 받아서 증폭, 필터링 및 복조를 하여 물질의 고유 신호인 ΔF 대역의 주파수를 ADC를 거쳐 신호처리하는데까지의 역할을 수행한다. 그림 4.는 수신단의 구성도를 나타내었다.

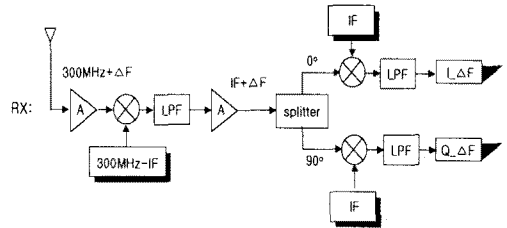


그림 4. NMR 수신단의 구성도

먼저 RF Coil을 거쳐 수신된 $300\text{MHz} + \Delta F$ 의 신호는 Pre-Amp에 의해서 20dB이상의 증폭이 이루어진다. 이 신호는 SNR을 높이기 위하여 0° , 90° 로 나누어진다. 이 신호를 I, Q라 한다. 이 I, Q 신호는 Frequency Synthesizer의 출력 300MHz와 Mixer에 의해서 곱해진다. 여기서는 각각 $600\text{MHz} + \Delta F$ 와 ΔF 의 신호가 출력이 되나 우리가 필요한 신호는 ΔF 의 신호면 되므로 LPF에 의해서 $I(\Delta F)$, $Q(\Delta F)$ 의 신호만이 최종 출력된다. 이 I, Q 신호는 각각 ADC를 거쳐서 디지털 신호로 변환이 되어서 DSP에 의한 신호처리 과정을 수행한다.

2-4. 시스템 제작 및 S/W 신호처리

위에서 설계, 제작된 RF Tranceiver는 DSP로 구현된 Pulse Programmer, RF Coil 및 GUI로 설계된 S/W에 의해서 전체적으로 제작되었다. 그림 5.는 본 연구에서 개발한 300MHz용 NMR Spectrometer를 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Thomas Vaughan, "RF front end for a 4.1Tesla Clinical NMR spectrometer" IEEE Transactions on nuclear science, vol. 42, no. 4, August 1995
- [2] RF/IF Designer's Guide. Mini-Circuits
- [3] R. H. Hashemi. MRI the Basics



그림 5. NMR Spectrometer

또한 제작된 NMR Spectrometer를 이용하여 물에 대한 성분을 측정하였으며 그에 대한 고유 주파수를 그림 6.에 나타내었다. 그림 6.에서 보듯이 정확한 시료의 값을 읽을수 있었으며 본 연구에서 개발한 시스템의 정확성을 검증할 수 있었다.

앞으로 더 정확한 성능을 얻기 위하여 RF transceiver의 성능 개선과 본 연구에서 개발된 회로를 바탕으로 하여 MRI의 RF 분야도 국산화하려는 연구를 계속적으로 진행시킬 예정이다.

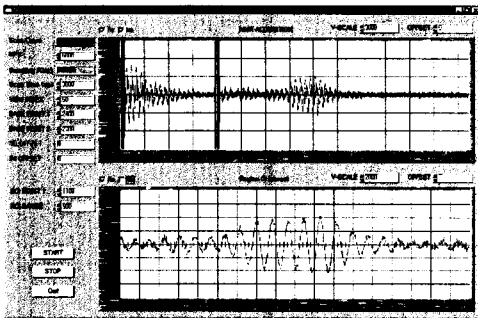


그림 6. NMR 시료 출력 파형

3. 결 론

본 논문에서는 300MHz용 NMR Spectrometer에 들어가는 RF Transceiver를 설계, 제작하였다. RF Transceiver의 구성으로는 송수신단, Frequency Synthesizer, Main Amp., 및 RF Coil 등으로 구성하였으며 시스템의 동작 특성을 파악하기 위하여 Pulse Programmer, GUI 등과 전체 시스템을 구성하여 연계 실험을 하였다. 그 결과 물질에 대한 양호한 특성을 얻을 수 있었다. 계속하여 시스템의 성능 향상을 추진중이며 나아가 MRI의 RF분야에도 적용할 예정으로 연구가 진행중에 있다.