



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월10일  
(11) 등록번호 10-1284074  
(24) 등록일자 2013년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01B 7/30 (2006.01) H01F 5/00 (2006.01)  
H02K 3/02 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2013-7006940  
(22) 출원일자(국제) 2011년07월21일  
심사청구일자 2013년04월23일  
(85) 번역문제출일자 2013년03월19일  
(65) 공개번호 10-2013-0050976  
(43) 공개일자 2013년05월16일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2011/066563  
(87) 국제공개번호 WO 2012/023378  
국제공개일자 2012년02월23일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2010-185635 2010년08월20일 일본(JP)  
(뒷면에 계속)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2002358840 A  
JP2009129654 A  
KR1020010032560 A  
전체 청구항 수 : 총 8 항

(73) 특허권자  
가부시키가이샤후지쿠라  
일본국 도쿄도 고토쿠 기바 1쵸메 5반 1고  
(72) 발명자  
신모토 다카시  
일본 도쿄도 고토쿠 기바 1쵸메 5반 1고 가부시키  
가이샤후지쿠라내  
요시다 쇼타로  
일본 도쿄도 고토쿠 기바 1쵸메 5반 1고 가부시키  
가이샤후지쿠라내  
구안 닝  
일본 치바켄 사쿠라시 무쓰자키 1440 가부시키가  
이샤후지쿠라 사쿠라 지교쇼내  
(74) 대리인  
유미특허법인

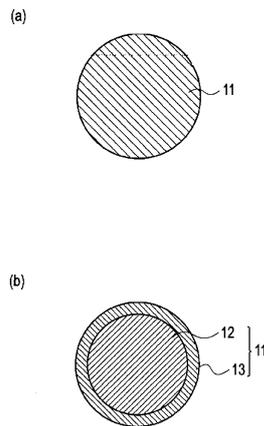
심사관 : 이상호

(54) 발명의 명칭 전선, 코일, 전선의 설계 장치 및 전기 모터

(57) 요약

동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 도체부(11)를 포함하는 전선으로서, 전선이 사용되는 주파수 대역에서, 기준으로 하는 동선의 교류 저항에 대한 상기 도체부의 교류 저항의 비가 1 미만이 되도록 도체부(11)의 체적 저항률이 규정되어 있다

대표도 - 도1



(30) 우선권주장

JP-P-2010-185636	2010년08월20일	일본(JP)
JP-P-2010-185637	2010년08월20일	일본(JP)
JP-P-2010-185638	2010년08월20일	일본(JP)
JP-P-2010-209651	2010년09월17일	일본(JP)
JP-P-2010-283809	2010년12월20일	일본(JP)

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 도체부를 포함하는 전선으로서,

상기 전선의 교류 저항값이, 상기 도체부와 동일한 선직경 및 길이로 이루어지는 동선의 교류 저항값과 일치하는 제1 주파수와, 상기 제1 주파수보다 주파수가 크고 상기 전선의 교류 저항값이 상기 동선의 교류 저항값과 일치하는 제2 주파수를 가지고,

상기 제1 주파수와 상기 제2 주파수 사이에 있어서 상기 전선의 교류 저항값이 상기 동선의 교류 저항값보다 작고,

상기 전선이 사용되는 주파수 대역이 1kHz~1MHz이고, 상기 제1 주파수와 상기 제2 주파수 사이의 주파수 대역 내에, 상기 전선이 사용되는 주파수가 들어가도록 상기 도체부의 체적 저항률이 규정되고,

상기 제2 주파수가 상기 전선이 사용되는 주파수의 상한값 이상이 되도록, 상기 도체부의 체적 저항률을 단면적으로 나눈 단위 길이당 직류 저항값이, 상기 직류 저항값을  $R_{dc}(m\Omega/cm)$ , 상기 제2 주파수를  $f_2(kHz)$ 라고 했을 때,

$$0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$$

의 관계로 규정되어 있는, 전선.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 도체부가, 황동, 인청동, 규소 청동, 동·베릴륨 합금 및 동·니켈·규소 합금으로부터 선택되는 동합금, 알루미늄, 및 동피복 알루미늄 중 어느 하나로 이루어지는, 전선.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 전선이 사용되는 주파수가, 상기 전선에 사용하는 교류 전류의 기본파의 주파수로부터 20차까지의 고조파의 주파수를 포함하는, 전선.

### 청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 도체부의 선직경이 0.05mm~0.6mm인, 전선.

### 청구항 5

전선을 소선으로서 사용한 코일로서,

상기 전선이 동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 도체부를 포함하고,

상기 전선의 교류 저항값이, 상기 도체부와 동일한 선직경 및 길이로 이루어지는 동선의 교류 저항값과 일치하는 제1 주파수와, 상기 제1 주파수보다 주파수가 크고 상기 전선의 교류 저항값이 상기 동선의 교류 저항값과 일치하는 제2 주파수를 가지고,

상기 제1 주파수와 상기 제2 주파수 사이에 있어서 상기 전선의 교류 저항값이 상기 동선의 교류 저항값보다 작고,

상기 코일이 사용되는 주파수 대역이 1kHz~1MHz이고, 상기 제1 주파수와 상기 제2 주파수 사이의 주파수 대역 내에, 상기 코일이 사용되는 주파수가 들어가도록 상기 도체부의 체적 저항률이 규정되고,

