

모놀리식 풀 브리지 AutoResonant™ 트랜스미터 사용한 무선 배터리 충전 설계



무선으로 전력을 제공하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 수 인치 미만의 짧은 간격일 때는 용량 또는 유도 결합을 사용한다. 유도 결합 방식을 활용한 솔루션으로, 모놀리식 풀 브리지 AutoResonant™ 트랜스미터 IC를 사용한 간소한 무선 배터리 충전 시스템 설계 방법을 소개한다.

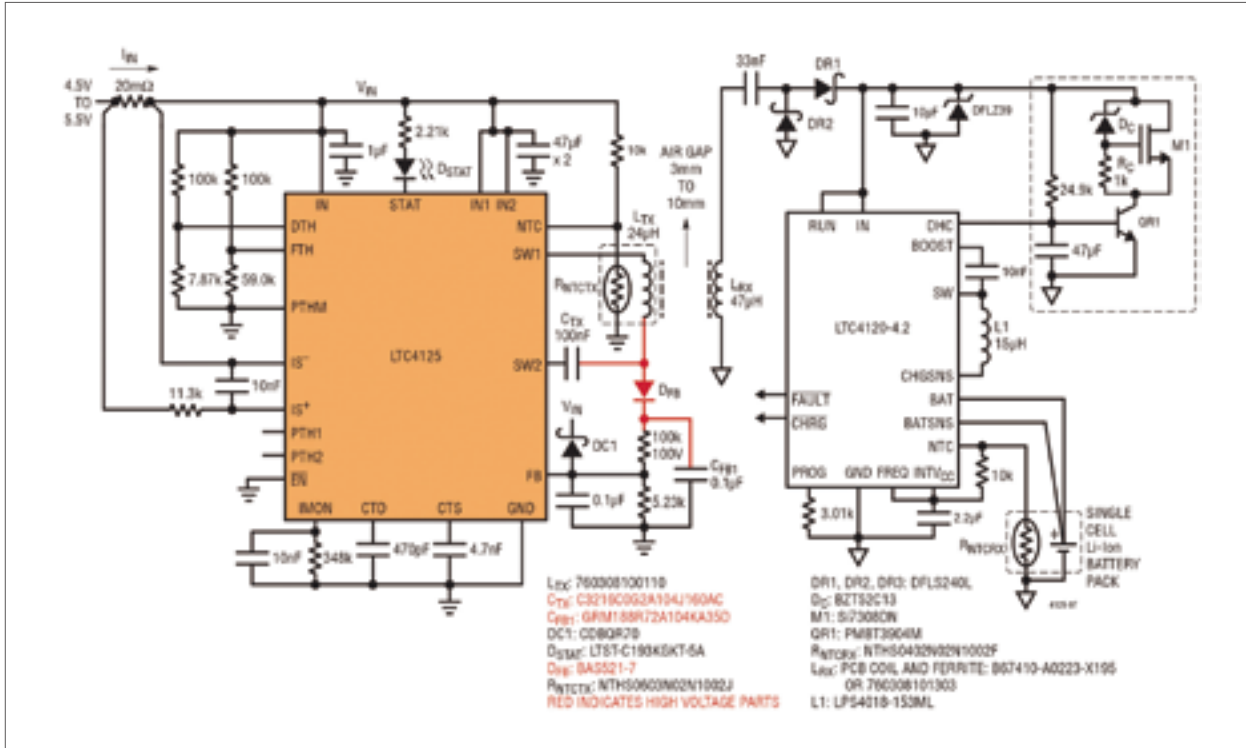


글 | 에코 리수완디(Eko Lisuwandi)
전력 제품 디자인 섹터 책임자
리니어 테크놀로지

일상적인 기기에서 배터리 사용이 더욱 보편화되고 있다. 그런데 이러한 대부분의 제품들은 충전 커넥터를 사용하기가 어렵거나 불가능할 수 있다. 예를 들어 어떤 제품들은 민감한 전자 장치들을 혹독한 환경으로부터 보호하거나 세척이나 소독을 용이하게 하기 위해 완전 밀봉을 해야 할 수도 있다. 또 어떤 제품은 단지 크기가 너무 작아서 커넥터를 포함시킬 수 없거나, 또 배터리로 동작하면서 운동 장치나 회전 장치를 포함하는 제품의 경우에는 선을 사용해서 충전하는 것은 생각할 수도 없다. 그러므로 이러한 많은 애플리케이션에서 무선 충전을 할 수 있으면 제품의 가치, 신뢰성, 견고성을 높일 수 있다.

무선으로 전력을 제공하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 수 인치 미만의 짧은 간격일 때는 용량 결합(capacitive coupling)이나 유도 결합(inductive coupling)을 흔히 사용한다. 이 글에서는 유도 결합을 활용한 솔루션에 대해서 살펴본다.

