명세서

발명의 명칭: 공진주파수 변화에도 전송효율 안정성을 유지하는 급집전 시스템

기술분야

[1] 본 발명은 공진주파수 변화에도 전송효율 안정성을 유지하는 급집전 시스템에 관한 것으로서, 공진주파수 변화에 의해 전압 또는 전류가 변화하는 상황에서도 급전장치로부터 집전장치로의 전력전송 효율에 있어서의 안정성을 유지하도록 하는 급집전 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[2] 기존의 무선전력전송 장치에 있어서는 급전장치와 집전장치 간의 최적전력전달을 위해 급전장치와 집전장치의 위치를 정확히 고정시키고 Q-팩터(factor) 값을 크게 함으로써 최대의 전력전송효율을 얻기 위한 장치가 제안되어져 왔다. 그러나 시스템의 공진주파수는 제작 시 공정에 따라서 달라지기도 하고, 사용하는 부품의 오차 등으로 달라질 수 있다. 특히, 급전장치가 매설된 도로 위를 주행하며 이로부터 전력을 공급받는 무선충전전기자동차와 같은 경우에는, 급전장치는 고정되어 있지만 집전장치의 위치를 정확히 고정시키기가 매우 어려우며, 또한 차량에 집전장치가 둘 이상 장착되어 추가로 더 집전을 하는 경우도 발생할 수 있다. 이와 같은 경우들에 있어서는 시스템의 공진주파수가 달라질 수 있게 되고, 그에 따라 급전장치로부터 집전장치로의 전력전송 효율이 크게 떨어지게 되는 문제점이 있어 왔다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[3] 본 발명은 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로서, 급집전 시스템의 Q-팩터를 낮은 값으로 설정함으로써, 공진주파수 변화에 의해 전압 또는 전류가 변화하는 상황에서도 급전장치로부터 집전장치로의 전력전송 효율에 있어서의 안정성을 유지하도록 하는 급집전 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제 해결 수단

[4] 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른, 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하는 급전장치는, 자기장을 특정 방향으로 형성시키기 위한 자극을 구비한 급전코어; 및 급전코어의 서로 이웃하는 자극이 다른 극성을 갖도록 배치되어 전류가 흐르는 급전코일을 포함하고, 상기

$$Q_S = \frac{w L_S}{R_S}$$ 에 의해 결정되고, 상기 w는 상기 급전코일 전류의 각주파수, 상기 L_s은 상기 급전코일의 인덕턴스, 상기 R_s은 상기 급전코일의 저항이다.

[5] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하는 급전장치는, 이동체 진행방향과 평행하고 서로 나란한 다수의 자극을 구비한 급전코어; 및 이동체 진행방향을 따라 연장되어 배치되며, 이동체 진행방향에 수직인 면에서 상기 급전코어의 서로 이웃하는 자극이 다른 극성을 갖도록 전류가 흐르는 급전코일을 포함하고, 상기 급전코일 전류에 의한 Q 팩터(factor)는 100 미만이며, 상기 Q 팩터는 $$Q_S = \frac{w L_S}{R_S}$$ 에 의해 결정되고, 상기 w는 상기 급전코일 전류의 각주파수, 상기 L_s은 상기 급전코일의 인덕턴스, 상기 R_s은 상기 급전코일의 저항이다.

[6] 상기 자극의 이동체 진행방향과 수직인 단면은 'U'자형의 형태를 가지고, 상기 급전코일은 상기 U자형 자극 내부에 이동체 진행방향에 평행하게 배치될 수 있다.

[7] 상기 자극의 이동체 진행방향과 수직인 단면은 두 개의 'U'자가 좌우로 인접한 형태를 가지고, 상기 급전코일은 상기 각 U자형 자극 내부에 이동체 진행방향에 평행하게 배치될 수 있다.

[8] 상기 급전코어는, 이동체 진행방향과 평행하고 서로 나란한 다수의 자극을 구비한 급전모듈이 이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 형태일 수 있다.

[9] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하는 급전장치는, 이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 하나 이상의 자극을 구비한 급전코어; 및 상기 자극 좌우에서 이동체 진행방향과 나란하고 상기 자극사이에서 서로 교차하도록 배치되며, 이동체 진행방향을 따라 상기 급전코어의 서로 이웃하는 자극이 다른 극성을 갖도록 전류가 흐르는 급전코일을 포함하고, 상기 급전코일 전류에 의한 Q 팩터(factor)는 100 미만이며, 상기 Q 팩터는 $$Q_S = \frac{w L_S}{R_S}$$ 에 의해 결정되고, 상기 w는 상기 급전코일 전류의 각주파수, 상기 L_s은 상기 급전코일의 인덕턴스, 상기 R_s은 상기 급전코일의 저항이다.

[10] 상기 자극의 이동체 진행방향에 수직인 단면은 'T' 자 형상이고, 상기 급전코일은, 상기 각 자극 좌우에서 이동체 진행방향과 나란하고 상기 각 자극 사이에서 서로 교차하도록 배치되며 상기 각 자극 좌우의 급전코일에는 서로

반대방향의 전류가 흐르는 것이 바람직하다.

[11] 상기 급전장치는, 도로진행방향으로 설치된 일자형의 자기차폐 부재를 더 포함할 수 있다.

[12] 상기 급전코어는, 이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 하나 이상의 자극을 구비한 급전모듈이 이동체 진행방향을 따라 직렬로 열을 이루도록 배치된 형태일 수 있다.

[13] 상기 각 급전모듈은, 전후 양단에 코어연결부를 구비하고, 각 급전코어 모듈은 상기 코어연결부에 의해 서로 연결되어 도로 진행방향을 따라 직렬로 열을 이루도록 배치될 수 있다.