상기 제2 주파수가 상기 코일이 사용되는 주파수의 상한값 이상이 되도록, 상기 도체부의 체적 저항률을 단면적으로 나눈 단위 길이당 직류 저항값이, 상기 직류 저항값을  $R_{dc}(m\Omega/cm)$ , 상기 제2 주파수를  $f_2(kHz)$ 라고 했을 때,

$$0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$$

의 관계로 규정되어 있는, 코일.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 도체부가, 황동, 인청동, 규소 청동, 동·베릴륨 합금 및 동·니켈·규소 합금으로부터 선택되는 동합금, 알루미늄, 및 동피복 알루미늄 중 어느 하나로 이루어지는, 코일.

**청구항 7**

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 코일이 사용되는 주파수가, 상기 코일에 사용되는 교류 전류의 기본파의 주파수로부터 20차까지의 고조파의 주파수를 포함하는, 코일.

**청구항 8**

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 도체부의 선직경이 0.05mm~0.6mm인, 코일.

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**청구항 16**

삭제

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 전선, 코일, 전선의 설계 장치 및 전기 모터에 따른 것이다.

**배경기술**

[0002] 고주파 전류를 통전하는 기기(변압기, 모터, 리액터, 유도 가열 장치 및 자기 헤드 장치 등)의 코일 및 급전 케이블에서는, 그 고주파 전류에 의해 발생한 자계에 의해 도체 내에 와전류 손실이 생기고, 그 결과로서 교류 저항(고주파 저항)이 증대(표피 효과 및 근접 효과가 증대)하게 되어 발열 및 소비 전력 증대를 야기한다. 표피 효과 및 근접 효과의 증대를 억제하는 대책으로서, 일반적으로는 선의 세경화(細徑化)와 각 소선(素線)을 절연 피복한 리츠선(litz wire)의 채용으로 도모되고 있다(예를 들면, 특허문헌 1~5 참조).

[0003] 권선 등에 사용되는 전선의 하나로서, 예를 들면, 알루미늄선(이하, "Al선"이라고 함)의 표면에 동층을 얇게 피복한 동피복 알루미늄선(이하, "CCA선"이라고 함)이 알려져 있다. 그러나, 고주파 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역에서, 고주파 전선의 교류 저항을 같은 선직경 등의 동선(이하, "Cu선"이라고 함)의 교류 저항보다 일률적으로 감소시키는 것은 곤란하다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0004] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 공개특허공보 제2009-129550호
- (특허문헌 0002) 특허문헌 2: 일본 공개특허공보 소62-76216호
- (특허문헌 0003) 특허문헌 3: 일본 공개특허공보 제2005-108654호
- (특허문헌 0004) 특허문헌 4: 국제 공개공보 제2006/046358호
- (특허문헌 0005) 특허문헌 5: 일본 공개특허공보 제2002-150633호

**발명의 내용**

[0005] 상기 문제점을 감안하여, 본 발명의 목적은 기준으로 하는 Cu선과 비교하여 와전류에 의한 손실을 동등 또는 작게 할 수 있어, 교류 저항을 감소시킬 수 있는 전선, 코일, 전선의 설계 장치 및 전기 모터를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 일 태양에 의하면, 동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 도체부를 구비하는 전선으로서, 전선이 사용되는 주파수 대역에서, 기준으로 하는 Cu선의 교류 저항에 대한 도체부의 교류 저항의 비가 1 미만이 되도록 도체부의 체적 저항률이 규정되어 있는 전선이 제공된다.

[0007] 본 발명의 일 태양에서, 기준으로 하는 Cu선이 도체부와 같은 선직경을 가져도 된다.

[0008] 본 발명의 일 태양에서, 전선의 교류 저항과, 기준으로 하는 Cu선의 교류 저항이 각각 일치하고, 서로 간에 있어 전선의 교류 저항이 기준으로 하는 Cu선의 교류 저항보다 작은 제1 주파수 및 상기 제1 주파수보다 큰 제2 주파수 중, 제2 주파수가 전선이 사용되는 주파수 대역의 상한값 이상이 되도록, 도체부의 체적 저항률을 단면적으로 나눈 단위 길이당 직류 저항값이 규정되어 있어도 된다.

[0009] 본 발명의 일 태양에서, 직류 저항값은 직류 저항값을  $R_{dc}$ , 제2 주파수를  $f_2$ 로 하고,

[0010] 
$$0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$$

[0011] 의 관계로 규정되어도 된다.

[0012] 본 발명의 일 태양에서, 도체부가 황동, 인청동, 규소 청동, 동·베릴륨 합금 및 동·니켈·규소 합금에서 선택되는 동합금, 및 동피복 알루미늄 중 어느 하나로 이루어져도 된다.

[0013] 본 발명의 일 태양에서, 전선이 사용되는 주파수 대역이 기준 주파수로부터 20차까지의 고조파의 주파수를 포함해도 된다.