일반적인 유도 결합 무선 충전 시스템은 여느 트랜스포머 시스템과 마찬가지로 전송 코일이 AC 자기장을 발생시키면 수신 코일이 AC 전류를 유도한다. 무선 전원 시스템이 트랜스포머 시스템과 다른 점은 에어 갭이나 여타의 비자성(non-



[그림 1] 리시버로는 LTC4120-4.2 400 mA 단일 셀 리튬이온 배터리 차저를 사용하고, LTC4125가 1.3 A 입력 전류 임계값, 119 kHz 주파수 한계, 41.5 °C 전송 코일 표면 온도 한계를 사용해서 24 μH 전송 코일을 103 kHz로 구동하는 무선 전원 시스템

magnetic) 소재 간격에 의해서 트랜스미터와 리시버가 분리되어 있다는 것이다. 또 전송 코일과 수신 코일 사이의 결합이 통상적으로 매우 낮다. 트랜스포머 시스템에서는 0.95~1의 결합이 일반적인 것에 비해, 무선 전원 시스템에서는 결합 계수가 0.8에서부터 낮게는 0.05까지 이를 수 있다.

무선 배터리 충전의 원리

무선 전원 시스템은 전송 코일을 포함하는 전송(TX) 회로와 수신 코일을 포함하는 수신(RX) 회로의 두 부분이 에어 갭으로 분리돼 있다.

무선 전원 배터리 충전 시스템을 설계할 때 중요한 파라미터는 실제로 배터리로 에너지를 추가시키는 전력의 양이

다. 이 수신 전력은 다음과 같은 여러 요인들에 의해서 결정된다:

- 전송되는 전력의 양
- 전송 코일과 수신 코일 사이의 거리와 정렬. 이것을 나타낸 것이 코일들 사이의 결합계수다.
- 전송 및 수신 소자 부품들의 허용오차

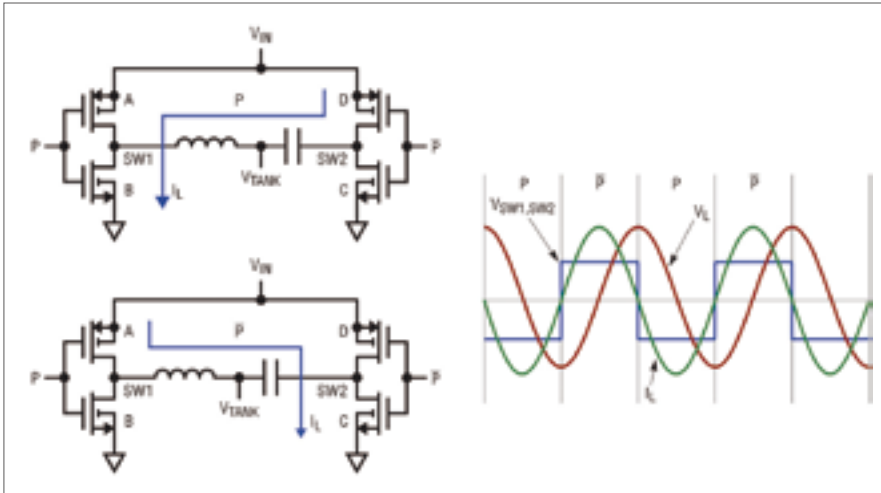
무선 전원 트랜스미터 설계에서 중요한 과제는 최악 상황의 전력을 전송하더라도 요구되는 수신 전력의 공급을 보장하도록 전송 회로가 강한 자기장을 발생시켜야 한다는 것이다. 그러면서도 최선 상황 조건일 때 리시버에서 발열이 발생하거나 리시버가 전기적으로 과도한 스트레스를 받지 않도록 해야 한다. 이 점은 출력 전력 요구는 낮고 결

