

## 근거리 무선 전력 전송을 위한 10W급 RF Power Source 설계

박동훈\*, 김귀성\*\*, 임은천\*, 박혜미\*, 이문규\*  
서울시립대학교\*, (주)엠가드\*\*

### Design of 10W RF Power Source for Near-field Wireless Power Transmission

Dong-Hoon Park\*, Gui-Sung Kim\*\*, Eun-Cheon Lim\*, Hye-Mi Park\*, Moon-Que Lee\*  
University of Seoul\*, EMGUARD\*\*

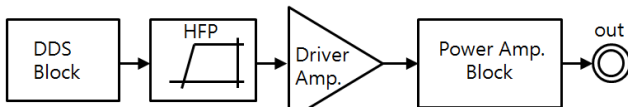
**Abstract** - 본 논문에서는 무선 전력 전송을 위한 10W RF Power Source를 설계 및 제작, 측정 하였다. 제작된 RF Power Source는 9~11MHz의 신호 생성을 위한 DDS와 전력 증폭을 위한 전력 증폭기로 구성되어 있다. 근거리 무선 전력 전송은 전자기 유도 또는 전자기 공진 형태의 무선으로 전력을 전달하게 되므로 전력 증폭기의 부하단의 임피던스가 변하게 되어 전력 증폭기의 특성의 변화가 생기는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 부하단의 임피던스 변화에 둔감하도록 평형(Balanced)구조를 이용하여 전력 증폭기를 설계하였다. 제작된 RF Power Source는 입력 전압 DC 24V, 소모 전류 1.5A, 사용가능 주파수범위는 9~11MHz, 최대 출력 전력 10W의 특성을 보였다.

#### 1. 서 론

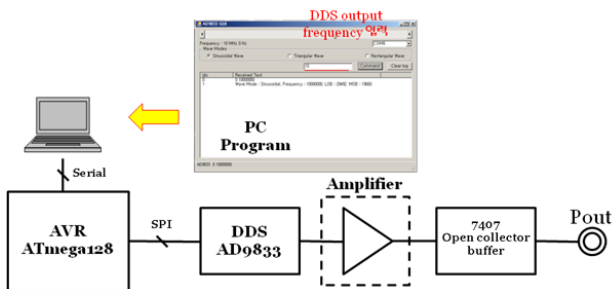
최근의 정보통신 기술의 발달로 인한 전자 정보 기기의 사용 빈도가 늘어나고 있으며, 특히 개인 휴대 기기의 사용량은 폭발적으로 증가하고 있다. 모바일 기기는 배터리를 이용한 전력 공급을 이용하고 있지만 배터리는 가격, 무게, 용량, 수명 등의 문제점을 가지고 있기 때문에 배터리만을 이용하여 모바일 기기를 작동하는 것의 실용성의 한계가 있다. 유선을 이용하여 배터리를 충전하는 기존의 방법 대신 이동 중이나 정지 중에 전력을 무선으로 받아 쓸 수 있는 무선 전력 전송(WPT : Wireless Power Transfer)은 모바일 기기의 전원 공급에 기존의 배터리를 대체하는 방법으로 활발히 연구되고 있다. 무선 전력전송 기술은 전기 에너지를 전자기파, 전자기 유도 또는 전자기 공진 형태의 무선으로 전력을 전달하는 기술로써, 원거리 또는 근거리에서 전자기기에 전원선 없이 전원을 공급하여 전자기기의 이동성을 확보하고, 혼잡한 전원 플러그 주변 문제를 해결할 수 있다.[1] 또한 친환경 전기교통분야, 모바일 기기, 각종 로봇과 의료분야 등에 활용될 수 있는 기술이다. 본 논문에서는 근거리에서의 무선 전력 전송을 위해 좋은 정합 특성을 갖는 평형 증폭기(Balanced amplifier)구조를 이용하여, 9~11MHz 대역의 주파수 조정 범위를 갖는 10W급의 전력 소스원을 설계 제작 하였다.