- [0014] 본 발명의 일 태양에서, 전선이 사용되는 주파수 대역이 10kHz~1MHz라도 된다.
- [0015] 본 발명의 다른 태양에 의하면, 전선을 소선으로서 사용한 코일로서, 전선이 동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 도체부를 구비하고, 전선이 사용되는 주파수 대역에서, 기준으로 하는 Cu선의 교류 저항에 대한 도체부의 교류 저항의 비가 1 미만인 되도록 도체부의 체적 저항률이 규정되어 있는 코일이 제공된다.
- [0016] 본 발명의 다른 태양에서, 기준으로 하는 Cu선이 도체부와 같은 선직경을 가져도 된다.
- [0017] 본 발명의 다른 태양에서, 전선의 교류 저항과, 기준으로 하는 Cu선의 교류 저항이 각각 일치하고, 서로 간에 있어 전선의 교류 저항이 기준으로 하는 Cu선의 교류 저항보다 작은 제1 주파수 및 상기 제1 주파수보다 큰 제2 주파수 중, 제2 주파수가 전선이 사용되는 주파수 대역의 상한값 이상이 되도록, 도체부의 체적 저항률을 단면적으로 나눈 단위 길이당 직류 저항값이 규정되어 있어도 된다.
- [0018] 본 발명의 다른 태양에서, 직류 저항값은 직류 저항값을 Rdc, 제2 주파수를 f2로 하여,
- [0019] 
$$0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} Rdc + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} Rdc + 2.24)}$$
- [0020] 의 관계로 규정되어 있어도 된다.
- [0021] 본 발명의 다른 태양에서, 도체부가 황동, 인청동, 규소 청동, 동·베릴륨 합금 및 동·니켈·규소 합금으로부터 선택되는 동합금, 및 동피복 알루미늄 중 어느 하나로 이루어져도 된다.
- [0022] 본 발명의 다른 태양에서, 전선이 사용되는 주파수 대역이 기준 주파수로부터 20차까지의 고조파의 주파수를 포함해도 된다.
- [0023] 본 발명의 다른 태양에서, 전선이 사용되는 주파수 대역이 10kHz~1MHz라도 된다.
- [0024] 본 발명의 또 다른 태양에 의하면, 동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 전선의 설계 장치로서, 전선이 사용되는 주파수 대역에서의 전선의 후보가 되는 도체부의 교류 저항, 및 기준으로 하는 Cu선의 교류 저항을 각각 계산하는 저항 계산부; 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항에 대한 도체부의 근접 효과에 의한 교류 저항의 비(比)를 계산하는 비계산부; 및 비가 1 미만인 되는 경우에, 후보가 전선에 적용 가능하다고 판정하는 판정부를 포함하는 전선의 설계 장치가 제공된다.
- [0025] 본 발명의 또 다른 태양에 의하면, 원심형으로 배치된 복수의 철심; Al선, 또는 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체; 중심 도체를 피복하는 동으로 이루어지는 피복층을 구비하는 전선이 복수의 철심에 권취된 복수의 코일; 및 복수의 코일에 교류 전류를 인가함으로써 회전하는 회전자를 포함하고, 코일의 교류 저항이, 기준으로 하는 Cu선으로 감은 코일의 교류 저항보다 작아지는 제1 주파수 및 상기 제1 주파수보다 높은 제2 주파수의 사이에 들어가도록, 코일에 인가하는 교류 전류의 주파수가 인버터 방식에 의해 제어되는 전기 모터가 제공된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0026] 도 1의 (a)는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선의 일례를 나타낸 단면도이다.
- 도 1의 (b)는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선의 다른 일례를 나타낸 단면도이다.
- 도 2는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 표피 효과를 설명하기 위한 모식도이다.
- 도 3은 본 발명의 제1 실시형태에 따른 근접 효과를 설명하기 위한 모식도이다.
- 도 4는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 근접 효과를 설명하기 위한 다른 개략도이다.
- 도 5는 2층 구조의 도선의 단면도이다.
- 도 6은 전류가 흐르고 있는 도선 표면의 전자계를 나타낸 개략도이다.
- 도 7은 외부 자계가 인가된 경우의 2층 구조의 도선의 단면도이다.
- 도 8은 외부 자계가 인가된 경우의 도선 표면의 전자계를 나타낸 개략도이다.
- 도 9는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 각 전선 및 비교예에 따른 Cu선에 대한 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸 그래프이다.