합은 높을 때 특히 중요하다. 예를 들어 배터리가 최대로 충전되어 있는데 RX 코일이 TX 코일에 가깝게 놓여있을 때의 경우다.

간소하면서 통합적인 트랜스미터 솔루션

리니어 테크놀로지(Linear Technology)의 LTC4125 트랜스미터 IC는 리시버로 자사의 다양한 배터리 차저 IC 중 어느 제품과도 짝을 이루어 사용할 수 있도록 설계됐다. 그 중 하나가 무선 전원 리시버 및 배터리 차저 IC인 LTC4120이다.

LTC4125는 간소하고 강력하며 안전한 무선 전원 트랜스미터 회로를 설계하기 위해서 필요로 하는 모든 기능을 포함하고 있다. 특히 주목할 만한 점은 리시



[그림 2] LTC4125의 AutoResonant 구동

버 부하 요구량에 따라서 출력 전력을 조절할 수 있으며 전도성 이물체가 존재하는지를 검출할 수 있다는 것이다.

앞서도 언급했듯이 무선 배터리 충전 시스템에서 트랜스미터는 최악 상황의 전력을 전송하더라도 요구되는 전력의 공급을 보장하기 위해서 강한 자기장을 발생시켜야 한다. 이러한 요구를 충족하기 위해서 LTC4125는 'AutoResonant'라고 하는 고유 기술을 적용하고 있다.

LTC4125의 AutoResonant 구동은 각 SW 핀의 전압이 항상 전류와 동위상(in-phase)이 되도록 한다. 그림 2에서 보면, 전류가 SW1에서 SW2로 흐를 때는 스위치 A와 C가 온(on)이 되고, 스

위치 D와 B는 오프(off)가 된다. 반대일 경우는 그 반대가 된다. 이 기법을 적용해서 구동 주파수를 '사이클 대 사이클'로 동기화함으로써 LTC4125가 항상 외부 LC 네트워크를 이의 공진 주파수로 구동할 수 있다. 그러므로 온도나 인접한 리시버의 반사 임피던스 같이 계속해서 변화하는 변수들이 LC 탱크의 공진 주파수에 영향을 미치는 것에 따라서 조절이 가능하다.

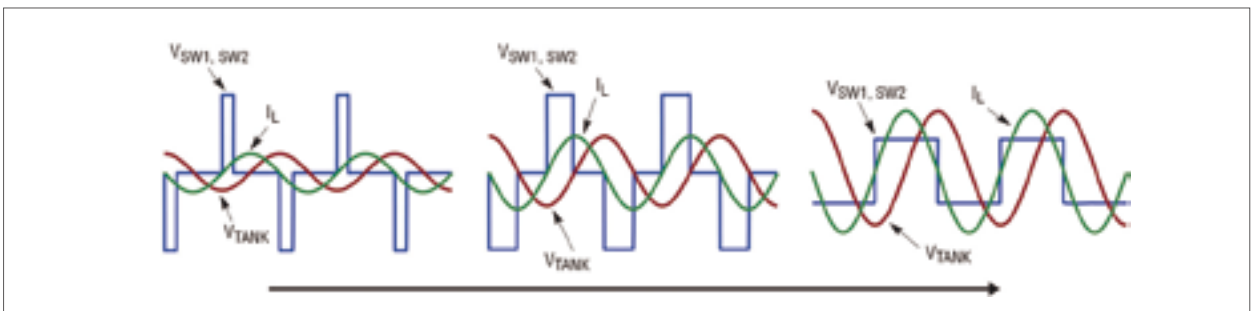
이 기술을 사용함으로써 LTC4125가 직렬 LC 네트워크의 실제 공진 주파수에 따라서 내부적인 풀 브리지 스위치들의 구동 주파수를 계속적으로 조절할 수 있다. 이와 같은 방법으로 높은 DC