#### 2. Power Source의 설계

##### 2.1 전체 회로의 구조



<그림 1> 전체 회로의 블록 구조

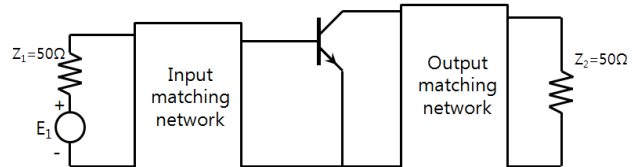


<그림 2> DDS 블록 구조

전체 회로의 구조는 그림 1의 블록 다이어그램과 같은 구조로 제작하였다. 회로의 동작은 다음과 같이 설명된다. 먼저 DDS(Direct Digital Synthesizer)블럭에서 9~10MHz의 신호원이 생성되고, HFP(High-Pass

Filter)를 통해 DDS에서 발생한ms 저주파 성분의 불요파(Spurious) 잡음이 제거되어 드라이버 증폭기(Driver Amplifier)로 전달된다. 드라이버 증폭기에서는 전력 증폭기가 동작할 수 있는 충분한 크기로 신호를 증폭하며, 전력증폭기에서 최종 10W의 전력을 출력하도록 되어있다. 무선 전력 전송을 위한 CW(Continuous wave) 신호의 생성은 VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 대신하여 주파수 가변을 PC 프로그램을 이용하여 쉽게 할 수 있는 Analog Device社의 DDS제품인 AD9833을 이용하며, AD9833의 작은 출력을 크게 증폭해 주기 위해서 BJT를 이용한 증폭기와 Open Collector 버퍼인 7404를 사용한다.

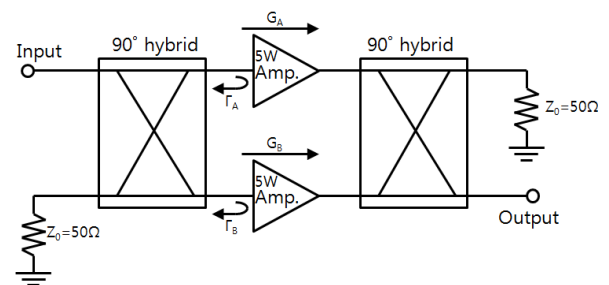
##### 2.1.1 전력 증폭기 설계시 고려 사항



<그림 3> 마이크로 증폭기 다이어그램

10W 최종 출력단인 전력 증폭기는 입출력 정합이 정해져 있지 않고 설계자가 직접 정해 주어야 한다. 주목해야 할 점은 입출력 임피던스에 따라 noise, gain, power등의 출력 특성이 변한다는 점이다.[2] 무선 전력전송에서의 부하 단은 하나가 아니라 여러 개가 될 수도 있으며, 부하의 위치가 고정되어 있는 것이 아니라 다양한 위치에서 무선으로 전력을 공급받기 위해 놓여진다. 따라서 무선전력전송에서의 부하 단은 고정적인 50Ω이 아니라 다른 임피던스가 되어 출력 전력이 실제 사용 시에는 설계시의 값인 10W와는 다른 값이 되는 문제점이 생길 수 있다. 따라서 본 논문에서 설계 제작한 전력증폭기의 구조는 부하단의 임피던스 변화에도 전력증폭기의 특성이 변화가 적은 구조를 사용한다.

##### 2.1.2 평형 증폭기의 구조



<그림 4> 평형 증폭기의 구조

본 논문에서 설계하는 전력증폭기는 부하단의 임피던스 변화에도 전력 증폭기의 정합특성이 크게 변하지 않아야 한다. 평형 증폭기의 경우 입력이나 출력단의 임피던스변화에 의해 생기는 반사파 결합기 종단에서 흡수되어 각 증폭기의 안정도와 입-출력 정합이 개선되는 특성을 가지고 있다.[3] 평형 전력 증폭기의 출력특성은 아래의 수식과 같다.

