



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년04월10일  
(11) 등록번호 10-1846954  
(24) 등록일자 2018년04월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 50/12 (2016.01) H02J 7/02 (2016.01)  
(52) CPC특허분류  
H02J 50/12 (2016.02)  
H02J 7/025 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0163730  
(22) 출원일자 2016년12월02일  
심사청구일자 2016년12월02일  
(65) 공개번호 10-2017-0141101  
(43) 공개일자 2017년12월22일  
(30) 우선권주장  
1020160073341 2016년06월13일 대한민국(KR)  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020140053282 A\*  
W02016033073 A1\*  
KR1020140053302 A  
KR1020160017560 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
주식회사 맵스  
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 서관308호(죽전동, 단국대학교죽전캠퍼스)  
(72) 발명자  
황종태  
서울특별시 강남구 역삼로 314, 302동 1004호(역삼동, 개나리푸르지오아파트)  
전익수  
경기도 용인시 기흥구 마북로247번길 91-9, 207호(마북동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인 신지

전체 청구항 수 : 총 12 항

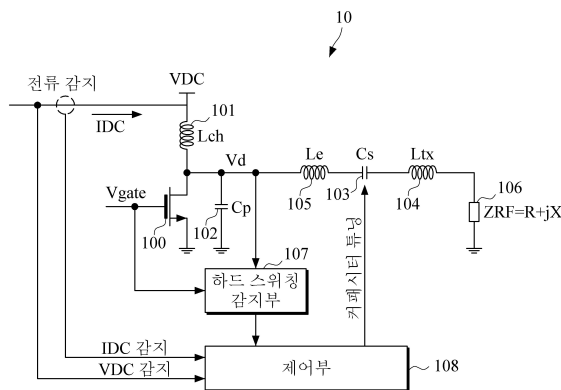
심사관 : 박형준

(54) 발명의 명칭 **임피던스 변화에 자동 조정 가능한 무선 전력 송신기**

(57) 요약

임피던스 변화에 자동 조정 가능한 무선 전력 송신기가 개시된다. 일 실시 예에 따른 무선 전력 송신기는 공진기의 위상 정보를 측정하지 않으면서도 공진기의 공진 주파수를 변화시켜 증폭기의 안정적인 동작이 가능하다.

대표도 - 도9



(72) 발명자

**이동수**

경기도 동두천시 동광로52번길 16 (생연동)

**신현익**

서울특별시 강남구 테헤란로52길 16, 104동 501호  
(역삼동, 테헤란IPARK)

**이준**

서울특별시 서초구 방배로 14, 7동 904호 (방배동,  
임광아파트)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

무선 전력 송신기를 구성하는 증폭기 내 스위치의 하드 스위칭 동작 상태를 감지하는 하드 스위칭 감지부; 및  
 감지된 하드 스위칭 동작 상태에 따라 공진 커패시터의 값을 자동 조정하되, 상기 스위치의 동작 상태가 부하에 의해 공진 주파수가 높아져 하드 스위칭을 하는 상태이면 공진 커패시터 값을 증가시켜서 공진 주파수가 증가한 부분을 감소시키고, 부하에 의해 공진 주파수가 낮아져 하드 스위칭을 하는 상태이면 공진 커패시터 값을 감소시켜서 공진 주파수가 감소한 부분을 증가시키는 제어부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 하드 스위칭 감지부는

상기 스위치의 구동전압 신호로부터 스위치가 온(on) 되었는지를 감지하고 스위치 온(on) 되었을 때 상기 스위치의 드레인 전압으로부터 하드 스위칭 동작 상태인지를 감지하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 제어부는

하드 스위칭 동작 상태와 함께, 증폭기의 출력전력 값 및 무선 전력 수신기의 수신전력 값을 이용하여 증폭기의 현재 동작 상태를 판단하고 판단 결과에 따라 공진 커패시터 값을 제어하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 제어부는

공진 커패시터 값 제어와 함께 증폭기의 출력전력을 제어하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 공진 커패시터는

전기적으로 커패시터 값이 조정되는 가변 커패시터이고,

상기 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치는

상기 제어부의 제어에 의해 가변신호를 발생하여 상기 가변 커패시터에 인가하는 DAC; 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 공진 커패시터는

각 커패시터 스위치와 연결되어 각 스위치의 스위칭에 의해 커패시터 값이 가변하는 다수의 커패시터이고,

상기 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치는

상기 제어부로부터 수신되는 스위치 제어신호에 따라 선택적으로 스위칭되는 다수의 커패시터 스위치; 를 더 포

합하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

**청구항 8**

무선 전력 송신기를 구성하는 증폭기 내 스위치의 하드 스위칭 동작 상태를 감지하는 하드 스위칭 감지부;

상기 하드 스위칭 감지부로부터 감지 신호를 수신하여 스위치가 하드 스위칭 동작 상태인지를 판단하는 제1 판단부;

증폭기의 전원전압 및 전원전류 값을 획득하여 무선 전력 송신기의 송신전력 값을 계산하는 송신전력 처리부;

무선 전력 수신장치로부터 수신전력 값을 획득하는 수신전력 처리부;

계산된 송신전력 값과 획득된 수신전력 값을 이용하여 증폭기의 현재 동작 상태를 판단하는 제2 판단부; 및

상기 제1 판단부 및 제2 판단부의 판단 결과에 따라 공진 커패시터 값 및 증폭기의 출력전력을 조정하는 조정부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

**청구항 9**

제 8 항에 있어서, 상기 조정부는

상기 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태이고, 상기 제2 판단부의 판단 결과에 의해 무선 전력 송신기의 송신전력 값이 과도하여 무선 전력 수신기의 부하의 구동을 위해 설정한 허용 가능한 최대 수신전력을 초과하여 과전력 송신 상태인 것으로 판단하면, 공진 커패시터 값을 증가시키고, 증가한 공진 커패시터 값이 최대 값에 도달하면 증폭기의 전원전압을 감소시켜 무선 전력 송신기의 송신전력을 낮추는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

**청구항 10**

제 8 항에 있어서, 상기 조정부는

상기 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태이고, 상기 제2 판단부의 판단 결과에 의해 과전력 송신 상태가 아닌 것으로 판단하면, 공진 커패시터 값을 감소시키는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

**청구항 11**

제 8 항에 있어서, 상기 조정부는

상기 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태가 아니고, 상기 제2 판단부의 판단 결과에 의해 무선 전력 수신기의 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되지 않으면 무선 전력 수신기의 수신전력이 필요 이상으로 과도한지를 판단하여 과도하면 공진 커패시터 값을 변화시키지 않고 증폭기의 전원전압을 낮추어 무선 전력 송신기의 송신전력을 낮추는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

**청구항 12**

제 8 항에 있어서, 상기 조정부는

상기 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태가 아니고, 상기 제2 판단부의 판단 결과에 의해 무선 전력 수신기의 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되면 공진 커패시터 값을 감소시키고, 감소한 공진 커패시터 값이 최소 값에 도달했음에도 여전히 무선 전력 송신기의 송신전력이 낮으면 증폭기의 전원전압을 증가시켜 무선 전력 송신기의 송신전력을 높이는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

**청구항 13**

제 8 항에 있어서, 상기 수신전력 처리부는

무선 전력 수신기의 수신전력 값을 무선 전력 수신기로부터 블루투스 통신을 통해 수신하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 무선 전력 송수신 기술에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 6.78MHz 주파수를 이용하는 무선충전규격인 A4WP(Alliance for Wireless Power) 방식은 부하의 임피던스가 무선 전력 송신기(Power Transmitting Unit: PTU, 이하 PTU라 칭함)에 반영되므로, 부하의 임피던스에 의해 PTU를 구성하는 증폭기의 동작점과 출력전력이 결정된다. 따라서, 반영되는 부하의 임피던스에 따라 공진기를 튜닝하여 안정적인 동작점과 출력전력이 원활히 전달되도록 하는 자동 튜닝(auto tuning) 회로가 필요하다.