[14] 상기 급전코어는, 열 팽창 및 열 수축을 수용할 수 있도록, 일정간격 이격된 상태로 배치되어 있을 수 있다.

[15] 상기 급전코어는, 상부 또는 하부에 유리섬유보강 플라스틱(FRP, fiber reinforced plastic)이 설치될 수 있다.

[16] 상기 급전코어는, 이동체 진행방향에 수직인 폭이 상기 자극 중심간 간격의 2분의 1 이하일 수 있다.

[17] 상기 자극의 이동체 진행방향으로의 길이는, 상기 이웃한 자극의 인접 단부 간 거리의 2배 이상인 것이 바람직하다.

[18] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 이동체의 진행경로를 따라 설치된 급전장치로부터 자기유도방식으로 전력을 공급받는, 이동체에 설치된 집전장치는, 이동체 하단에 급전장치와 일정간격 이격되어 설치되는 집전코어; 및 급전장치로부터 유도된 유도전류가 흐르도록 상기 집전코어에 루프형태로 설치된 집전코일을 포함하고, 상기 집전코일 전류에 의한 Q 팩터(factor)는 100 미만이며, 상기 Q 팩터는 $Q_L = \frac{w L_L}{R_L}$ 에 의해 결정되고, 상기 w는 상기 집전코일 전류의 각주파수, 상기 L_L은 상기 집전코일의 인덕턴스, 상기 R_L은 상기 집전코일의 저항이다.

[19] 상기 집전코어는 평판(plate)형 또는 격자(lattice)형일 수 있다.

[20] 상기 집전장치는, 집전코어 주위에 루프형의 자기차폐 부재를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[21] 본 발명에 의하면, 급집전 시스템의 Q-팩터를 낮은 값으로 설정함으로써, 공진주파수 변화에 의해 전압 또는 전류가 변화하는 상황에서도 급전장치로부터 집전장치로의 전력전송 효율에 있어서의 안정성을 유지하도록 하는 급집전 시스템을 제공하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[22] 도 1은 전기자동차에서의 무선전력전송 시스템의 구성을 나타내는 도면.

[23] 도 2는 급전장치 및 집전장치의 모식도.

[24] 도 3은 급전장치 및 집전장치를 정면에서 바라본 단면도.

[25] 도 4는 전기자동차에 적용된 집전장치의 단면 구조를 나타내는 도면.

[26] 도 5는 공진상태에서의 자기장 형상화(shaped magnetic field in resonance) 기술을 적용하지 않은 상태에서의 자기장 분포도.

[27] 도 6은 공진상태에서의 자기장 형상화(shaped magnetic field in resonance) 기술을 적용한 상태에서의 자기장 분포도.

[28] 도 7은 공진상태에서의 자기장 형상화(shaped magnetic field in resonance) 기술을 적용한 후의 자기장 분포도를 자속밀도 벡터로써 나타낸 도면.

[29] 도 8은 급전장치의 전원으로 전류원을 가지는 무선전력전송 시스템의 등가회를 나타내는 도면.

[30] 도 9는 급전장치의 전원으로 전압원을 가지는 무선전력전송 시스템의 등가회를 나타내는 도면.

[31] 도 10은 I형 급전장치의 구조를 나타낸 도면.

[32] 도 11은 집전장치에서 집전코어를 격자(lattice)형으로 구성한 경우의 실시예를 나타내는 도면.

[33] 도 12는 급전장치를 굽어진 도로에 시공하기 편리하도록 자극간격의 크기로 모듈화한 급전모듈을 나타내는 도면.

[34] 도 13은 급전장치의 온도변화에 따른 팽창 수축 문제에 대처하도록 한 구조의 일 실시예를 나타내는 도면.

[35] 도 14는 W형 급전장치의 구조를 나타낸 도면.

[36] 도 15는 I형의 급전장치와 집전장치의 자기차폐 방법을 나타내는 도면.

[37] 도 16은 급집전시스템의 공진주파수가 20kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 급전장치의 Q 팩터(Q_s)에 따른 전송효율을 나타내는 도면.

[38] 도 17은 급집전시스템의 공진주파수가 18kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 급전장치의 Q 팩터(Q_s)에 따른 전송효율을 나타내는 도면.

[39] 도 18은 급집전시스템의 공진주파수가 20kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 집전장치의 Q 팩터(Q_L)에 따른 전송효율을 나타내는 도면.

[40] 도 19는 급집전시스템의 공진주파수가 18kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 집전장치의 Q 팩터(Q_L)에 따른 전송효율을 나타내는 도면.

발명의 실시를 위한 형태

[41] 이하 첨부된 도면을 참조로 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나

사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[42]

[43] 도 1은 전기자동차에서의 무선전력전송 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.

[44] 전력회사로부터 만들어진 전원(도면에서 60 Hz)이 인버터로 인가되고, 인버터는 무선전력전송 주파수(도면에서 20 kHz)의 전류를 발생시킨다. 발생된 전류는 급전장치의 급전코일(120)을 통해 흐르게 되는데, 이로 인해 자기장이 발생되고, 발생된 자기장의 일부는 집전장치(131)내의 집전코일로 인해 전력을 발생시킨다. 발생된 전력은 레귤레이터(132)를 거쳐 배터리(133)를 충전하고 모터(134)를 구동하는데 사용된다.