입력 전압이나 고도로 정밀한 LC 값을 필요로 하지 않고서 트랜스미터 코일로 높은 진폭의 AC 전류를 효율적으로 구축할 수 있다.

LTC4125가 주기적으로 이러한 듀티 사이클 스위칭을 실시해서 리시버의 부하 조건에 따라서 최적의 동작 지점을 찾아낸다. 이러한 최적 전력 지점 탐색(Optimum Power Point Search)을 활용함으로써 코일들 사이의 높은 에어 갭이나 부

정 정렬을 허용하면서 동작할 수 있고, 또 한편으로는 모든 조건에서도 리시버에서 열이 나거나 리시버에 전기적으로 과도한 스트레스를 주지 않는다. 이러한 스위칭을 실시하는 간격은 단일 외부 커패시터를 사용해서 간편하게 프로그램할 수 있다.

이 기술을 사용함으로써 그림 1의 시스템으로 상당한 정도의 부정 정렬을 허용할 수 있다. 코일들이 상당한 정도로 부정 정렬을 하고 있더라도 LTC4120이 최대의 충전 전류를 수신하도록 LTC4125가 자기장 강도를 조절할 수 있다. 그림 1의 시스템으로는 최대 12 mm의 간격으로 최대 2 W를 전송할 수 있다.

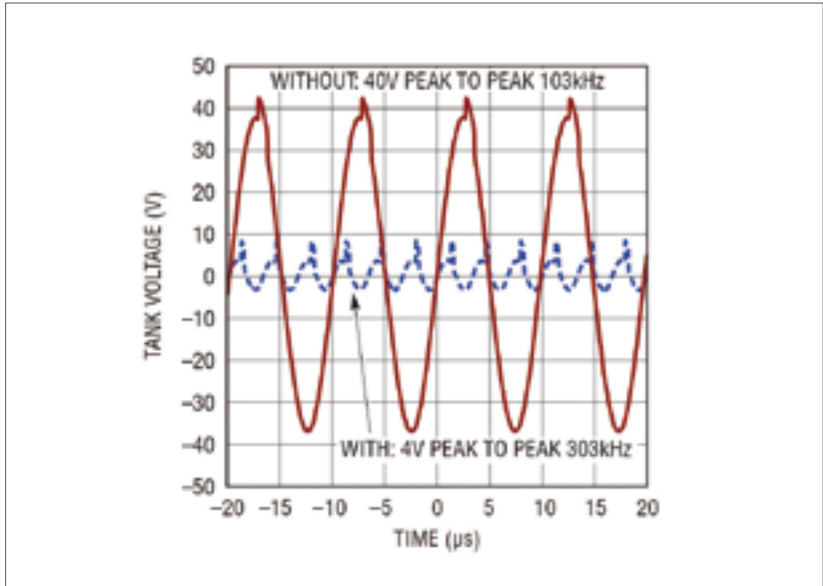


[그림 3] LTC4125의 펄스 폭 스위칭-듀티 사이클이 높아짐에 따라서 TX 코일의 전압 및 전류 증가

전도성 이물체 검출

무선 전원 전송 회로로 중요하게 요구되는 또 다른 기능은 전송 코일이 발생시키는 자기장 안으로 전도성 이물체(foreign object)가 존재하는지를 검출하는 것이다. 리시버로 수백 밀리와트 이상을 제공할 수 있도록 설계된 전송 회로는 전도성 이물체가 존재하는지를 검출할 수 있어야 한다. 그래야 이물체로 와전류(eddy current)가 형성되고 원치 않는 열을 발생시키는 것을 방지할 수 있다.