[0003] 공진기의 전압/전류를 감지하여 위상을 파악하고, 부하의 임피던스 변동에 따라 유사한 공진점에 있도록 공진기를 동작시키는 방법이 있다. 그러나 A4WP 방식에서는 공진기의 공진 주파수가 6.78MHz로 매우 빠르고 공진기 전압이 수백 V에 도달할 수 있기 때문에, 위상을 정확히 감지해 내는 회로를 구현하기는 쉽지 않다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 일 실시 예에 따라, 공진기의 위상정보를 측정하지 않으면서도 부하의 임피던스 변화에 자동 조정하여 안정적인 동작이 가능한 무선 전력 송신기를 제안한다.

**과제의 해결 수단**

[0005] 일 실시 예에 따른 무선 전력 송신기는 무선 전력 송신기를 구성하는 증폭기 내 스위치의 하드 스위칭 동작 상태를 감지하는 하드 스위칭 감지부와, 감지된 하드 스위칭 동작 상태에 따라 공진 커패시터의 값을 자동 조정하는 제어부를 포함한다.

[0006] 하드 스위칭 감지부는 스위치의 구동전압 신호로부터 스위치가 온(on) 되었는지를 감지하고 스위치 온(on) 되었을 때 스위치의 드레인 전압으로부터 하드 스위칭 동작 상태인지를 감지할 수 있다.

[0007] 제어부는 스위치의 동작 상태가 부하에 의해 공진 주파수가 높아져 하드 스위칭을 하는 상태이면 공진 커패시터 값을 증가시켜서 공진 주파수가 증가한 부분을 감소시키고, 부하에 의해 공진 주파수가 낮아져 하드 스위칭을 하는 상태이면 공진 커패시터 값을 감소시켜서 공진 주파수가 감소한 부분을 증가시킬 수 있다.

[0008] 제어부는 하드 스위칭 동작 상태와 함께, 증폭기의 출력전력 값 및 무선 전력 수신기의 수신전력 값을 이용하여 증폭기의 현재 동작 상태를 판단하고 판단 결과에 따라 공진 커패시터 값을 제어할 수 있다. 제어부는 공진 커패시터 값 제어와 함께 증폭기의 출력전력을 제어할 수 있다.

[0009] 공진 커패시터는 전기적으로 커패시터 값이 조정되는 가변 커패시터이고, 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치는 제어부의 제어에 의해 가변신호를 발생하여 가변 커패시터에 인가하는 DAC를 더 포함할 수 있다. 공진 커패시터는 각 커패시터 스위치와 연결되어 각 스위치의 스위칭에 의해 커패시터 값이 가변하는 다수의 커패시터이고, 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치는 제어부로부터 수신되는 스위치 제어신호에 따라 선택적으로 스위칭되는 다수의 커패시터 스위치를 더 포함할 수 있다.

[0010] 다른 실시 예에 따른 무선 전력 송신기 자동 튜닝 장치는, 무선 전력 송신기를 구성하는 증폭기 내 스위치의 하드 스위칭 동작 상태를 감지하는 하드 스위칭 감지부와, 하드 스위칭 감지부로부터 감지 신호를 수신하여 스위치가 하드 스위칭 동작 상태인지를 판단하는 제1 판단부와, 증폭기의 전원전압 및 전원전류 값을 획득하여 무선 전력 송신기의 송신전력 값을 계산하는 송신전력 처리부와, 무선 전력 수신장치로부터 수신전력 값을 획득하는 수신전력 처리부와, 계산된 송신전력 값과 획득된 수신전력 값을 이용하여 증폭기의 현재 동작 상태를 판단하는 제2 판단부와, 제1 판단부 및 제2 판단부의 판단 결과에 따라 공진 커패시터 값 및 증폭기의 출력전력을 조정하는 조정부를 포함한다.

- [0011] 조정부는 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태이고, 제2 판단부의 판단 결과에 의해 무선 전력 송신기의 송신전력 값이 과도하여 무선 전력 수신기의 부하의 구동을 위해 설정한 허용 가능한 최대 수신전력을 초과하여 과전력 송신 상태인 것으로 판단되면 공진 커패시터 값을 증가시키고, 증가된 공진 커패시터 값이 최대 값에 도달되면 증폭기의 전원전압을 감소시켜 무선 전력 송신기의 송신전력을 낮출 수 있다.
- [0012] 조정부는 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태이고, 제2 판단부의 판단 결과에 의해 과전력 송신 상태가 아닌 것으로 판단되면 공진 커패시터 값을 감소시킨다.
- [0013] 조정부는 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태가 아니고, 제2 판단부의 판단 결과에 의해 무선 전력 수신기의 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되지 않으면 무선 전력 수신기의 수신전력이 필요 이상으로 과도한지를 판단하여 과도하면 공진 커패시터 값을 변화시키지 않고 증폭기의 전원전압을 낮추어 무선 전력 송신기의 송신전력을 낮출 수 있다.
- [0014] 조정부는 제1 판단부의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태가 아니고, 제2 판단부의 판단 결과에 의해 무선 전력 수신기의 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되면 공진 커패시터 값을 감소시키고, 감소한 공진 커패시터 값이 최소 값에 도달했음에도 여전히 무선 전력 송신기의 송신전력이 낮으면 증폭기의 전원전압을 증가시켜 무선 전력 송신기의 송신전력을 높일 수 있다.
- [0015] 수신전력 처리부는 무선 전력 수신기의 수신전력 값을 무선 전력 수신기로부터 블루투스 통신을 통해 수신할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0016] 일 실시 예에 따르면, 스위치의 동작 상태, 특히 하드 스위칭 상태를 감지하여 자동 튜닝을 시도하므로 스위치를 빠르게 보호할 수 있을 뿐 아니라, 복잡하고 정교한 임피던스 감지 회로가 필요 없으므로 매우 간단하게 자동 튜닝을 수행할 수 있다. 나아가, 공진기의 위상 정보를 측정하지 않으면서도 공진기를 튜닝하여 증폭기가 안정적인 동작점에서 출력전력을 원활히 전달되도록 한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0017] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 증폭기를 이용한 무선 전력 송수신 시스템의 구성도,
- 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따라 PRU에서 PTU로 옮겨진 부하 임피던스(Reflected load impedance, ZRF)를 포함하는 PTU의 회로도,
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 A4WP Class-3 PTU의 부하 임피던스를 도시한 스미스 차트(smith chart),
- 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 증폭기의 ZVS 및 하드 스위칭(Hard-switching) 동작을 보이는 스위치의 드레인 전압의 파형도,
- 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 직렬 공진 커패시터 Cs와 ZRF에 의한 증폭기의 동작점 변화를 보여주는 표,
- 도 6 내지 도 8은 도 5의 표에 따른 시간 당 전압 변화를 도시한 그래프,
- 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 PTU의 자동 튜닝(auto-tuning) 회로 구성도,
- 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 도 9의 제어부의 세부 구성도,
- 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 PTU의 자동 튜닝 방법을 도시한 흐름도,
- 도 12 및 도 13은 본 발명의 다양한 실시 예에 따른 커패시터(Variable capacitor) 구현 예이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0018] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를

지칭한다.

[0019] 본 발명의 실시 예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이며, 후술되는 용어들은 본 발명의 실시 예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 이하, 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 상세하게 설명한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 증폭기를 이용한 무선 전력 송수신 시스템의 구성도이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 무선 전력 송수신 시스템은 무선 전력 송신기(Power Transmitting Unit: PTU, 이하 PTU라 칭함)(10)와 무선 전력 수신기(Power Receiving Unit: PRU, 이하 PRU라 칭함)(12)를 포함한다.