[45] 이를 좀 더 상세히 설명하면, 전력의 공급을 담당하는 소스(source)인 인버터(110)에서는 무선전력전송 주파수 대역의 신호를 생성해 주는 기능을 한다. 무선으로 전력을 전송하는 급전장치는 급전코일(120)이 일종의 송신 안테나 역할을 하게 되고, 금속 또는 페라이트와 같은 비금속 자성체 등을 통해 자기장의 모양을 결정하는 SMFIR(shaped magnetic field in resonance) 기술이 필수적이다. 전력을 받는 송신단인 집전장치(131)의 핵심 요소는 집전코일이며, 집전장치에서 역시 순수한 집전코일만으로는 자기장의 경로를 원하는 형대로 만들어 주기 어렵기 때문에 급전장치와 마찬가지로 금속 또는 비금속 자성체를 이용한 집전코어에 의해 SMFIR 기술을 적용하게 된다. 부하(Load)는 전기자동차의 경우 모터(134) 또는 배터리(133)로 구성되어 있고, 생성된 전력을 소비하게 된다.

[46]

[47] 도 2는 급전장치 및 집전장치의 모식도이다.

[48] 지하에 매설된 급전코어(211) 위의 급전코일(212)에 전류가 흐르게 되면 자기장이 발생되고, 발생된 자기장이 집전장치의 집전코어(221)에 감겨진 집전코일(222)을 통과하게 되면, 이로 인해 집전코일의 양 끝단에 전압이 유도(유도기전력) 된다. 따라서, 집전장치의 양 끝단에 배터리, 모터와 같은 저항성 부하를 연결하게 되면 전력이 부하에서 소모가 된다.

[49]

[50] 도 3은 급전장치 및 집전장치를 정면에서 바라본 단면도이다.

[51] 급전장치의 급전코어(311)가 도면과 같이 평판형이어서 자기장의 방향을 일정한 방향으로 집중시키기 어려운 형상인 경우에는 지하에 매설된 급전코일(312)로부터 발생된 자기장은 집전코일(322)을 통과하게 되고,

화살표(10)와 같이 전체적으로 커다란 루프를 형성하게 된다. 이러한 경우는 집전장치로의 집중된 전력전달 능력이 떨어지게 된다. 자기장의 전달 방향을 조정하기 위한 급전코어(311) 및 집전코어(321)는 페라이트를 사용할 수 있다. 이처럼 자성체 페라이트를 이용한 자기장 형상 조절은 공진상태에서의 자기장 형상화 (shaped magnetic field in resonance, SMFIR) 기술에 필수 요소이다.

[52]

[53] 도 4는 전기자동차(20)에 적용된 집전코어(421) 및 집전코일(422)의 단면 구조를 나타내는 도면이다.

[54] 도로 아래에는 평판형 급전코어(411) 및 급전코일(412)가 매설되어 있다.

[55]

[56] 도 5는 공진상태에서의 자기장 형상화(shaped magnetic field in resonance, SMFIR) 기술을 적용하지 않은 상태에서의 자기장 분포도이다.

[57] SMFIR 기술이 적용되지 않은 경우에는, 전류가 흐르는 급전코일(510)을 중심으로 360도 전 방위로 자기장이 형성되어 전체 자기장은 각각의 전선에 의한 자기장의 합으로 이루어진다. 급전장치(송신 코일)와 집전장치(수신코일)가 각각 전체적으로 둥근 형태의 자기장 분포가 나타나게 되고, 전체적으로는 두 개의 원이 가까이 있는 형태로 자기장 분포가 형성이 된다.

[58]

[59] 도 6은 공진상태에서의 자기장 형상화(shaped magnetic field in resonance, SMFIR) 기술을 적용한 상태에서의 자기장 분포도이다.

[60] 자성체를 이용한 SMFIR 기술이 적용된 후에는, 자기장이 360도 전방위로 방사되지 않고, 자성체가 있는 곳은 자기장 형성이 잘 되고, 그렇지 않은 곳은 형성이 잘 되지 않는다. 아래 그림과 같이 일부 위치(610)에 자기장이 특정 모양을 따라서 평평하게 형성되는 것은, 그 위치에 자성체가 있기 때문이다. 이러한 기술은 근본적으로 자기장 형성을 통한 전력의 전달 경로를 만들어 줌으로써 전력의 전달 용량과 효율을 향상시키는 기능을 한다. 또한, 차량 하부에 집전장치를 설치하는 경우와 같이, 제한된 공간(높이)에 집전장치를 설치할 경우에 자기장이 전방위로 뻗어 나가서 다른 장치나 재료에 영향을 주는 것을 막을 수 있기 때문에 누설 자기장으로 인한 맴돌이 전류(eddy current)와 이로 인한 열 발생을 예방할 수 있고, 또한 자기장이 인체에 미치는 영향을 최소화 하기 위한 근본적인 대책이 될 수 있다.

[61]

[62] 도 7은 공진상태에서의 자기장 형상화(shaped magnetic field in resonance, SMFIR) 기술을 적용한 후의 자기장 분포도를 자속밀도 벡터로써 나타낸 도면이다.

[63] SMFIR 기술이 적용된 후 자기장은 전방위로 넓게 퍼져 나가지 않고, 형상화 된 경로를 따라가게 된다. 아래 그림은 급전장치와 집전장치에 SMFIR 기술이

적용된 후의 자기장 분포를 벡터로 표시한 그림이다. 위를 향한 'U'자 형상의 구조물(710)은 차량의 차체인 금속 판이고, 이처럼 차량 하부에 집전장치가 장착될 때에는, SMFIR 기술이 적용되어야 차량에 직접 들어가는 자기장을 막아주게 된다. 자기장이 금속판에 수직으로 입사되면 맴돌이 전류(eddy current)에 의해 열이 발생하게 되는데, 차량과 같이 큰 전력을 사용하는 시스템에서는 이 열이 큰 제약사항이 된다. SMFIR 기술을 적용하게 되면, 자기장이 금속판으로 가지 않도록 자기장을 형상화 할 수 있다는 큰 장점을 가지게 된다.