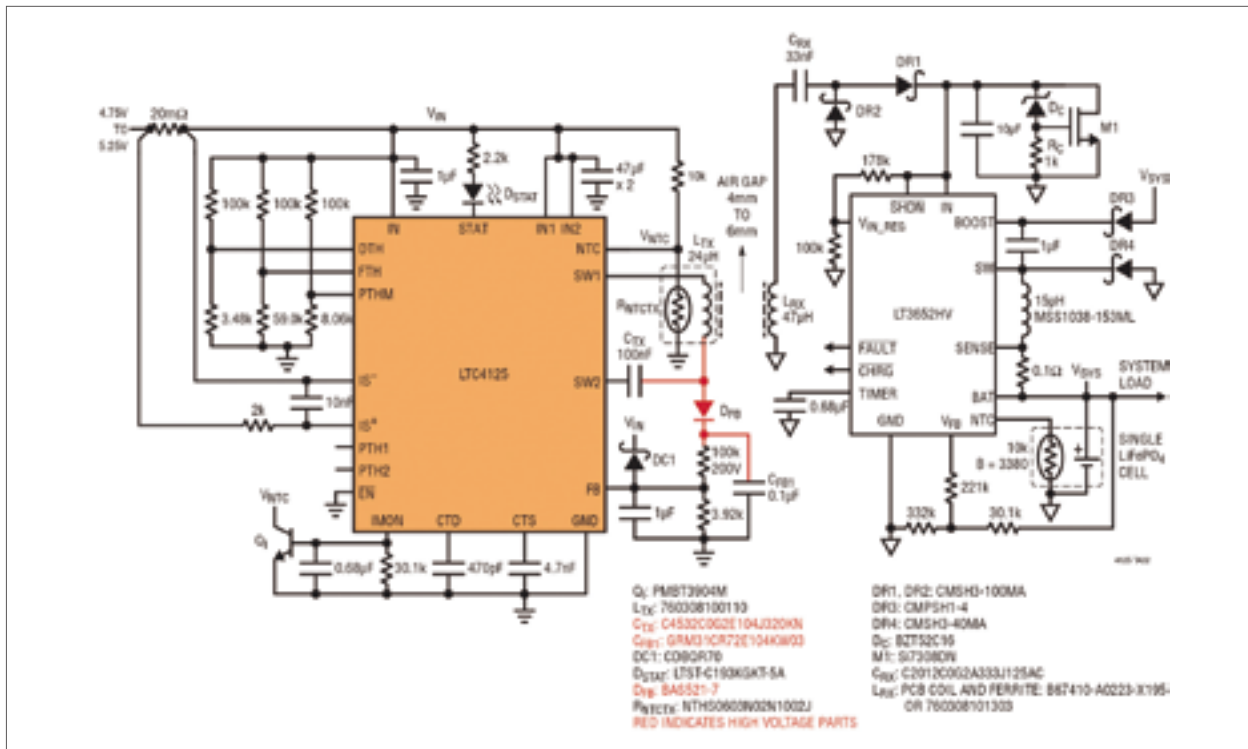
LTC4125의 AutoResonant 아키텍처에 의해서 고유한 방식으로 전도성 이물체가 존재하는지를 검출할 수 있다. 전도성 이물체는 직렬 LC 네트워크의 유효 인덕턴스 값을 감소시킬 것이다. 그



[그림 4] 전도성 이물체 검출을 사용할 경우와 사용하지 않을 경우의 LTC4125 트랜스미터 LC 탱크 전압 주파수 비교

리면 AutoResonant 드라이버가 내부 폴 브리지 구동 주파수를 높일 것이다.