[0022] PTU(10)는 증폭기와 공진기를 포함한다. 증폭기는 class-E 증폭기일 수 있다. 증폭기는 쇼크 인덕터(choke inductor) Lch(101)와 스위치(100), 스위치(100)와 병렬 연결되는 커패시터 Cp(102)를 포함한다. 스위치(100)의 스위칭 동작에 의해 유기된 Lch 전류가 송신 안테나 Ltx(104)에 공급되어 PRU(12)에 무선 전력신호를 공급한다. 스위치(100)는 MOSFET 트랜지스터일 수 있다. 그러나 스위치(100)는 스위칭 동작이 가능한 능동소자, 예를 들어 BJT, SiC FET, GaN FET 등의 소자로 대체하여도 동일한 기능을 수행할 수 있다.

[0023] 공진기는 공진 커패시터 Cs(103)와 송신 안테나 Ltx(104)를 포함하며, 인덕터 Le(105)를 더 포함할 수 있다. 공진 커패시터 Cs(103)는 송신 안테나 Ltx(104)와 함께 공진기를 구성하여 공진 주파수를 결정한다. 공진 주파수는 스위치(100)의 구동 주파수와 일치시키는 것이 일반적이다. 인덕터 Le(105)는 전류의 지연을 유발하여 스위치(100)가 영전압 스위칭(zero-voltage switching: ZVS, 이하 ZVS라 칭함)이 되도록 하는 역할을 한다. 인덕터 Le(105)를 제거하고 공진 커패시터 Cs(103)를 키워서 인덕터 Le(105)가 발생시키는 양과 동일한 전류 위상 지연을 발생시킬 수도 있다. 그러나 도 1에서는 일반적인 증폭기의 구성에 준하여 설명하고자 인덕터 Le(105)를 제거하지 않았다. 스위치(100)와 병렬로 연결되는 커패시터 Cp(102)도 스위치(100)가 ZVS 동작을 하도록 적당한 값으로 설정되어야 한다.

[0024] PRU(12)는 수신 안테나 Lrx(120)와, 공진을 위한 커패시터 Csr(124)과, 부하 임피던스 ZL(122)로 간단하게 등가화 가능하다. 수신 안테나 Lrx(120)와 커패시터 Csr(124)에 의한 공진 주파수가, 송신 안테나 Ltx(104)와 공진 커패시터 Cs(103)에 의한 공진 주파수와 동일할 때 최적의 전력 전송이 가능하므로 스위치(100)의 구동 주파수(driving frequency)를 fr이라고 한다면 다음 수학적 식 1과 같은 조건을 만족하는 것이 좋다.

$$fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{Ltx \cdot Cs}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lrx \cdot Csr}}$$

[0025] [수학적 식 1]

[0026] 도 1의 k는 두 개의 안테나 Ltx(104), Lrx(120) 사이의 커플링 정도를 나타내는 커플링 계수(coupling coefficient)로써, 0 ~ 1 사이의 값을 가진다. 만약 수학적 식 1을 만족한다면, PRU(12)의 부하 임피던스 ZL(122)은 PTU(10)로 옮겨지며(reflected), 도 2에 도시된 바와 같이 등가화 가능하다.

[0027] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따라 PRU에서 PTU로 옮겨진 부하 임피던스(Reflected load impedance, ZRF)를 포함하는 PTU의 회로도이다.

[0028] 도 1 및 도 2를 참조하면, PRU(12)에서 PTU(10)로 옮겨진 임피던스는 ZRF(106)로 표현되며 ZRF(106)는 아래와 같은 수학적 식 2를 만족한다.

$$ZRF = \frac{(2\pi fr)^2 \cdot k^2 \cdot Ltx \cdot Lrx}{ZL}$$

[0029] [수학적 식 2]

[0030] 수학적 식 2에 있어서, ZRF(106)는 ZL(122)의 역수에 비례하고 k에 비례하는 값이 된다. ZL(122)이 완전 저항체라면 ZRF(106)도 저항으로 보이지만, ZL(122)은 유도성(inductive) 또는 용량성(capacitive) 부하가 될 수 있다. 따라서, 임피던스 ZRF(106)도 유도성 또는 용량성 부하가 될 수 있으므로, 수학적 식 3에서와 같이, PTU(10)의 부하 임피던스 ZRF(106)는 실수부인 저항 R과 허수부인 리액턴스 X가 결합한 임피던스 성분으로 볼 수 있다.



$$ZRF = R + jX$$

- [0031] [수학식 3]
- [0032] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 A4WP Class-3 PTU의 부하 임피던스를 도시한 스미스 차트(smith chart)이다.
- [0033] 6.78MHz 주파수를 이용하는 무선 충전 규격인 A4WP(Alliance for Wireless Power)에는 PTU의 출력전력(output power)을 클래스(class)로 나누고 있으며, 클래스에 따른 임피던스 규격이 있다. 16W를 출력하는 Class-3의 경우 만족해야 할 임피던스를 스미스 차트 상에 나타내면 도 3에 도시된 바와 같다.
- [0034] 도 3을 참조하면, 저항 R의 경우 최대 55 [Ohm]까지이고, 리액턴스 X는 최소 -150에서 10에 해당하는 범위까지 원활한 동작이 가능해야 한다. 원활한 동작이란 PTU의 증폭기가 PRU에 필요로 하는 전력을 공급할 수 있어야 하고 class-E 증폭기에 무리가 가지 않는 안정적인 동작 상태를 의미한다. 이러한 광범위한 ZRF 영역에서는 증폭기의 동작점이 변화하게 되어 크게 3가지 동작이 가능하다. 증폭기의 동작 상태는 도 4에 도시된 바와 같이 스위칭 소자의 드레인 전압(drain voltage) Vd를 관찰함으로써 알 수 있다.
- [0035] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 증폭기의 ZVS 및 하드 스위칭(Hard-switching) 동작을 보이는 스위치의 드레인 전압의 파형도이다.
- [0036] 도 2 및 도 4를 참조하면, 스위치(100)가 on 되어 있을 때 스위치(100)의 드레인 전압 Vd는 0V 근처가 된다. 그러나 스위치(100)가 off 되면 공진기의 전류와 초크 인덕터 Lch(101)의 전류에 의해 도 4에 도시된 바와 같이 스위치(100)의 드레인 전압 Vd이 상승과 하강을 반복하게 된다. 일반적으로 ZRF(106)의 임피던스가 class-E 증폭기 설계시 고려된 영역에 있다면, 도 4의 ZVS 조건(400)을 만족하여 드레인 파형은 반파 정현파와 유사하게 움직이고 스위치(100)가 on 되기 직전 0V 전압이 된다. 따라서 이러한 동작을 ZVS(zero-voltage switching)이라 한다. ZVS 조건(400)이 되면 스위치(100)가 on 될 때 커패시터 Cp(102)의 전압은 0이 되므로 커패시터 Cp(102)를 방전할 때 발생하는 전류 스파이크(current spike)가 발생하지 않으며 추가적인 손실(loss)이 발생하지 않아 가장 이상적인 동작 상태가 된다.
- [0037] 그러나 ZRF(106)의 상태에 따라 공진기의 전류가 작을 수 있다. 이 경우에는 커패시터 Cp(102)의 충전이 원활하지 않아, 도 4의 하드 스위칭 타입-I(hard-switching type-I: HS1, 이하 HS1이라 칭함)(410)과 같은 파형이 발생할 수 있다. HS1 조건(410)에서는 드레인 전압 Vd의 피크(peak)는 작지만 스위치(100)가 on 될 때 드레인 전압 Vd이 0이 아니므로 전류 스파이크(current spike)가 발생하고 커패시터 Cp(102)를 방전하는 과정에서 과도한 전류에 의한 발열이 발생한다. 이 경우는 ZRF(106)의 X 성분이 (+)가 되어 커패시터 Cs(103), 송신 안테나 Ltx(104)와 함께 공진 주파수를 낮추는 경우 주로 발생이 된다.
- [0038] 만약 ZRF(106)의 X가 큰 크기를 갖는 (-) 값인 경우에는 커패시터 Cs(103), 송신 안테나 Ltx(104)와 함께 공진 주파수를 높게 되고 공진 주파수가 fr 보다 같거나 커질 수 있다. 이 경우에는 도 4에 도시된 바와 같이, 피크(peak)가 2번 발생하면서 하드 스위칭(hard-switching)이 일어나는 하드 스위칭 타입-II(hard-switching type-II: HS2, 이하 HS2라 칭함)(420) 동작을 하게 된다. HS1(410), HS2(420) 동작 모두 지양해야 할 조건이지만, HS2(420)가 스위칭이 시작하는 시점에서 더 높은 드레인 전압을 유발할 수 있으므로 HS2(420)가 더 취약한 동작 상태라 할 수 있다. HS1(410), HS2(420) 동작을 하게 되면 스위치(100)의 발열이 급격히 증가하여 스위치(100)가 파괴될 수도 있다.
- [0039] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 직렬 공진 커패시터 Cs와 ZRF에 의한 증폭기의 동작점 변화를 보여주는 표이고, 도 6 내지 도 8은 도 5의 표에 따른 시간 당 전압 변화를 도시한 그래프이다.
- [0040] 도 5는 저항 R을 1 ~ 55, 인덕턴스 X를 -150 ~ 10까지 변화시키면서 PTU를 모의 실험한 결과이다. 도 5의 표에서, Po는 출력 실효 전력을 의미하며 단위는 [W]이다. Op는 동작 상태를 의미하는 것으로 ZVS, HS1, HS2 3가지로 정리되어 있다. Cs=160pF 일 때 X가 -75 이하가 되면 HS2(510) 동작이 발생한다. 이때 Cs를 약간 키워서 Cs=160pF+50pF으로 설정할 경우 HS2(510) 동작이 되는 X 조건이 줄어들어서 -125 이하일 때 HS2(510) 동작이 발생한다. Cs를 160pF+100pF으로 더 키워서 X가 -150일 때도 ZVS(520) 동작이 가능하지만, X가 (+) 혹은 (-)로 작은 값일 때 HS1(530) 동작을 함을 알 수 있다. 이 모의실험에서 R 값은 55 Ω(옴)으로, 이 상태일 때 16W 출력이 가능해야 한다. VDC 조건은 30V였고 VDC를 증가시키면 출력전력이 증가할 수 있으므로 13W 이상일 경우 VDC를 약간 증가시킬 수 있다는 가정하에 출력전력을 만족한다고 보았다. 도 5의 표에서 굵은 선으로 한정되어 있는 부분이 ZVS 조건과 출력전력을 만족하는 상태이므로, ZVS가 된다 하더라도 출력전력 조건을 만족