- 도 10은 본 발명의 제1 실시형태에 따른 황동선 및 비교예에 따른 Cu선을 소선으로서 사용한 자장 발생 코일의 제작 조건을 나타낸 표이다.
- 도 11은 본 발명의 제1 실시형태에 따른 황동선 및 비교예에 따른 Cu선을 소선으로서 사용한 자장 발생 코일의 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸 그래프이다.
- 도 12는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 황동선 및 비교예에 따른 Cu선을 소선으로서 사용한 자장 발생 코일의 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸 표이다.
- 도 13은 본 발명의 제1 실시형태에 따른 황동선 및 Cu선에 대한 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸 그래프이다.
- 도 14는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 근접 효과 성분과 표피 효과 성분의 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸 그래프이다.
- 도 15는 본 발명의 제1 실시형태에 따른 각종 재료의 교류 저항 및 Cu선과의 교류 저항비의 계산 결과를 나타낸 표이다.
- 도 16은 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선의 설계 장치의 일례를 나타낸 개략도이다.
- 도 17은 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선의 설계 방법 및 제조 방법의 일례를 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 18은 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선의 일례를 나타낸 단면도이다.
- 도 19는 본 발명의 제2 실시형태에 따른 CCA선 및 Cu선에서의 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸 그래프이다.
- 도 20은 고주파 변압기의 1차 코일 전류 파형을 나타낸 그래프이다.
- 도 21은 기준 주파수 및 고조파 성분을 설명하기 위한 그래프이다.
- 도 22는 CCA 코일과 동코일의 손실을 나타낸 표이다.
- 도 23은 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선의 설계 장치의 일례를 나타낸 개략도이다.
- 도 24는 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선의 설계 방법의 일례를 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 25는 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터의 일례를 나타낸 개략도이다.
- 도 26은 비교예에 따른 Cu선을 코일에 사용한 경우의 동작 주파수 20Hz일 때의 전류 응답을 나타낸 그래프이다.
- 도 27은 비교예에 따른 Cu선을 코일에 사용한 경우의 동작 주파수 50Hz일 때의 전류 응답을 나타낸 그래프이다.
- 도 28은 도 26과 도 27을 중첩시킨 응답을 나타낸 그래프이다.
- 도 29는 도 26의 전류의 주파수 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.
- 도 30은 비교예에 따른 반경이 0.8mm인 Cu선의 표피 효과에 의한 고주파 저항을 나타낸 그래프이다.
- 도 31은 비교예에 따른 반경이 0.8mm인 Cu선의 근접 효과에 의한 고주파 손실( $H_0=1A/mm$ )을 나타낸 그래프이다.
- 도 32는 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 정특성을 나타낸 그래프이다.
- 도 33은 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 동특성을 나타낸 그래프이다.
- 도 34는 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 CCA선, A1선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 정특성(그 1)을 나타낸 그래프이다.
- 도 35는 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 CCA선, A1선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 정특성(그 2)을 나타낸 그래프이다.
- 도 36은 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 CCA선, A1선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 동특성(그 1)을 나타낸 그래프이다.
- 도 37은 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 CCA선, A1선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 동특성(그 2)을 나타낸 그래프이다.
- 도 38은 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에서 상이한  $\alpha$  값에 대하여 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항

이 작아지는 주파수 대역을 나타낸 표이다.

도 39는 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에서 상이한 반경  $r$  값에 대하여 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸 표이다.

도 40은 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 전기 모터의 일례를 나타낸 개략도이다.

도 41은 반경이 1.0mm인 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선의 표피 효과에 의한 고주파 저항을 나타낸 그래프이다.

도 42는 반경이 1.0mm인 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선의 근접 효과에 의한 고주파 손실( $H_0 = 1A/mm$ )을 나타낸 그래프이다.

도 43은 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 정특성(그 1)을 나타낸 그래프이다.

도 44는 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 정특성(그 2)을 나타낸 그래프이다.

도 45는 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 동특성(그 1)을 나타낸 그래프이다.

도 46은 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 동특성(그 2)을 나타낸 그래프이다.

도 47은 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에서 상이한  $\alpha$  값에 대하여 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸 표이다.

도 48은 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에서 상이한 반경  $r$  값에 대하여 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸 표이다.

도 49는 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 전기 모터의 일례를 나타낸 개략도이다.

도 50은 반경이 1.2mm인 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선의 표피 효과에 의한 고주파 저항을 나타낸 그래프이다.

도 51은 반경이 1.2mm인 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선의 근접 효과에 의한 고주파 손실( $H_0 = 1A/mm$ )을 나타낸 그래프이다.

도 52는 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 정특성(그 1)을 나타낸 그래프이다.

도 53은 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 정특성(그 2)을 나타낸 그래프이다.

도 54는 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 동특성(그 1)을 나타낸 그래프이다.

도 55는 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 CCA선, Al선 및 비교예에 따른 Cu선으로 감은 코일의 고주파 저항 동특성(그 2)을 나타낸 그래프이다.

도 56은 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에서 상이한  $\alpha$  값에 대하여 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸 표이다.

도 57은 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에서 상이한 반경  $r$  값에 대하여 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸 표이다.

도 58의 (a)은 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 일례를 나타낸 단면도이다.

도 58의 (b)은 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 다른 일례를 나타낸 단면도이다.

도 59는 본 발명의 제3 실시형태에 따른 황동선 및 Cu선에서의 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸 그래프이다.