[64] 루프 형상을 그리는 화살표 중 왼쪽의 굵은 화살표(720)는 급전장치에서 집전장치로 전달되는 자기장의 경로를 표현한 것이다. 이처럼 SMFIR 기술로 자기장의 경로를 설계자가 원하는 형태로 만들어 주어야 집전 용량과 집전 효율이 높아지고, 오른쪽의 가는 화살표(730)에서 크게 나타나는 누설되는 자기장을 줄여주는 역할도 하기 때문에, 자기장의 인체영향에 대한 문제도 원천적으로 감소시킬 수 있게 된다.

[65]

[66] 도 8은 급전장치의 전원으로 전류원을 가지는 무선전력전송 시스템의 등가 회로를 나타내는 도면이고, 도 9는 급전장치의 전원으로 전압원을 가지는 무선전력전송 시스템의 등가 회로를 나타내는 도면이다.

[67] 이하 도 9를 중심으로 전력전송효율(power transfer function)을 산출하는 식을 유도해본다.

[68] 좌측(910)은 급전장치의 등가 회로, 우측(920)은 집전장치의 등가회로를 나타낸다. 급전장치 등가회로의 Q 팩터를 Q_s, 집전장치 등가회로의 Q 팩터를 Q_L 이라고 놓는다.

[69] 급전장치 등가회로(910)에서,

[70]

[71] 수학식 1

$$(R_S+\frac{1}{jw C_S}+jw L_S)I_1-jwMI_2-V_S=0$$

[72]

[73] 집전장치 등가회로(920)에서,

[74]

[75] 수학식 2

$$(R_L+\frac{1}{jw C_L}+jw L_L)I_2-jwMI_1=0$$

[76]

[77] 수학식 2로부터,

[78]

[79] 수학식 3

$$I_1 = \frac{R_L + \frac{1}{jw C_L} + jw L_L}{jwM} I_2$$

[80]

[81] 수학식 3을 수학식 1에 대입하여

[82]

[83] 수학식 4

$$I_2 = \frac{jwM}{(R_S + \frac{1}{jw C_S} + jw L_S) \times (R_L + \frac{1}{jw C_L} + jw L_L) + w^2 M^2} V_S$$

[84] 를 얻는다.

[85]

[86] 한편, 집전장치 등가회로(920)의 전력은

$$P_L = I_2^2 \times R_L$$

이고, 여기에 수학식 4를 대입하면,

[87]

[88] 수학식 5

$$P_L = \left| \frac{-w^2 M^2}{\left[(R_S + \frac{1}{jw C_S} + jw L_S) \times (R_L + \frac{1}{jw C_L} + jw L_L) + w^2 M^2 \right]^2} \right| V_S^2 R_L$$

[89]

[90] 또한 한편, 급전장치 등가회로(910)의 전력은

$$P_S = I_1 \times V_S$$

이고, 여기에 수학식 3,4를 대입하면,

[91]

[92] 수학식 6

$$P_S = \frac{R_L + \frac{1}{jwC_L} + jwL_L}{(R_S + \frac{1}{jwC_S} + jwL_S) \times (R_L + \frac{1}{jwC_L} + jwL_L) + w^2M^2} V_S^2$$

[93]

[94] 이로부터 급전장치로부터 집전장치로의 무선전력전송효율을 나타내는 K(power transfer function)은,

[95]

[96] 수학식 7

$$K = \frac{P_L}{P_S} = \frac{w^2M^2R_L}{\left[(R_S + \frac{1}{jwC_S} + jwL_S) \times (R_L + \frac{1}{jwC_L} + jwL_L) + w^2M^2\right](R_L + \frac{1}{jwC_L} + jwL_L)}$$

[97]

[98] 로 유도된다.

[99] 이로부터,

[100]
$$K = \frac{w^2M^2R_L}{\left[(R_S + \frac{1}{jwC_S} + jwL_S) \times (R_L + \frac{1}{jwC_L} + jwL_L) + w^2M^2\right](R_L + \frac{1}{jwC_L} + jwL_L)}$$

[101]
$$= \frac{1}{\left[(\frac{R_S}{wM} + \frac{jwL_S}{wM}(1 - \frac{1}{w^2L_SC_S})) \times (\frac{R_L}{wM} + \frac{jwL_L}{wM}(1 - \frac{1}{w^2L_LC_L})) + 1\right](1 + \frac{1}{jwR_LC_L} + jw\frac{L_L}{R_L})}$$

[102] 여기에,

[103] Q팩터

$$Q_{MS} = \frac{wM}{R_S}, Q_{ML} = \frac{wM}{R_L}, Q_S = \frac{wL_S}{R_S}, Q_L = \frac{wL_L}{R_L}$$

를 적용하고, 급전장치 등가회로(910) 및 집전장치 등가회로(920)의 공진주파수(resonance frequency)

$$w_{OS} = \frac{1}{\sqrt{L_SC_S}}, w_{OL} = \frac{1}{\sqrt{L_LC_L}}$$

를 적용하면,

[104]

[105] 수학식 8

$$K=\frac{1}{\left[\frac{1}{Q_{MS}Q_{ML}}\times\left(1+jQ_s\times(1-\frac{w_{OS}^2}{w^2})\right)\times\left(1+jQ_L\times(1-\frac{w_{OL}^2}{w^2})\right)+1\right]\left(1+jQ_L\times(1-\frac{w_{OL}^2}{w^2})\right)}$$

[106]

[107] 한편,

$$M=k\sqrt{L_S L_L}$$

가 성립하는데, 여기서 k는 L_s와 L_L이 얼마나 연관되어 있는지를 나타내는 결합계수(coupling coefficient)를 나타낸다. 이로부터

[108]
$$Q_{MS}\cdot Q_{ML}=\frac{wM}{R_S}\cdot\frac{wM}{R_L}=\frac{w^2M^2}{R_SR_L}=\frac{w^2k^2L_SL_L}{R_SR_L}=k^2\frac{wL_S}{R_S}\frac{wL_L}{R_L}$$

[109]
$$=k^2\cdot Q_S\cdot Q_L$$

[110] 가 성립한다. 이를 수학식 8에 대입하면,

[111]

[112] 수학식 9

$$K=\frac{1}{\left[\frac{1}{k^2Q_SQ_L}\times\left(1+jQ_s\times(1-\frac{w_{OS}^2}{w^2})\right)\times\left(1+jQ_L\times(1-\frac{w_{OL}^2}{w^2})\right)+1\right]\left(1+jQ_L\times(1-\frac{w_{OL}^2}{w^2})\right)}$$

[113] 가 성립한다.