시키기 위해 공진기의 튜닝 지점(tuning point)이 달라질 필요가 있음을 알 수 있다.

- [0041] 위의 동작 상태를 보면, HS2(510) 동작이 발생하면 커패시터 Cs의 값을 증가시켜서 -X에 의한 공진 주파수가 증가한 부분을 감소시키면 되고, HS1(530) 동작이 발생하면 일반적으로 출력전력이 원활치 않은 상태가 되므로 커패시터 Cs의 값을 감소시켜서 공진 주파수를 다소 높여야 된다는 것을 실험적으로 알 수 있다.
- [0042] 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 PTU의 자동 튜닝(auto-tuning) 회로 구성도이다.
- [0043] 도 9를 참조하면, 제어부(108)는 공진기의 공진 주파수를 제어하는데, 이를 위해 공진 커패시터 Cs를 자동 튜닝한다. 공진 커패시터 Cs의 자동 튜닝에 따라 공진기에 출력전력을 전송하는 증폭기가 안정적인 동작점에서 원활히 출력전력을 전송할 수 있다. 도 9의 VDC는 증폭기에 인가된 DC 전원전압이고, IDC는 DC 전원으로부터 공급되는 전류의 양이므로  $VDC \times IDC$ 는 증폭기의 전력 소모이다. 이 전력 소모는 증폭기의 출력전력과 비례하는 값이 된다.
- [0044] 일반적으로 증폭기에서 출력전력을 높이는 방법은 DC 전원전압 VDC를 증가시키는 방법을 사용하고 있다. 하드 스위칭 감지부(Hard-switching detector)(107)는 스위치(100)의 드레인 전압 Vd 감지를 통해, 게이트 구동신호 Vgate가 하이(high)가 되어 스위치가 켜질(turn-on) 때 하드 스위칭이 일어나는지를 감지한다. 그리고 감지된 하드 스위칭 여부를 논리 레벨(logic level) 신호로 출력한다. 따라서, 하드 스위칭 감지를 위해서는 게이트 구동신호 Vgate와 스위치 드레인 신호 Vd가 필요하다. 하드 스위칭 감지부(107)는 비교기와 여러 회로의 조합으로 구성될 수 있으나, 구현 방법이 다양하므로 본 발명에서는 특별히 회로를 한정 짓지 않는다.
- [0045] 제어부(108)는 하드 스위칭 감지부(107)로부터 수신된 신호로부터 현재 스위치의 동작 상태를 판단한다. 그리고 판단 결과에 따라 공진 커패시터 Cs의 값을 조정하는 신호를 발생하여 공진기를 자동 튜닝한다. 예를 들어, 스위치의 동작 상태가 부하에 의해 공진 주파수가 높아져 하드 스위칭을 하는 상태(HS2)이면 공진 커패시터 Cs의 값을 증가시켜서 공진 주파수가 증가한 부분을 감소시킨다. 이에 비해, 부하에 의해 공진 주파수가 낮아져 하드 스위칭을 하는 상태(HS1)이면 공진 커패시터 Cs의 값을 감소시켜서 공진 주파수가 감소한 부분을 증가시킨다.
- [0046] 일 실시 예에 따른 제어부(108)는 하드 스위칭 동작 상태와 함께, 증폭기의 출력전력 값 및 PRU의 수신전력 값을 이용하여 증폭기의 현재 동작 상태를 판단한다. DC 전원전압 VDC와 DC 전원전류 IDC로부터 현재 증폭기의 출력전력을 계산할 수 있다. 증폭기의 현재 동작 상태 판단 결과에 따라 공진 커패시터 CS의 값과 증폭기에 인가되는 DC 전원전압 VDC를 제어하여 PTU를 자동 튜닝할 수 있다. 제어부(108)의 PTU 자동 튜닝 실시 예에 대해서도 10을 참조로 하여 후술한다. PRU의 수신전력 값은 블루투스(Bluetooth) 통신을 통해 PTU에 전달될 수 있다. 제어부(108)는 마이크로컨트롤러(micro-controller) 등으로 구성되어 있다.
- [0047] 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 도 9의 제어부의 세부 구성도이다.
- [0048] 도 9 및 10을 참조하면, 제어부(108)는 제1 판단부(1080), 송신전력 처리부(1082), 수신전력 처리부(1084), 제2 판단부(1086) 및 조정부(1088)를 포함한다.
- [0049] 제1 판단부(1080)는 하드 스위칭 감지부(107)로부터 감지 신호를 수신하여 스위치가 하드 스위칭 동작 상태인지를 판단한다. 수신되는 감지 신호는 로직 레벨 형태로, 하드 스위칭 동작 상태 여부를 알 수 있다. 송신전력 처리부(1082)는 증폭기의 DC 전원전압 VDC 및 DC 전원전류 IDC 값을 획득하여 PTU의 송신전력 값을 계산한다. 수신전력 처리부(1084)는 PRU로부터 수신전력 값을 획득한다. 제2 판단부(1086)는 송신전력 처리부(1082)를 통해 계산된 송신전력 값과 수신전력 처리부(1084)를 통해 획득된 수신전력 값을 이용하여 증폭기의 현재 동작 상태를 판단한다. 조정부(1088)는 제1 판단부(1080)와 제2 판단부(1086)의 판단 결과에 따라 공진 커패시터 Cs의 값과 증폭기의 출력전력을 조정한다. 증폭기의 출력전력 조정은 증폭기에 인가되는 DC 전원전압 VDC 조정을 통해 이루어질 수 있다.
- [0050] 일 실시 예에 따른 조정부(1088)는 제1 판단부(1080)의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태이고, 제2 판단부(1086)의 판단 결과에 의해 PTU의 송신전력 값이 과도하여 PRU의 부하 구동을 위해 설정한 허용 가능한 최대 수신전력보다 높아 과전력 송신 상태인 것으로 판단하면, 공진 커패시터 Cs의 값을 증가시킨다. 이때, 증가한 공진 커패시터 Cs의 값이 최대 값에 도달하면, 증폭기의 DC 전원전압 VDC를 감소시켜 PTU의 송신전력을 낮춘다.
- [0051] 일 실시 예에 따른 조정부(1088)는 제1 판단부(1080)의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태이고, 제2 판단부(1086)의 판단 결과에 의해 과전력 송신 상태가 아닌 것으로 판단하면, 공진 커패시터 Cs의 값을 감소시킨다.