그림 4의 그래프에서는 전도성 이물체 검출을 사용할 경우와 사용하지 않



[그림 5] 리시버로 LT3652HV 1 A 단일 셀 LiFePO₄(3.6 V 부동) 배터리 차저를 사용하고, LTC4125가 119 kHz 주파수 한계와 41.5°C 전송 코일 표면 온도 한계를 사용해서 24 μH 전송 코일을 103 kHz로 구동하는 무선 전원 시스템



[그림 6] LTC4125를 활용한 전체적인 무선 전원 트랜스미터 보드 예

을 경우, 전송 코일에서 형성되는 전압의 주파수를 비교하고 있다.

저항을 사용해서 주파수 한계를 프로그램 하면 AutoResonant 구동이 이 주파수 한계를 초과하는 시간 동안 LTC4125가 구동 펄스 폭을 0으로 감소시킨다. 이 방법으로 전도성 이물체가 존재하는 것으로 검출되면 전력 공급을 중단한다.

이러한 주파수 편이 현상을 이용해서 전도성 이물체를 검출할 때는 공진 커패시터(C)와 전송 코일 인덕턴스(L)의 소자 허용오차에 따라서 검출 감도를 절충할 수 있다. 각각의 L 및 C 값으로 통상적인 5% 초기 허용오차라고 한다면, 적정하게 민감한 이물체 검출과 견고한 트랜스미터 회로 디자인을 위해서 이 주파수 한계를 통상적인 LC 값으로 기대되는 자연스러운 주파수보다 10% 높게 프로그램할 수 있다. 하지만 좀 더 엄밀한 1% 허용오차 소자를 사용한다면 주파수 한계를 통상적으로 기대되는 자연스러운 주파수보다 3%만 높게 설정할 수 있다. 그림으로써 설계의 견고성

은 그대로 유지하면서 더 높은 검출 감도를 달성할 수 있다.

전력 레벨 유연성 및 성능

간단하게 저항과 커패시터 값만 바꿈으로써 동일한 애플리케이션 회로로 다른 리시버 IC를 사용해서 더 높은 와트를 충전할 수 있다.

전송 회로의 고효율 풀 브리지 드라이버와 수신 회로의 고효율 벡 스위칭 토폴로지에 힘입어 최고 70%에 달하는 시스템 효율을 달성할 수 있다. 이 시스템 효율은 송신 회로의 DC 입력 대 수신 회로의 배터리 출력을 가지고 계산된 것이다. 시스템의 전반적인 효율을 위해서는 회로 구현의 나머지 것들도 물론 중요하지만, 두 코일의 품질 지수와 둘 사이의 결합 역시도 마찬가지로 중요하다.

LTC4125의 이러한 모든 기능들을 트랜스미터와 리시버 코일 사이에 직접적인 통신 없이 활용할 수 있다. 그러므로 애플리케이션 설계를 단순화할 수 있으며, 최대 5 W에 이르는 다양한 전력 요

구를 충족할 수 있고, 다양한 물리적 코일 구조를 사용할 수 있다.

그림 6은 소형 크기의 전체적인 LTC4125 애플리케이션 회로를 보여주는 것으로서 설계를 얼마나 간소화하는지 알 수 있다. 앞서 설명했듯이 대다수 기능들을 저항이나 커패시터를 사용해서 맞춤화할 수 있다.

결론

LTC4125는 안전하고 단순하며 극히 효율적인 무선 전원 트랜스미터를 설계하기 위해 필요한 모든 기능을 제공하는 강력한 IC 제품이다.

AutoResonant 기술, 최적 전력 탐색, 주파수 편이를 통한 전도성 이물체 검출을 이용해서 뛰어난 간격 및 부정 정렬 허용오차를 가능하게 하면서 포괄적 기능의 무선 전원 트랜스미터 설계를 간소화한다. LTC4125는 견고한 무선 전원 트랜스미터 디자인에 사용하도록 단순하면서 우수한 솔루션을 제공한다. **ES**