[114]

[115] 도 10은 I형 급전장치의 구조를 나타낸 도면이다.

[116] 급전장치는 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하며, 집전장치는 이동체에 부착되어 급전장치로부터 자기유도방식으로 전력을 집전하여 배터리 등을 충전하도록 하는 장치이다. 본 도면에는 I형 급전장치 및 이로부터 전력을 집전하는 집전장치의 평면도(31), 측면도(32) 및 정면도(33)가 단면도 형태로 도시되어 있다.

[117] 본 도면은 I형 급전장치의 일 실시예로서, 급전장치가 도로(1)에 매설된 경우를 나타낸다.

[118] I형 급전장치는 이동체 진행방향을 따라 직렬로 다수 배치된 자극(1012)을 구비한 급전코어(1011), 이동체 진행방향을 따라 상기 급전코어의 서로 이웃하는 자극(1012)이 다른 극성을 갖도록, 즉 N극과 S극이 교대로 발생하도록 배치되는 급전선(1020)을 포함한다. 본 도면의 실시예의 경우 두 급전선(1020)에는 서로 반대방향의 전류가 흐르게 되며, 이에 따라 측면도(32)에 도시된 바와 같이 연속되는 자극(1012)들 위쪽으로 서로 반대방향의 자기장(50)이 발생함으로써 N극과 S극이 교대로 발생하게 된다. 이와 같은 방식으로 그 위를 주행하는 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하게 되며, 집전장치(1040)는 이로부터

전력을 집전하게 된다. 'I형'이라 함은 정면도(33)에 도시된 바와 같이 자극(1012)의 단면이 'I'자형을 이루기 때문이다. 물론 이로부터 약간 변형되고 개선된 다른 형태도 충분히 가능하고, 이를 통칭하여 'I형'이라고 칭하기로 한다.

[119] 상기 급전코어는, 도면에 나타난 바와 같이, 이동체 진행방향에 수직인 폭이 상기 자극 중심간 간격의 2분의 1 이하인 것이 바람직하다. 전술한 바와 같이 도면에 나타난 바와 같이 자극을 I형으로 함으로써 자극의 폭을 현격히 줄이고, 도로진행방향으로 N극 및 S극이 교대로 발생되게 함으로써, 급전선로 좌우측에서의 EMF를 현격히 줄일 뿐만 아니라, 급전선로 설치 비용도 줄이게 된다. 또한 이와 같이 하면서도 매설된 급전장치와 차량하부에 설치된 집전장치간 거리, 즉 공극간격(1031, 도 11 참조)을 일정간격 이상 유지하고, 전달되는 전력을 적정하게 공급할 수 있게 된다. 또한 이와 같이 좁은 I형 자극을 이용한 좁은 급전선로 폭에 의하여, 차량에 설치되는 집전장치의 좌우폭을 줄일 수 있게 되고, 그러한 범위에서 집전장치가 일정 좌우 폭 이상만 되면 다른 구조의 급전선로에 비해 좌우 허용편차를 크게 해 줄 수 있기 때문에 다른 구조 대비 넓은 좌우 허용편차 특성을 얻을 수 있는 효과도 있게 된다.

[120] 또한 도면에 나타난 바와 같이, 상기 자극의 이동체 진행방향으로의 길이는, 상기 이웃한 자극의 인접 단부 간 거리의 2배 이상인 것이 좋다.

[121] 한편, 상기 급전코어는, 이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 하나 이상의 자극을 구비한 급전모듈이 이동체 진행방향을 따라 직렬로 열을 이루도록 배치된 형태로 구성할 수도 있다. 즉, 자극을 구비한 급전코어가 모듈화 되어 각 모듈들을 직렬로 연결한 형태일 수도 있다.

[122]

[123] 도 11은 집전장치(1050)에서 집전코어(1051)를 격자(lattice)형으로 구성한 경우의 실시예를 나타내는 도면이다.

[124] 이와 같이 하면 집전코어(1051)의 무게를 감소시킬 수 있고 냉각에 유리하며 기계적으로 견고한 구조로 제작하는데 유리할 수 있다. 여기서 창살의 간격은 공극간격(1031)의 1/2 이하로 충분히 작기만 하면 전기적 성능에는 큰 영향이 없다.

[125]

[126] 도 12는 급전장치를 굽어진 도로에 시공하기 편리하도록 자극간격의 크기로 모듈화한 급전모듈을 나타내는 도면이다.

[127] 각 급전코어 모듈의 평면도(1210) 및 측면도(1220)가 도시되어 있다. 급전코어 모듈의 양쪽 끝면에는 자기회로적으로 접촉면적이 넓으면서 기계적으로 간편히 체결가능한 암수구조의 연결부재(1211, 1212)를 구비한다. 이와같이 구성해주면 급전코어 모듈을 현장에서 결합하면서 좌우방향으로 굽어진 도로를 따라 약간씩만 각도를 틀어주면 된다. 급전코어 모듈이 연결부재(1211, 1212)에 의해 결합된 형태의 평면도(1230) 및 측면도(1240)가 도시되어 있다. 또한 본 도면에 도시되지는 아니하였으나, 동일한 원리로 경사면 등 상하방향으로 굽어진

도로에 대해서도 시공가능한 코어모듈을 구성할 수 있다.