- [0052] 일 실시 예에 따른 조정부(1088)는 제1 판단부(1080)의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태가 아니고, 제2 판단부(1086)의 판단 결과에 의해 PRU의 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되지 않으면 PRU의 수신전력이 필요 이상으로 과도한지를 판단한다. 과도하면 공진 커패시터 Cs의 값은 변화시키지 않고 증폭기의 DC 전원전압 VDC를 낮추어 PTU의 송신전력을 낮춘다.
- [0053] 일 실시 예에 따른 조정부(1088)는 제1 판단부(1080)의 판단 결과에 의해 스위치가 하드 스위칭 동작 상태가 아니고, 제2 판단부(1086)의 판단 결과에 의해 PRU의 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되면 공진 커패시터 Cs의 값을 감소시킨다. 이때, 감소한 공진 커패시터 Cs의 값이 최소 값에 도달했음에도 여전히 PTU의 송신전력이 낮으면 증폭기의 DC 전원전압 VDC를 증가시켜 PTU의 송신전력을 높인다.
- [0054] 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 PTU의 자동 튜닝 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0055] 도 11의 PTU의 자동 튜닝 프로세스는 도 9의 제어부(108)에서 수행될 수 있다. 공진 커패시터 Cs의 값은 최대 값  $C_{s,max}$ 까지 변화할 수 있다고 가정한다. 동작을 할 때 공진 커패시터 Cs의 값은 어떠한 값이 되든 상관없으나, 동작의 안정성을 고려한다면 공진 주파수가 낮은 지점부터 동작하는 것이 좋으므로 시작과 동시에 공진 커패시터 Cs의 값은 최대 값  $C_{s,max}$ 에 있도록 설정한다( $C_s = C_{s,max}$ )(1100). 또한, 증폭기는 아직 동작 이전이므로, 증폭기의 DC 전원전압 VDC는 최소 값  $V_{DC,min}$ 이다( $V_{DC} = V_{DC,min}$ )(1100).
- [0056] 이어서, 증폭기가 동작하면 하드 스위칭 여부를 판단한다(1102). 만약 하드 스위칭 동작 상태가 아니라면 ZVS 동작을 하므로 증폭기의 동작은 정상적인 상태이다. 정상 상태이면, PRU에서 공급받는 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되는지 판단(1104)하여, 만약 최소 수신전력에 미달되지 않는다면 공진 커패시터 Cs, DC 전원전압 VDC 모두 제대로 설정된 상태이므로 해당 값을 변화시키지 않는다(1110). 단 PRU에서 부하 구동을 위해 설정한 허용 가능한 최대 수신전력 이상으로 과도한 전력을 수신하고 있는지를 판단(1106)하여, 최대 수신전력을 초과하면 공진 커패시터 Cs의 값을 변화시키지 않고 DC 전원전압 VDC를 감소(1108)시켜 PTU 송신전력을 낮춘다.
- [0057] PRU에서 충분한 전력을 수신하고 있는지 판단하는 단계(1104)에서, PRU에서 공급받는 수신전력이 부하의 구동을 위해 설정한 최소 수신전력에 미달되는 경우, 커패시터 Cs의 값을 감소시켜서(1112) 공진 주파수를 높인다. 커패시터 Cs의 값을 감소시켜 최소 값인  $C_{s,min}$ 에 도달(1114) 했음에도 여전히 PRU의 수신전력이 낮을 때는 DC 전원전압 VDC를 증가시킨다(1116).
- [0058] 하드 스위칭 여부 판단 단계(1102)에서, 하드 스위칭이 발생하고 있는 것으로 판단되면, PRU 수신전력이 부하 구동을 위해 설정한 허용 가능한 최대 수신전력을 초과하는지 여부를 판단한다(1118). PTU의 송신전력이 과도하여 PRU의 허용 가능한 최대 수신전력을 초과하는 경우는 효율이 매우 감소하고 있는 상황이라 판단되므로 HS2 동작을 하고 있는 것이다. 따라서 이 경우는 커패시터 Cs의 값을 증가시킨다(1122). 단, 커패시터 Cs의 값이 최대 값  $C_{s,max}$ 에 도달했는지 판단(1124)하여 최대 값  $C_{s,max}$ 이면 DC 전원전압 VDC를 감소(1126)시켜 PTU의 송신전력을 낮춘다.
- [0059] 하드 스위칭 동작 상태이기는 하지만 PRU가 공급받는 전력이 허용 가능한 최대 수신전력을 초과하지 않을 때는 공진기의 전류가 작아서 HS1 상태에 동작하는 것으로 판단할 수 있다. 이 경우, 공진 주파수를 증가시키기 위해 커패시터 Cs의 값을 감소시킨다(1120).
- [0060] 기존의 PTU 자동 튜닝 방법과 비교했을 때, 직렬 공진 커패시터  $C_p$ 를 변화시켜서 증폭기의 동작이 안정되게 하고 PRU에 원하는 전력을 공급하게 할 수 있게 동작하는 것은 동일하다. 그러나 기존의 방법은 공진기의 임피던스를 측정하여 그 정보로부터 위상을 측정하여 커패시터를 튜닝한다. 즉, 가능하면 모든 임피던스 조건에서 공진점이 일정하도록 제어를 하게 된다. 이에 비하여, 본 발명에서 제안하는 방법은 스위치의 동작 상태, 특히 하드 스위칭 상태를 감지하여 자동 튜닝을 시도하므로 스위치를 빠르게 보호할 수 있을 뿐 아니라, 복잡하고 정교한 임피던스 감지 회로가 필요 없으므로 매우 간단하게 자동 튜닝을 수행할 수 있다.
- [0061] 도 12 및 도 13은 본 발명의 다양한 실시 예에 따른 커패시터(Variable capacitor) 구현 예이다.
- [0062] 도 12 및 도 13을 참조하면, 자동 튜닝을 통해 조정되는 커패시터는 가변 커패시터(Variable capacitor)일 수 있다. 가변 커패시터는 도 12에 도시된 바와 같이 전기적으로 튜닝이 가능한 커패시터 소자(Electrical Tunable capacitor)(1200)를 사용할 수 있다. 이 경우, 가변신호를 발생시키기 위해 DAC(digital-to-analog converter)(1210)가 필요할 수 있다. DAC(1210)를 제어하는 신호는 도 9의 제어부(108)에서 제공된다.
- [0063] 도 12의 가변 커패시터(1200)를 사용하지 않고, 도 13에 도시된 바와 같이 커패시터 스위치(1310-1, ..., 1310-n)와