- 도 60은 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 재료 및 선직경을 할당하여 측정된 기준 직류 저항 및 제2 주파수를 나타낸 표이다.
- 도 61은 본 발명의 제3 실시형태에 따른 기준 직류 저항과 제2 주파수와의 관계를 나타낸 그래프이다.
- 도 62는 황동 코일과 동코일의 손실을 나타낸 표이다.
- 도 63은 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 설계 장치의 일례를 나타낸 개략도이다.
- 도 64는 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 설계 방법 및 제조 방법의 일례를 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 65는 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선의 일례를 나타낸 단면도이다.
- 도 66은 비교예에 따른 Cu선의 자계 강도 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 67은 비교예에 따른 Cu선의 전류 밀도 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 68은 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선의 재료의 체적 저항률을 나타낸 표이다.
- 도 69는 비교예에 따른 Cu선의 자계 강도 분포를 나타낸 다른 그래프이다.
- 도 70은 비교예에 따른 Cu선의 손실 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 71은 본 발명의 제4 실시형태에 따른 규소 청동선의 자계 강도 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 72는 본 발명의 제4 실시형태에 따른 규소 청동선의 손실 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 73은 본 발명의 제4 실시형태에 따른 황동선의 자계 강도 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 74는 본 발명의 제4 실시형태에 따른 황동선의 손실 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 75는 본 발명의 제4 실시형태에 따른 인청동선의 자계 강도 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 76은 본 발명의 제4 실시형태에 따른 인청동선의 손실 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 77은 본 발명의 제4 실시형태에 따른 황동선, 인청동선 및 규소 청동선과 비교예에 따른 Cu선의 주파수와 교류 저항(근접 효과 성분)과의 관계를 나타낸 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0027] 다음에, 도면을 참조하여 본 발명의 실시형태를 설명한다. 이하의 도면의 기재에서, 동일 또는 유사한 부분에는 동일 또는 유사한 부호를 부여하고 있다. 단, 도면은 모식적인 것이며, 두께와 평면 치수와의 관계, 각 층의 두께의 비율 등은 현실의 것과는 상이한 것에 유의해야 한다. 따라서, 구체적인 두께나 치수는 이하의 설명을 참작하여 판단하여야 할 것이다. 또, 도면 상호 간에도 서로의 치수 관계나 비율이 상이한 부분이 포함되어 있는 것은 물론이다.
- [0028] 또, 이하에 나타낸 실시형태는, 본 발명의 기술적 사상을 구체화하기 위한 장치나 방법을 예시하는 것으로서, 본 발명의 기술적 사상은 구성 부품의 재질, 형상, 구조, 배치 등을 하기의 것에 특정하는 것이 아니다. 본 발명의 기술적 사상은, 특허청구범위에 있어 다양한 변경을 가할 수 있다.
- [0029] (제1 실시형태)
- [0030] <전선의 구조>
- [0031] 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선은, 도 1의 (a)에 나타낸 바와 같이, 특정한 주파수 대역에서 사용되는 전선으로서, 동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 도체부(11)를 구비한다. 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선에서, 특정한 주파수 대역에서 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항에 대한 도체부(11)의 근접 효과에 의한 교류 저항의 비가 1 미만인 되도록, 도체부(11)의 체적 저항률이 규정되어 있다.
- [0032] 여기서, "특정한 주파수 대역"은 그 전선(제품)이 사용되는 범위로서 규정(설정)된 주파수 대역을 의미한다. "특정한 주파수 대역"의 상한값, 하한값 및 범위는 개개의 제품 사양에 따라 적절히 설정되는 것이며, 특히 한정되지 않는다. "특정한 주파수 대역"은, 예를 들면, 수 kHz~100kHz 정도, 또는 10kHz~1MHz 정도라도 되며, IH 조리의 경우, 20kHz~60kHz 정도라도 된다. 일본, 미국, 유럽의 상용 전원 주파수를 그대로 사용하는 제품이면, 50Hz~60Hz 정도라도 된다. 또, "기준으로 하는 Cu선"은 미리 규정(설정)되는 것이며, 도체부(11)와

같은 선직경이어도 되고 상이한 선직경이어도 된다.

[0033] 도체부(11)의 직경은, 0.05mm~0.6mm 정도가 바람직하지만, 특히 한정되는 것은 아니다. 도체부(11)의 재료로서는, 황동, 인청동, 규소 청동, 동·베릴륨 합금, 및 동·니켈·규소 합금 등의 동합금이 사용 가능하다. 황동은 동(Cu) 및 아연(Zn)을 포함하는 합금(Cu-Zn)이며, 동과 아연 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다. 규소 청동은 동, 주석(Sn) 및 규소(Si)를 포함하는 합금(Cu-Sn-Si)이며, 동, 주석 및 규소 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다. 인청동은 동, 주석 및 인(P)을 포함하는 합금(Cu-Sn-P)이며, 동, 주석 및 인 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다.

[0034] 이들 동합금선은, 예를 들면, 1원칙 어닐 처리된 것이며, 주석, 동 또는 크롬(Cr) 등의 도금 처리가 되어 있어도 된다. 또, 도체부(11)는 원통형 외에, 평각(平角)형 등의 다양한 형상을 가져도 된다.

[0035] 또, 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선은, 도 1의 (b)에 나타난 바와 같이, 알루미늄(Al) 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체(12)와 중심 도체(12)를 피복하는 동(Cu)으로 이루어지는 피복층(13)을 도체부(11)로서 구비하는 CCA선라도 된다.