[128]

[129] 도 13은 급전장치의 온도변화에 따른 팽창 수축 문제에 대처하도록 한 구조의 일 실시예를 나타내는 도면이다.

[130] 급전장치가 열 수축된 경우의 평면도(1310), 측면도(1330) 및 그때의 급전코어 길이(1311)가 도시되어 있고, 또한 열 팽창된 경우의 평면도(1320), 측면도(1340) 및 그때의 급전코어 길이(1321), 그리고 정면도(1350)가 도시되어 있다.

[131] 도로는 통상 -20~+80도씨 정도의 변화를 견딜 수 있어야 하는데, 급전장치를 구성하는 자기재료나 케이블, FRP나 PVC관 등 케이블 보호기구, 아스팔트나 시멘트 등이 열팽창을 하고 또한 열팽창계수가 다른 것을 감안해야 한다. 또한 이 과정에서 방수 특성이 양호하게 유지되어야 한다.

[132] 따라서 각 구조물은 도로진행방향으로 일정하게 단절되며 그 접속면이 방수가 유지되도록 하는 것이 중요하다. 도 13은 급전코어(1331) 간에 도로진행방향으로 동일한 자성재료로 된 연결부재(1332)를 구비한 경우의 예를 보이고 있다. 또한 유리섬유보강 플라스틱(FRP, fiber reinforced plastic)(1233)를 단절하여 체결하되 그 체결부위를 O-링 처리(1334)한 경우를 보이고 있다. FRP나 PVC관의 체결에는 수축튜브나 본드 접속 등의 방법을 사용할 수 있다. 또한 매번 신축성 있는 연결부재로 체결할 필요는 없으며 수 미터 내지 수십 미터 단위로 한 번씩 신축적인 연결부재를 사용할 수도 있다. 다만, 일반적으로 케이블은 유연성이 있으므로 통상 별도로 이러한 조치가 불필요하다.

[133]

[134] 도 14는 W형 급전장치의 구조를 나타낸 도면이다.

[135] 본 도면에는 W형 급전장치 및 이로부터 전력을 집전하는 집전장치의 평면도(41), 측면도(42) 및 정면도(43)가 단면도 형태로 도시되어 있다.

[136] 본 도면은 W형 급전장치의 일 실시예로서, 도로(1)에 매설된 경우를 나타낸다.

[137] W형 급전장치는 이동체 진행방향과 평행하고 서로 나란한 다수의 자극(1112)을 구비한 급전코어(1111), 이동체 진행방향에 수직인 면에서 상기 급전코어의 서로 이웃하는 자극이 다른 극성을 갖도록, 즉 N극과 S극이 교대로 발생하도록 이동체 진행방향을 따라 연장되는 급전선(1120)을 포함한다. 본 도면의 실시예의 경우 정면도(43)에 도시된 바와 같이 두 급전선(1120)에는 서로 반대방향의 전류가 흐르게 되며, 또한 정면도(43)에 도시된 바와 같이 이동체 진행방향과 평행하고 서로 나란하게 연장되는 자극(1112)들에, 서로 반대방향의 자기장(60)이 발생함으로써 N극과 S극이 교대로 발생하게 된다. 이와 같은 방식으로 그 위를 주행하는 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하게 되며, 집전장치(1140)는 이로부터 전력을 집전하게 된다. 'W형'이라 함은 정면도(43)에 도시된 바와 같이 자극(1112)을 포함하는 급전코어(1111)의 단면이 'W'자형을 이루기 때문이다. 물론 이로부터 약간 변형되고 개선된 다른 형태도 충분히 가능하다. 예를 들어 정면도(43)에서 가운데 세워진 자극이 없어 양측에 세워진

두 개의 나란한 자극만이 있고 이에 따라 한 쌍의 N극 및 S극만 존재하도록 할 수도 있다. 이때의 형태는 'U'자형에 가까우나, 이를 통칭하여 'W형'이라고 칭하기로 한다. W형 급전장치는 상기 U형 급전장치의 급전코어를 이동체 진행방향에 나란하게 인접시켜 놓은 형태로 구성할 수도 있다.

[138] 한편, 상기 급전코어는, 이동체 진행방향과 평행하고 서로 나란한 다수의 자극을 구비한 급전모듈이 이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 형태로 구성할 수도 있다. 즉, 자극을 구비한 급전코어가 모듈화 되어 각 모듈들을 직렬로 연결한 형태일 수도 있다.

[139]

[140] 도 15는 I형의 급전장치와 집전장치의 자기차폐 방법을 나타내는 도면이다.

[141] I형 집전장치는 차폭에 비해 크기가 절반 정도로 줄어들 수 있어서 자기차폐를 할 공간적 여유가 생긴다는 점이 특징이다. 따라서 도 15와 같이 루프형의 자기차폐 재료(1501)로 주변을 감싸면 누설자속이 자기차폐 루프(1501)를 따라 자기 접지(magnetic ground)되므로 자기차폐 효과를 발휘하게 된다. 자기차폐는 측면을 따라서만 이루어질 수도 있으나 윗면을 덮으면서 이뤄질 수도 있다.

[142] I형 급전장치의 경우 일정간격으로 자극이 교번하게 되어 측면방향에 대한 전자기장(EMF)이 발생하므로, 도 15와 같이 길이방향으로 1자형의 자기차폐선(1502)을 구비하게 되면 길이방향으로 자기 접지가 이뤄져서 자기차폐 효과가 발휘된다.