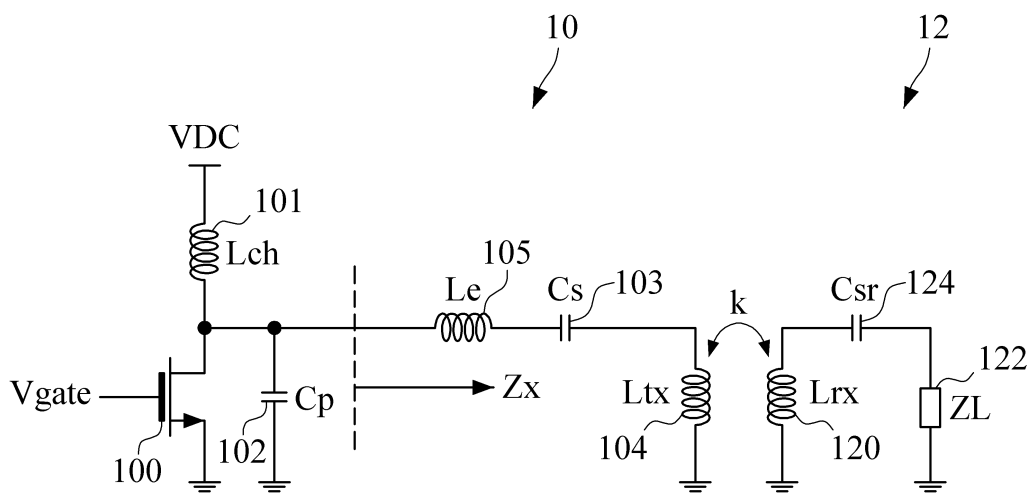
커패시터(1300-1, ..., 1300-n)의 조합으로 커패시터 값을 가변시킬 수 있다. 예를 들어, 커패시터 스위치(1310-1, ..., 1310-n)를 선택적으로 온/오프시켜 온 되는 커패시터 스위치와 연결된 커패시터를 통해 커패시터 값을 가변시킬 수 있다. 이를 위해, 커패시터 스위치(1310-1, ..., 1310-n)는 제어부(108)로부터 수신되는 스위치 제어신호  $V_{c<1>}$  ~  $V_{c<n>}$ 에 따라 선택적으로 스위칭된다.

[0064]

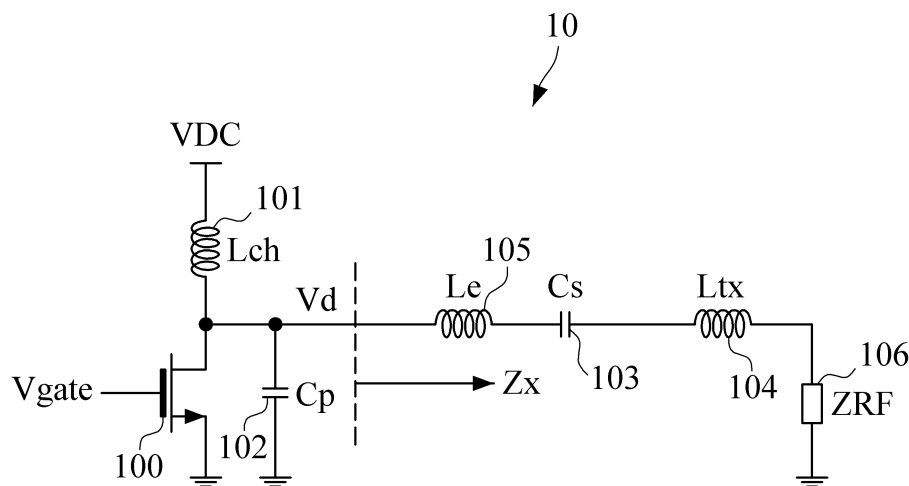
이제까지 본 발명에 대하여 그 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