[0036] CCA선 전체의 직경은, 0.05mm~0.6mm 정도가 바람직하다. 피복층(13)의 단면적은, 중심 도체(12) 및 피복층(13)을 합친 전선 전체의 단면적에 대하여 15% 이하이며, 3%~15% 정도가 바람직하고, 더욱 바람직하게는 3%~10% 정도, 더욱더 바람직하게는 3%~5% 정도이다. 피복층(13)의 전선 전체에 대한 단면적의 비가 작을수록, 교류 저항을 감소시킬 수 있다. 중심 도체(12)로서는, 예를 들면, 전기용 알루미늄(EC 알루미늄) 또는 Al-Mg-Si계 합금(JIS 6000 시리즈)의 알루미늄 합금이 사용 가능하지만, 알루미늄 합금 쪽이 EC 알루미늄보다 체적 저항률이 크기 때문에 더욱 바람직하다.

[0037] 통상, 변압기 또는 리액터 등의 코일에는, Cu선을 폴리에탄, 폴리에스테르, 폴리에스테르이미드, 폴리아미드 이미드 또는 폴리이미드 등으로 절연 피복한 것이 사용된다. 동축 케이블에서는 고주파 전류 신호이므로 표피 효과 특성을 감안하여, 예를 들면, CCA선이 사용된다.

[0038] 도 2에 나타난 바와 같이, 도체에서는, 도체 내의 자속에 의해 도체 내에 와전류가 흐르고, 그 와전류가 표피 효과로서 교류 저항을 증대시킨다. 또, 도 3 및 도 4에 나타난 바와 같이, 외부 자속에 의해 도체 내에 와전류가 흐르고, 그 와전류가 근접 효과로서 교류 저항을 증대시킨다.

[0039] 교류 저항( $R_{ac}$ )은, 직류 저항 성분을  $R_{dc}$ , 표피 효과에 의한 교류 저항을  $R_s$ , 근접 효과에 의한 교류 저항(근접 효과 성분)을  $R_p$ 로 하여, 다음 식 (1)로 표현된다.

$$R_{ac} = (1 + k_s)R_{dc} + R_p \quad \dots(1)$$

[0042] 여기서,  $k_s$ 는 표피 효과 계수를 나타낸다.

[0043] 먼저, 본 발명의 제1 실시형태에서의 표피 효과에 의한 교류 저항( $R_s$ )의 계산 방법의 일례를 설명한다. 도 5에 나타난 바와 같이, z 방향으로 균일하게 분포하는 2층 구조의 원통형 도선에 대하여 생각한다. 도선 내층, 외층의 도전율을 각각  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ 로 가정하고, 도선의 z 방향으로 전류가 흐르고 있다고 한다.

[0044] 이하의 공식화에서, 각 전자계는 복소 표현을 사용하고, 시간 인자를  $e^{j\omega t}$ 라고 한다. 단,  $\omega$ 은 각 주파수를 나타낸다.

[0045] 전류에 의해, 전계의 z 방향 성분  $E_z$ 가 생성되고, 그것이 이하의 파동 방정식 (2)을 만족시킨다.

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} - j\omega\mu_0\sigma E_z = 0 \quad \dots(2)$$

[0047] 단,  $\mu_0$ 은 진공 중의 투자율을 나타낸다. 또, 자계  $H_\theta$ 는  $\theta$  방향 성분만을 가지고, 다음과 같이 부여된다.

$$H_\theta = \frac{1}{j\omega\mu_0} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad \dots(3)$$

[0048]

[0049] 여기서,

$$k_1^2 = -j\omega\mu_0\sigma_1 \quad \dots (4)$$

[0050]  $k_2^2 = -j\omega\mu_0\sigma_2 \quad \dots (5)$

[0051] 을 두면, 파동 방정식 (2)의 해는 다음과 같이 둘 수가 있다.

$$E_{z1} = AJ_0(k_1r), (r < b) \quad \dots (6)$$

[0052]  $E_{z2} = BJ_0(k_2r) + CM_0(k_2r), (b \leq r \leq a) \quad \dots (7)$

[0053] 단,  $J_\nu(z)$ 는 제1종 베셀 함수(Bessel function of the first kind)를 나타내고,

$$M_\nu(z) \equiv \frac{1}{2}\pi j H_\nu^{(1)}(z)$$

[0054] 이며,

$$H_\nu^{(1)}$$

[0055] 는 제1종 한켈 함수(Hankel function of the first) 를 나타낸다.

[0056]  $r=b$ 에서  $E_z, H_\theta$ 가 연속이 되는 경계 조건에 의해,

$$B = B_1A \quad \dots (8)$$

[0059]  $C = C_1A \quad \dots (9)$

[0060] 가 된다. 단,

$$B_1 = \frac{J_0(k_1b)M_0'(k_2b) - \frac{k_1}{k_2}J_0'(k_1b)M_0(k_2b)}{J_0(k_2b)M_0'(k_2b) - J_0'(k_2b)M_0(k_2b)} \quad \dots (10)$$

$$C_1 = \frac{\frac{k_2}{k_1}J_0'(k_1b)J_0(k_2b) - J_0(k_1b)J_0'(k_2b)}{J_0(k_2b)M_0'(k_2b) - J_0'(k_2b)M_0(k_2b)} \quad \dots (11)$$

[0061] 이다. 여기서,

$$J_0'(x) = dJ_0(x)/dx$$

[0062] 이며,

$$M_0'(x) = dM_0(x)/dx$$

[0063] 이다.