[143]

[144] 도 16은 급집전시스템의 공진주파수가 20kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 급전장치의 Q 팩터(Q_s)에 따른 전송효율을 나타내는 도면이다.

[145] 시스템의 공진주파수는 제작 시 공정에 따라서 달라지기도 하고, 사용하는 부품의 오차 등으로 달라질 수 있다. 특히, 무선충전전기자동차와 같이 급전장치는 고정되어 있지만 집전장치가 움직이는 경우나, 급전장치가 하나가 존재하는데 집전장치가 추가로 더 집전을 하는 경우에는 시스템의 공진주파수가 달라질 수 있다.

[146] 본 도면은 공진주파수와 동작주파수가 일치(20kHz)하는 경우로서, Q_s가 100보다 큰 경우(Q_s=115), 동작주파수에서의 전력 전달면에서는 Q_s가 100보다 작은 경우(Q_s=14.24)보다 약간 개선되어 있음을 알 수 있다(0.872-->0.880 아래 표 참조). 그러나 동작주파수가 공진주파수와 차이가 날 때, 전력 전달의 민감도 면에서는 Q_s가 100보다 작은 경우가 Q_s가 100보다 큰 경우보다 훨씬 유리한데, 이를 보여주는 도면이 도 17이며, 이하에서 설명한다.

[147]

[148] 도 17은 급집전시스템의 공진주파수가 18kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 급전장치의 Q 팩터(Q_s)에 따른 전송효율을 나타내는 도면이다.

[149] 도 16을 참조하여 설명한 바와 같이, 급집전시스템의 공진주파수와 인가한 신호의 동작주파수가 일치할 때는 Q 팩터에 크게 영향받지 않고 높은 전송효율(power transfer function)을 유지하나, Q 팩터가 큰 경우, 주파수 대역에서의 폭이 좁아지므로 동작주파수에 따라 전송효율이 크게 변화하게 된다.

[150] 도 17을 참조하면, 이와 같이 공진주파수가 동작주파수에서 벗어났을 때, 그 동작주파수(20kHz)에서는, Q_s가 100보다 작은 경우(Q_s=12.82)가 Q_s가 100보다 큰 경우(Q_s=115)보다 더욱 좋은 전송효율을 보인다(0.055-->0.512, 아래 표 참조). 이와 같이, 공진주파수(18kHz)가 도 17에서와 같이 동작주파수(20kHz)에서 벗어나 흔들리게 될 경우에는, Q_s가 100보다 작은 경우(Q_s=12.82)가 Q_s가 100보다 큰 경우(Q_s=115)보다 무선전력전송 시스템의 전송효율 변화에 있어서 덜 민감하고, 이에 따라 더욱 안정되어 있음을 알 수 있다.

[151] 이로부터, 전술한 바와 같은 무선충전 전기자동차와 같이, 급전장치는 고정되어 있지만 집전장치가 움직임에 의해 급집전 위치가 틀어지기 쉬운 경우나, 급전장치가 하나가 존재하는데 집전장치가 추가로 더 집전을 하는 경우 등에 있어서, 전력전송효율 안정성을 위해 급전장치의 Q 팩터 값을 100 이하로 사용하는 것이 바람직하다. 또한 차량용 급집전과 같은 대전력 시스템에서는 부품이 견딜 수 있는 내압도 중요한 요소이므로, 본 발명에서는 역시 이를 위해서도 급전장치의 Q 팩터 값을 100 이하로 사용하는 것이 좋다.

[152]

[153] 도 18은 급집전시스템의 공진주파수가 20kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 집전장치의 Q 팩터(Q_L)에 따른 전송효율을 나타내는 도면이다. 공진주파수와 동작주파수가 일치(20kHz)하는 경우로서, Q_L이 100보다 큰 경우(Q_L=115), 동작주파수에서의 전력 전달면에서는 Q_L이 100보다 작은 경우(Q_L=12.4)보다 약간 개선되어 있음을 알 수 있다(0.873-->0.894 아래 표 참조). 그러나 동작주파수가 공진주파수와 차이가 날 때, 전력 전달의 민감도 면에서는 Q_L이 100보다 작은 경우가 Q_L이 100보다 큰 경우보다 훨씬 유리한데, 이를 보여주는 도면이 도 19이며, 이하에서 설명한다.

[154]

[155] 도 19는 급집전시스템의 공진주파수가 18kHz인 경우, 동작주파수로서 20kHz의 전류신호가 인가되었을 때 집전장치의 Q 팩터(Q_L)에 따른 전송효율을 나타내는 도면이다. 이와 같이 공진주파수(18kHz)가 동작주파수(20kHz)에서 벗어났을 때, 그 동작주파수(20kHz)에서는, Q_L이 100보다 작은 경우(Q_L=11.2)가 Q_L이 100보다 큰 경우(Q_L=115)보다 더욱 좋은 전송효율을 보인다(0.003-->0.094, 아래 표 참조). 이와 같이, 공진주파수가 도 19에서와 같이 동작주파수(20kHz)에서 벗어나 흔들리게 될 경우에는, Q_L이 100보다 작은 경우(Q_L=11.2)가 Q_L이 100보다 큰 경우(Q_L=115)보다 무선전력전송 시스템의 전송효율 변화에 있어서 덜 민감하고, 이에 따라 더욱 안정되어 있음을 알 수

있다.