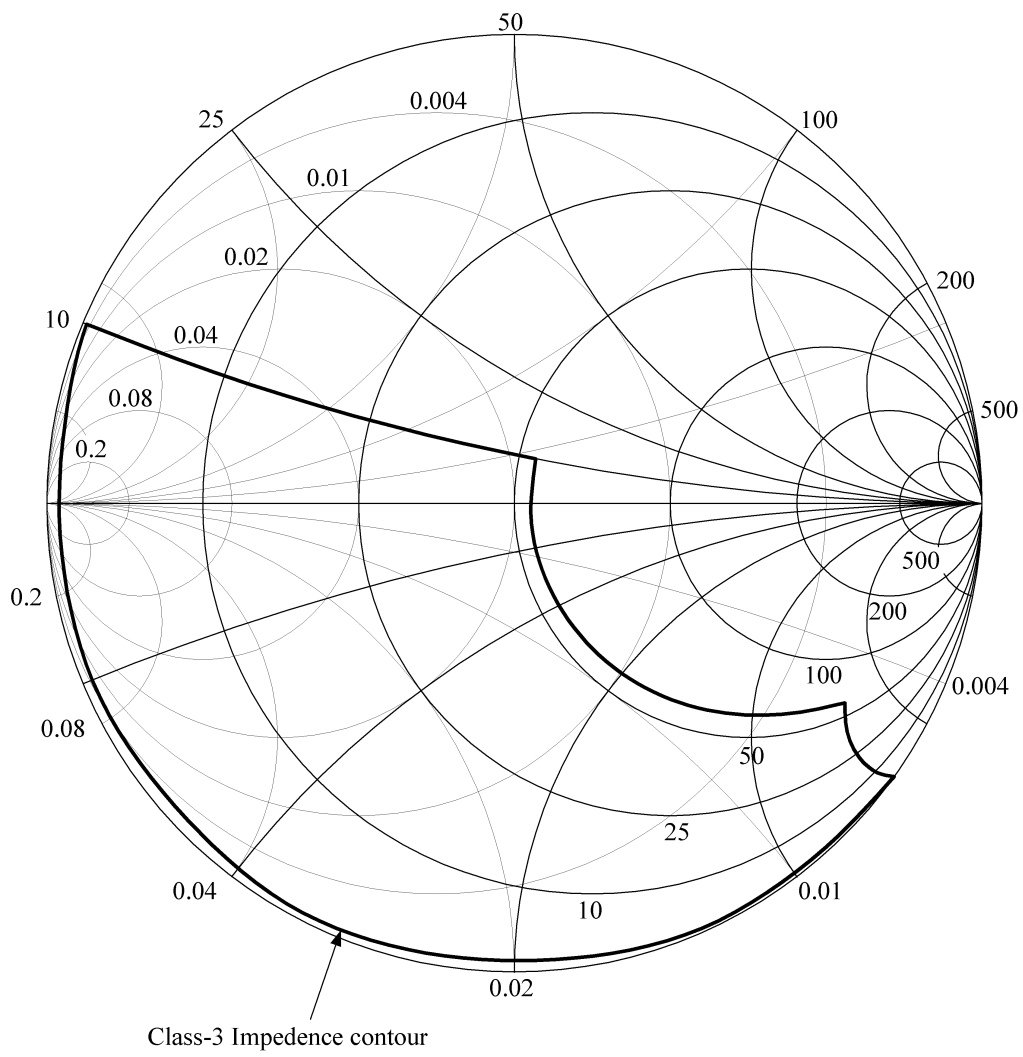
도면1



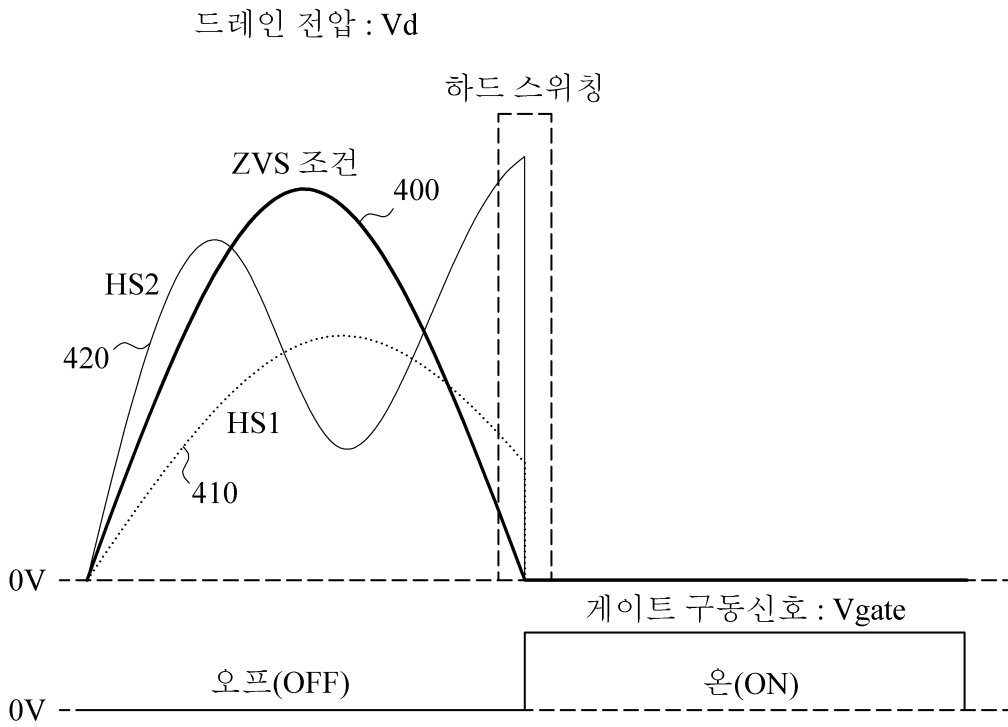
도면2



도면3



도면4



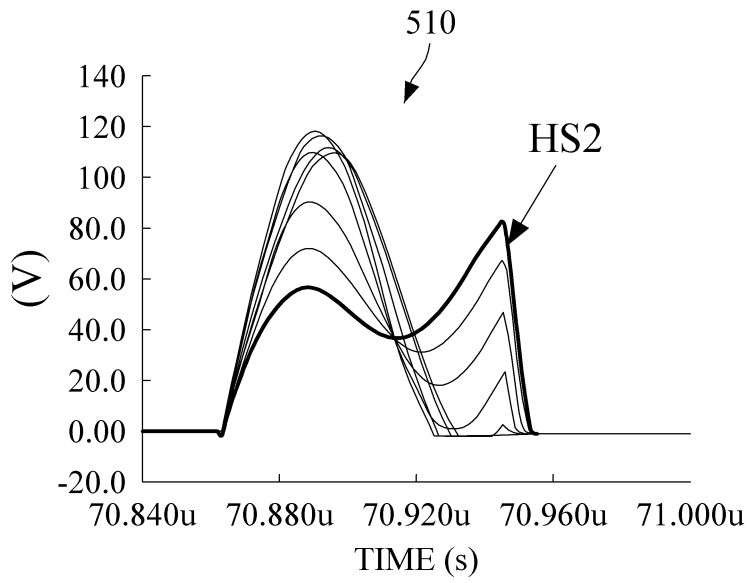
도면5

| jx   | Cs=160p+0p |     | Cs=160p+50p |     | Cs=160p+100p |     |
|------|------------|-----|-------------|-----|--------------|-----|
|      | Po         | Op  | Po          | Op  | Po           | Op  |
| -150 | 21.3       | HS2 | 35.93       | HS2 | 29.34        | ZVS |
| -125 | 26.81      | HS2 | 34.94       | HS2 | 20.25        | ZVS |
| -100 | 32.69      | HS2 | 26.57       | ZVS | 13.83        | ZVS |
| -75  | 36.36      | ZVS | 18.08       | ZVS | 9.62         | ZVS |
| -50  | 33.45      | ZVS | 12.45       | ZVS | 6.82         | ZVS |
| -25  | 24.44      | ZVS | 8.69        | ZVS | 5.08         | HS1 |
| 0    | 16.6       | ZVS | 6.22        | HS1 | 4.01         | HS1 |
| 10   | 14.27      | ZVS | 5.52        | HS1 | 3.7          | HS1 |