$$S_{11} = \frac{1}{2}(\Gamma_A - \Gamma_B) \quad (1)$$

$$S_{21} = -j\frac{1}{2}(G_A + G_B) \quad (2)$$

식 (1) 식 (2)에서 증폭기의 전체 이득은 두 증폭기의 이득의 평균이 됨을 알 수 있고, 두 증폭기가 같다면  $\Gamma_A = \Gamma_B$ ,  $G_A = G_B$ 이므로  $S_{11} = 0$ 이 되고, 평형 증폭기의 이득이 각 증폭기의 이득과 같음을 알

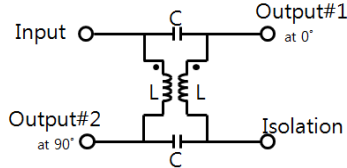
수 있다. 10W의 출력을 얻기 위해서 각각의 증폭기의 출력이 5W가 되면 10W의 출력을 얻을 수 있다. 증폭기의 출력특성은 아래의 수식과 같다.

$$P_{out} = \frac{V_{CC}^2}{2R} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 부하단의 임피던스 변환 없이 5W의 출력을 얻기 위한 전력증폭기의  $V_{CC}$ 의 값을 계산하면 약 22V이므로 실제 전력 증폭기의 제작에서는 24V를 사용하여 제작 하였다.

### 2.1.3 90° hybrid의 제작

90°하이브리드의 대표적인 구조는 브랜치 선로 하이브리드(Branch line Hybrid)와 결합선로 방향성 결합기가 있다. 하지만 전송선로(Transmission Line)를 구현하기에 10MHz는 매우 낮은 주파수로서 전송선로의 길이가 매우 길어져 실제 제작시의 어려움이 있으므로 집중소자를 이용한 90°하이브리드를 이용하여 제작하였다.



〈그림 5〉 집중소자 90° 하이브리드의 구조

집중소자를 이용한 90°하이브리드의 구조는 그림 5와 같이 2개의 커패시터와 1개의 트랜스포머로 구성되어 있다. 트랜스포머의 인덕턴스 값과 커패시터의 값은 아래의 수식으로 구해진다.[4]

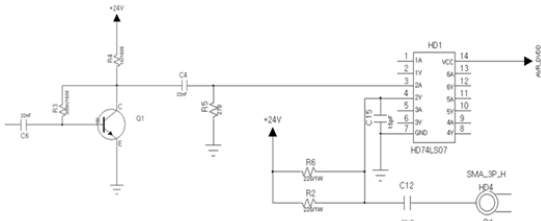
$$L = \frac{Z_0}{2\pi f \sqrt{2}} \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f Z_0 \sqrt{2}} \quad (5)$$

$Z_0$ 가 50Ω으로 하여 10MHz에서 계산하면 인덕터는 약 588nH, 커패시터는 약 210pF로 계산된다. 실제 구현시 전력 증폭기 뒷단에 연결되는 하이브리드는 10W의 출력 전력으로 동작하기 때문에 정격이 큰 소자를 이용해 구현하는 것이 중요하다.

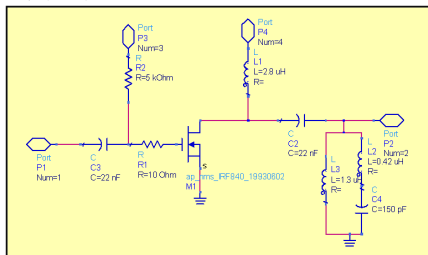
## 2.2 제작 및 측정 결과

### 2.2.1 개별 블록의 제작 회로도



〈그림 6〉 DDS 블록의 BJT증폭기 및 Open Collector의 회로

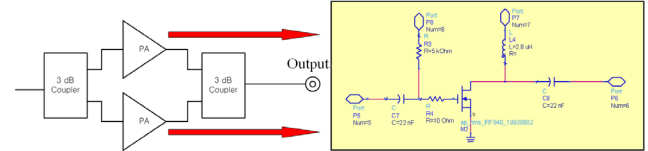
DDS블록의 AD9833의 경우 제조사의 회로를 이용하였으며, PC와의 연동을 위해 AVR모듈을 이용하여 SPI(Serial Peripheral Interface)통신을 하도록 제작 하였다. AD9833의 출력은 DC제거를 위한 커패시터를 통과한 후 BJT에 의해 1차적인 증폭을 하고, 24V로 연결된 Open Collector 버퍼에 의해 충분히 Driver증폭기를 동작시키기에 충분한 크기로 증폭을 시켜준다.