청구범위

[청구항 1] 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하는 급전장치로서,
자기장을 특정 방향으로 형성시키기 위한 자극을 구비한
급전코어; 및
급전코어의 서로 이웃하는 자극이 다른 극성을 갖도록 배치되어
전류가 흐르는 급전코일
을 포함하고,
상기 급전코일 전류에 의한 Q 팩터(factor)는 100 미만이며,
상기 Q 팩터는 에 의해 결정되고,

$$Q_S = \frac{w L_S}{R_S}$$

상기 w는 상기 급전코일 전류의 각주파수,
상기 L_s은 상기 급전코일의 인덕턴스,
상기 R_s은 상기 급전코일의 저항
인 것을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 2] 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하는 급전장치로서,
이동체 진행방향과 평행하고 서로 나란한 다수의 자극을 구비한
급전코어; 및
이동체 진행방향을 따라 연장되어 배치되며, 이동체 진행방향에
수직인 면에서 상기 급전코어의 서로 이웃하는 자극이 다른
극성을 갖도록 전류가 흐르는 급전코일
을 포함하고,
상기 급전코일 전류에 의한 Q 팩터(factor)는 100 미만이며,
상기 Q 팩터는 에 의해 결정되고,

$$Q_S = \frac{w L_S}{R_S}$$

상기 w는 상기 급전코일 전류의 각주파수,
상기 L_s은 상기 급전코일의 인덕턴스,
상기 R_s은 상기 급전코일의 저항
인 것을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 3] 청구항 2에 있어서,
상기 자극의 이동체 진행방향과 수직인 단면은 'U'자형의 형태를
가지고,
상기 급전코일은 상기 U자형 자극 내부에 이동체 진행방향에
평행하게 배치되는 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 4] 청구항 2에 있어서,
상기 자극의 이동체 진행방향과 수직인 단면은 두 개의 'U'자가 좌우로 인접한 형태를 가지고,
상기 급전코일은 상기 각 U자형 자극 내부에 이동체 진행방향에 평행하게 배치되는 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 5] 청구항 2에 있어서,
상기 급전코어는,
이동체 진행방향과 평행하고 서로 나란한 다수의 자극을 구비한 급전모듈이 이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 형태인 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 6] 이동체에 자기유도방식으로 전력을 공급하는 급전장치로서,
이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 하나 이상의 자극을 구비한 급전코어; 및
상기 자극 좌우에서 이동체 진행방향과 나란하고 상기 자극사이에서 서로 교차하도록 배치되며, 이동체 진행방향을 따라 상기 급전코어의 서로 이웃하는 자극이 다른 극성을 갖도록 전류가 흐르는 급전코일
을 포함하고,
상기 급전코일 전류에 의한 Q 팩터(factor)는 100 미만이며,
상기 Q 팩터는 에 의해 결정되고,

$$Q_S = \frac{w L_S}{R_S}$$

상기 w는 상기 급전코일 전류의 각주파수,
상기 L_s은 상기 급전코일의 인덕턴스,
상기 R_s은 상기 급전코일의 저항
인 것을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 7] 청구항 6에 있어서,
상기 자극의 이동체 진행방향에 수직인 단면은 'I' 자 형상이고,
상기 급전코일은,
상기 각 자극 좌우에서 이동체 진행방향과 나란하고 상기 각 자극 사이에서 서로 교차하도록 배치되며
상기 각 자극 좌우의 급전코일에는 서로 반대방향의 전류가 흐르는 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 8] 청구항 6에 있어서,
도로진행방향으로 설치된 일자형의 자기차폐 부재를 더 포함하는

것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 9] 청구항 6에 있어서,
상기 급전코어는,
이동체 진행방향을 따라 직렬로 배치된 하나 이상의 자극을 구비한 급전모듈이 이동체 진행방향을 따라 직렬로 열을 이루도록 배치된 형태인 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 10] 청구항 9에 있어서,
상기 각 급전모듈은,
전후 양단에 코어연결부를 구비하고,
각 급전코어 모듈은 상기 코어연결부에 의해 서로 연결되어 도로 진행방향을 따라 직렬로 열을 이루도록 배치되는 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 11] 청구항 9에 있어서,
상기 급전코어는,
열 팽창 및 열 수축을 수용할 수 있도록, 일정간격 이격된 상태로 배치되어 있는 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 12] 청구항 9에 있어서,
상기 급전코어는,
상부 또는 하부에 유리섬유보강 플라스틱(FRP, fiber reinforced plastic)이 설치된 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 13] 청구항 6에 있어서,
상기 급전코어는,
이동체 진행방향에 수직인 폭이 상기 자극 중심간 간격의 2분의 1 이하인 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 14] 청구항 6에 있어서,
상기 자극의 이동체 진행방향으로의 길이는, 상기 이웃한 자극의 인접 단부 간 거리의 2배 이상인 것
을 특징으로 하는 급전장치.

[청구항 15] 이동체의 진행경로를 따라 설치된 급전장치로부터 자기유도방식으로 전력을 공급받는, 이동체에 설치된 집전장치로서,
이동체 하단에 급전장치와 일정간격 이격되어 설치되는 집전코어; 및

급전장치로부터 유도된 유도전류가 흐르도록 상기 집전코어에 루프형태로 설치된 집전코일
을 포함하고,
상기 집전코일 전류에 의한 Q 팩터(factor)는 100 미만이며,
상기 Q 팩터는 에 의해 결정되고,

$$Q_L = \frac{w L_L}{R_L}$$

상기 w는 상기 집전코일 전류의 각주파수,
상기 L_L은 상기 집전코일의 인덕턴스,
상기 R_L은 상기 집전코일의 저항
인 것을 특징으로 하는 집전장치.

[청구항 16] 청구항 15에 있어서,
상기 집전코어는 평판(plate)형 또는 격자(lattice)형인 것
을 특징으로 하는 집전장치.

[청구항 17] 청구항 15에 있어서,
집전코어 주위에 루프형의 자기차폐 부재를 더 포함하는 것
을 특징으로 하는 집전장치.