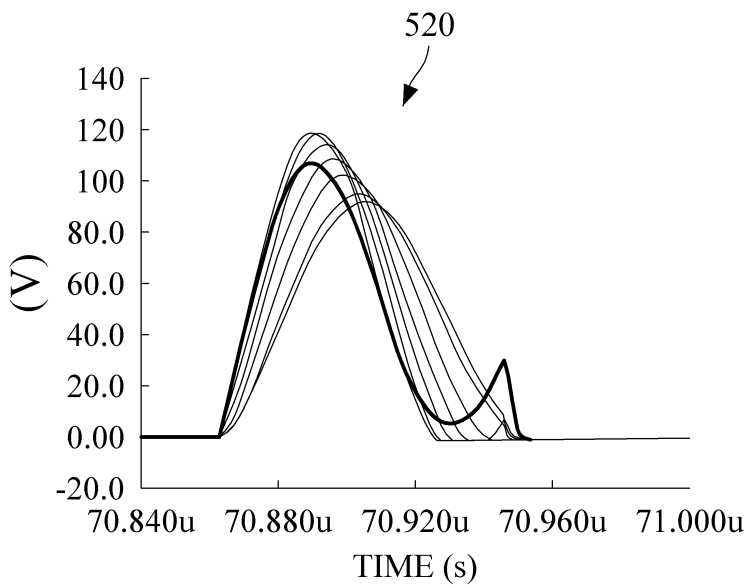
ZVS와 power 조건을 만족하는 구간

510 →      520      530

도면6

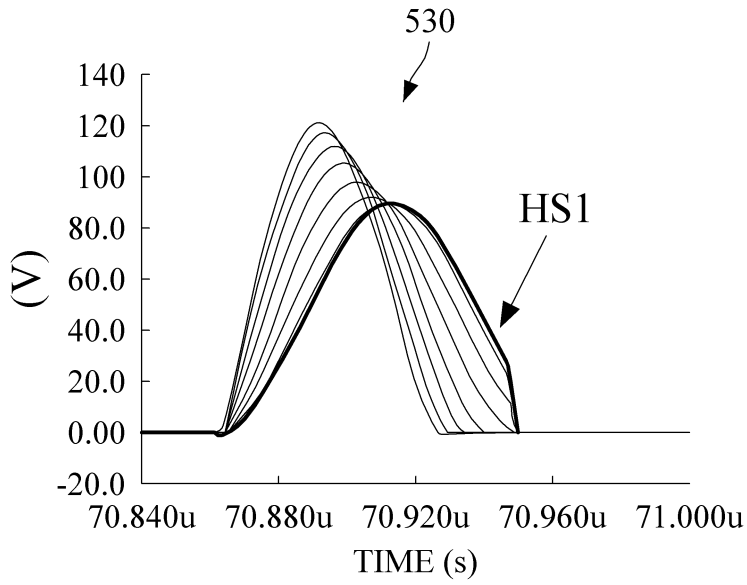


도면7

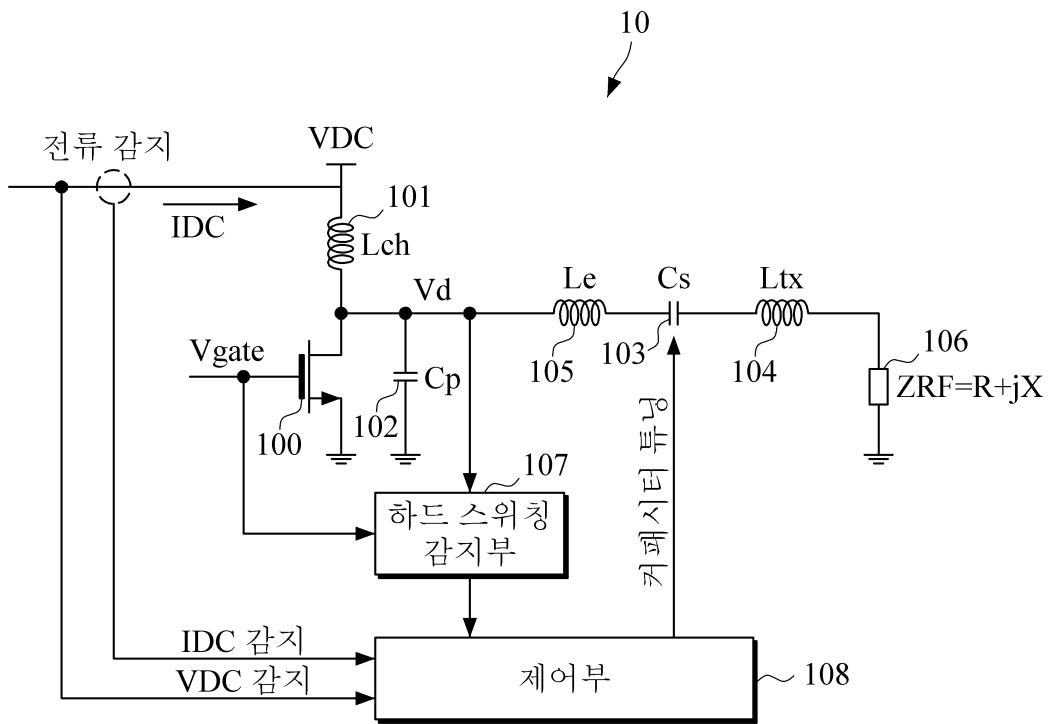




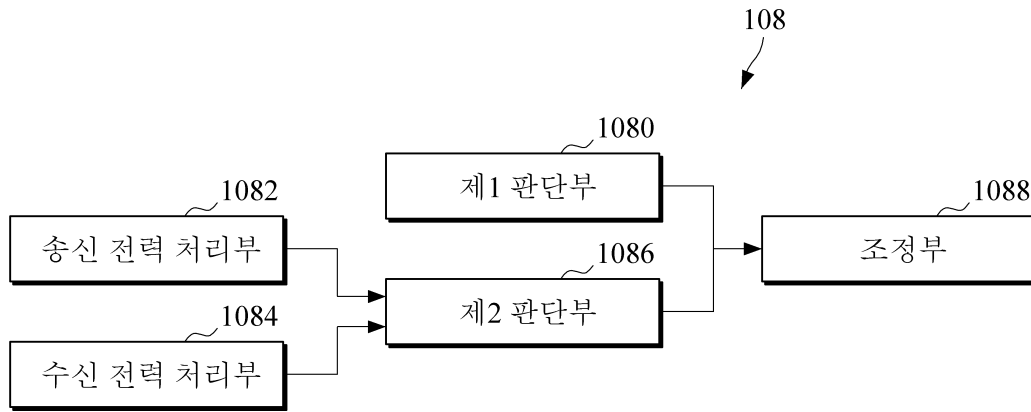
도면8



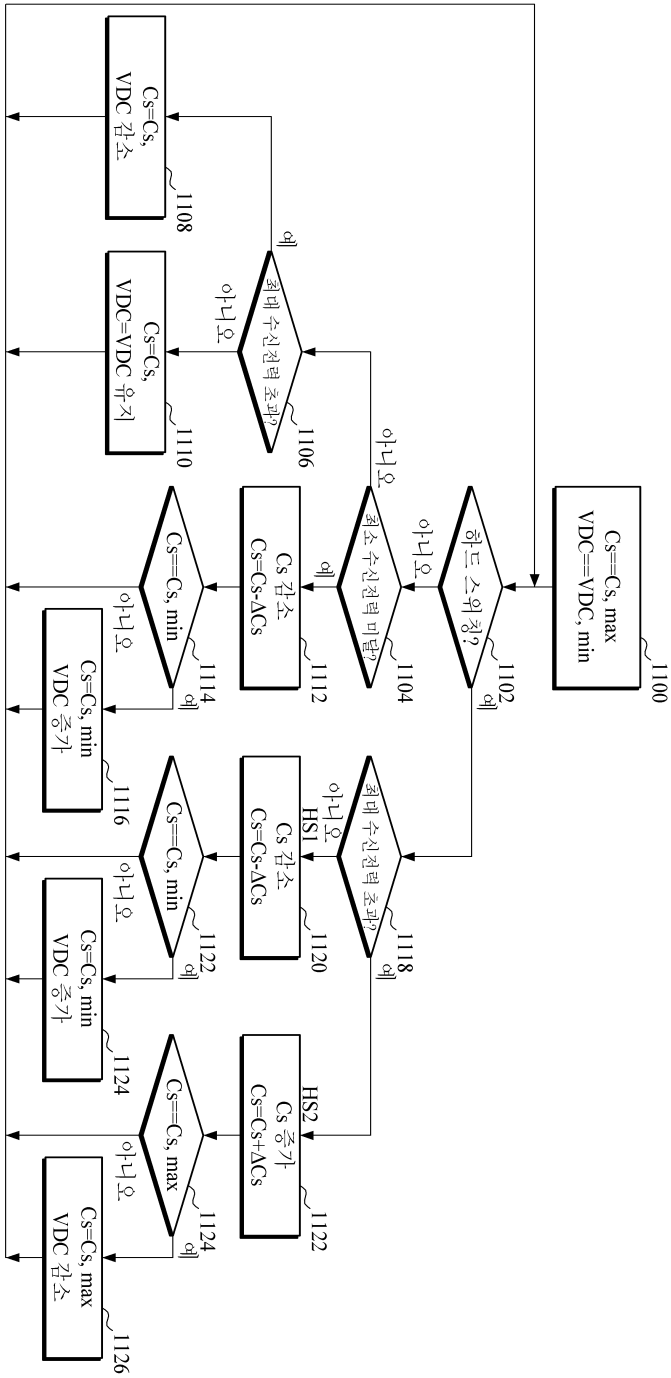
도면9



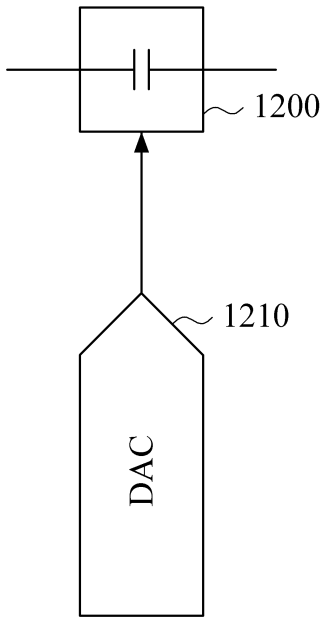
도면10



도면11



도면12



도면13