[0064] 또, 식 (3)으로부터, 다음 식 (12)를 얻을 수 있다.

$$H_\theta = \frac{k_2}{j\omega\mu_0} [BJ_0'(k_2r) + CM_0'(k_2r)], (b \leq r \leq a) \quad \dots (12)$$

[0065] Ampère 의 법칙으로부터, 도선에 흐르는 전(全)전류 I는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} I &= \oint H_\theta \Big|_{r=a} dl = 2\pi a H_\theta \Big|_{r=a} \\ &= \frac{2\pi a k_2}{j\omega\mu_0} [BJ_0'(k_2a) + CM_0'(k_2a)] \quad \dots (13) \end{aligned}$$

[0066] 단,  $\oint$  는 횡단면에서의 도선의 외주에 따르는 선적분을 나타낸다. 식 (13)에 식 (8), (9)를 대입하면, 다음

식 (14)을 얻을 수 있다.

[0072] 
$$A = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{I}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \quad \dots (14)$$

[0073] 한편, 도 6에 나타난 도선에 흘러드는 전력 흐름은 포인팅 벡터(Poynting vector)로부터 다음 식 (15)과 같이 계산된다.

[0074] 
$$\begin{aligned} \bar{P}_s &= -\oint \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S} = -\frac{1}{2} \oint \mathbf{E} \times \mathbf{H}^* \cdot d\mathbf{S} = -\frac{1}{2} \oint (-\mathbf{a}_r) (E_z H_\theta^*)|_{r=a} \cdot \mathbf{a}_r dS \\ &= \pi a \cdot l \cdot (E_z H_\theta^*)|_{r=a} \quad \dots (15) \end{aligned}$$

[0075] 여기서,  $\oint$  는 도 6에서의 도선의 원통형의 표면 적분을 나타내고,  $d\mathbf{S}$  는 법선 방향을 향하는 벡터 면소(vector surface element)를 나타낸다.  $\mathbf{P}$  는 포인팅 벡터이며,  $\mathbf{a}_r$  는 r 방향의 단위 벡터이다.

[0076] 식 (15)에 식 (7), (12)를 대입하면, 다음 식 (16)을 얻을 수 있다.

[0077] 
$$\bar{P}_s = \frac{j\omega\mu_0 l |I|^2}{4\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \quad \dots (16)$$

[0078] 여기서,

[0079] 
$$\bar{P}_s = \frac{1}{2} (R + j\omega L) |I|^2$$

[0080]로부터, 다음 식 (17)을 얻을 수 있다.

[0081] 
$$R + j\omega L = \frac{j\omega\mu_0 l}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \quad \dots (17)$$

[0082] 따라서, 표피 효과에 의한 단위 길이당 교류 저항은, 다음과 같이 부여된다.

[0083] 
$$R_s = \Re \left[ \frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \right] \quad \dots (18)$$

[0084] 단,  $\Re$  는 실수부를 나타내고, 주파수를 0으로 하였을 때의 값이 직류 저항  $R_{dc}$ 이다.

[0085] 도선이 1층 구조인 경우,  $\sigma_1 = \sigma_2$ , 식 (10) 및 식 (11)로부터,

[0086] 
$$B_1 = 1 \quad \dots (19)$$

[0086] 
$$C_1 = 0 \quad \dots (20)$$

[0087] 이 되고, 식 (18)은,

[0088] 
$$R_s = \Re \left[ \frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{J_0(k_2 a)}{J_0'(k_2 a)} \right] \quad \dots (21)$$

[0089] 이 된다.

[0090] 다음에, 본 발명의 제1 실시형태에서의 근접 효과 성분  $R_p$ 의 계산 방법의 일례를 설명한다. 도 7에 나타난 바와 같이, 도선의 외부에 x 방향의 고주파 자기( $H_e$ )가, x 방향의 단위 벡터를  $\mathbf{a}_x$ 로 하여 다음과 같이 인가되어 있는 것으로 한다.

[0091] 
$$\mathbf{H}_e = \mathbf{a}_x H_0 \quad \dots (22)$$

[0092] 여기서,  $H = \nabla \times A$ 를 만족시키는 자기 포텐셜(magnetic potential)

[0093] 
$$\mathbf{A} = \mathbf{a}_z A_z(r, \theta) \quad \dots (23)$$

[0094] 를 도입하면, 외부 포텐셜

[0095] 
$$A_{ze} = H_0 r \sin \theta \quad \dots (24)$$

[0096] 는 식 (22)의 자계를 부여한다.

[0097] 자기 포텐셜은 다음의 파동 방정식 (25)을 만족시킨다.

[0098] 
$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_z}{\partial \theta^2} - j\omega\mu_0\sigma A_z = 0 \quad \dots (25)$$

[0099] 단,  $\mu_0$ 은 진공 중의 투자율을 나타낸다.

[0100] 식 (25)의 해는, 다음과 같이 둘 수가 있다.