〈그림 7〉 드라이버 증폭기의 회로도

드라이버 증폭기는 IRF840소자를 이용한 간단한 CS(Common Source) 증폭기의 구조로 제작하였다. 출력단의 공진기는 2차 하모닉을 제거하기 위해 사용한 공진기로 10MHz에서는 개방(open)으로 보이며, 20MHz

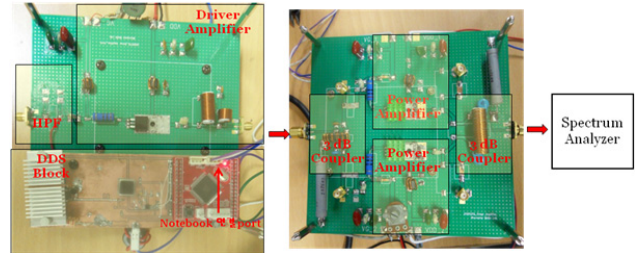
에서는 단락(short)으로 보이게 설계 하였다.



〈그림 8〉 전력 증폭기의 회로도

전력증폭기의 개별 구조는 드라이버 증폭기와 같은 구조를 갖는다. 하지만 10W의 매우 큰 전력을 출력하고, 설계시 효율을 고려하지 않았기 때문에 많은 열 발생이 생긴다. 열의 발생을 줄여 정상적인 동작을 하기 위해서 쿨링팬이 있는 쿨러를 이용하여 방열을 해주어야 정상적인 동작이 가능하다.

### 2.2.2 측정 결과



〈그림 9〉 제작된 회로의 최종 측정 구성도

그림 9는 최종 제작된 모듈의 사진과 측정을 위한 연결도 이다. DDS와 드라이버 증폭기를 포함한 하나의 모듈과 전력 증폭기를 구현한 모듈을 각각 제작하여 2개의 모듈로 제작하였으며, 모듈의 크기는 150mm \* 150mm로 동일하다. 최종 출력 결과의 특성은 아래의 표와 같이 측정되었다.

〈표 1〉 제작된 회로의 주파수별 측정 결과

Parameter	9 MHz	9.5 MHz	10 MHz	10.5 MHz	11 MHz
DDS Current [mA]	150	150	150	150	150
DA Current [mA]	245	255	266	272	279
PA Current [mA]	824	843	835	823	810
FAN Current [mA]	201	201	201	201	201
Output Power [dBm]	40.3	40.5	40.4	40.3	40.2

## 3. 결 론

본 논문에서 제작된 RF Power Source는 주파수 조정 범위 9~11MHz 내에서 10W급의 전력이 출력됨을 확인되었다. 제작된 RF Power Source는 평형 증폭기의 구조를 이용하였기 때문에, 출력단의 임피던스 변화에도 전력 증폭기의 특성이 크게 변하지 않는 특성을 기대할 수 있다. 하지만 설계시 RF Power Source는 증폭기의 전력 효율을 고려하지 않은 설계로 인해 전력 소모가 매우 심하여 열이 많이 발생하는 문제를 가지고 있다. 전력 효율을 높이고, 열의 발생을 낮추기 위해서 증폭기의 Class를 높이는 방법으로 설계를 진행하여 문제를 해결할 수 있을 것으로 보인다. 제작된 RF Power Source는 실제 무선전력전송에 사용할 때 부하단의 임피던스 변화에 영향이 적은 구조이므로 앞으로 무선전력전송의 많은 부분에서 응용될 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 강승열, 김용해, 이명래, 정태형, "무선 에너지 전송 기술", ETRI 전자통신동향분석, 제 23권 6호, 2008년 12월
- [2] Guillermo Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design", Prentice Hall, Second Edition, 1996
- [3] David M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley&Sons, Inc. Third Edition, 2006
- [4] Peter Viztmuller, "RF Design Guide System, Circuit, and Equations", Artech House, 1995