[0101] 
$$A_{z1} = D J_1(k_1 r) \sin \theta, \quad (r < b) \quad \dots (26)$$

$$A_{z2} = [E J_1(k_2 r) + F M_1(k_2 r)] \sin \theta, \quad (b \leq r \leq a) \quad \dots (27)$$

$$A_{z3} = \left( G r + \frac{H}{r} \right) \sin \theta. \quad (a < r) \quad \dots (28)$$

[0102] 각 경계에서 자계의 접선 성분( $H_\theta$ )과 자속 밀도의 법선 성분( $\mu_0 H_r$ )이 연속이 되는 경계 조건에 의해,

[0103] 
$$D = \frac{2H_0}{k_2 [E_1 J_0(k_2 a) + F_1 M_0(k_2 a)]} \quad \dots (29)$$

$$E = E_1 D \quad \dots (30)$$

$$F = F_1 D \quad \dots (31)$$

$$G = H_0 \quad \dots (32)$$

$$H = a^2 H_0 \frac{E_1 J_2(k_2 a) + F_1 M_2(k_2 a)}{E_1 J_0(k_2 a) + F_1 M_0(k_2 a)} \quad \dots (33)$$

[0104] 이 된다. 단,

[0105] 
$$E_1 = \frac{J_1(k_1 b) M_1'(k_2 b) - \frac{k_1}{k_2} J_1'(k_1 b) M_1(k_2 b)}{J_1(k_2 b) M_1'(k_2 b) - J_1'(k_2 b) M_1(k_2 b)} \quad \dots (34)$$

$$F_1 = \frac{\frac{k_1}{k_2} J_1'(k_1 b) J_1(k_2 b) - J_1(k_1 b) J_1'(k_2 b)}{J_1(k_2 b) M_1'(k_2 b) - J_1'(k_2 b) M_1(k_2 b)} \quad \dots (35)$$

[0106] 이다. 여기서,

[0107] 
$$J_1'(x) = dJ_1(x)/dx$$

[0108] 이며,

[0109] 
$$M_1'(x) = dM_1(x)/dx$$

[0110] 이다.

[0111] 또, 자계( $H_\theta$ )는 다음과 같이 얻을 수 있다.

[0112] 
$$H_\theta = -k_2 [E J_1'(k_2 r) + F M_1'(k_2 r)] \sin \theta. \quad (b \leq r \leq a) \quad \dots (36)$$

[0113] 또, 전계( $E_z$ )는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$E_z = \frac{k_2^2}{\sigma_2} [EJ_1(k_2r) + FM_1(k_2r)] \sin \theta. \quad (b \leq r \leq a) \quad \dots (37)$$

[0114]

[0115] 도 8에 나타낸 도선 표면으로부터 도선 내부에 들어오는 전력 흐름은 다음 식 (38)과 같이 계산된다.

$$\bar{P}_p = - \oint \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{2} al \int_0^{2\pi} E_z H_\theta^* |_{r=a} d\theta \quad \dots (38)$$

[0116]

[0117] 단,  $\mathbf{P}$  는 포인팅 벡터를 나타내고,  $\oint$  는 도 8에서의 도선 표면에서의 면 적분을 나타낸다.

[0118] 식 (36), (37)을 식 (38)에 대입하면, 다음 식 (39)를 얻을 수 있다.

$$\bar{P}_p = - \frac{2\pi l k_2 a T Q^*}{\sigma_2 |R|^2} |H_0|^2 \quad \dots (39)$$

[0119]

[0120] 단,

$$T = E_1 J_1(k_2 a) + F_1 M_1(k_2 a) \quad \dots (40)$$

$$Q = E_1 J_1'(k_2 a) + F_1 M_1'(k_2 a) \quad \dots (41)$$

$$R = E_1 J_0(k_2 a) + F_1 M_0(k_2 a) \quad \dots (42)$$

[0121]

[0122] 이다. 도선의 손실( $P_L$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_L = \Re[\bar{P}_p] = - \frac{2\pi l}{\sigma_2} |H_0|^2 \Re \left[ k_2 a \frac{T Q^*}{|R|^2} \right] \quad \dots (43)$$

[0123]

[0124] 도선이 1층 구조인 경우,  $\sigma_1 = \sigma_2$ , 식 (34) 및 식 (35)로부터,

$$E_1 = 1 \quad \dots (44)$$

$$F_1 = 0 \quad \dots (45)$$

[0125]

[0126] 이 되고, 식 (43)은 다음 식 (46)이 된다.

$$P_L = \Re[\bar{P}_p] = - \frac{2\pi l}{\sigma_2} |H_0|^2 \Re \left[ k_2 a \frac{J_1(k_2 a) J_1'(k_2 a)}{|J_0(k_2 a)|^2} \right] \quad \dots (46)$$

[0127]

[0128] 변압기, 리액터 등과 같이, 한 개의 도선으로 코일 등을 감았을 경우, 외부 자계는 도선 중을 흐르는 전류에 의해 생성된다. 그 경우, 다음 식 (47)과 같이 외부 자계의 힘  $|H_0|$ 은 전류의 크기  $|I|$ 에 비례한다.

$$|H_0| = \alpha |I| \quad \dots (47)$$

[0129]

[0130] 단,  $\alpha$  은 비례 계수이고, 도선의 감기 방법에 의존한다. 이것을 식 (43)에 대입함으로써, 근접 효과에 의한 단위 길이당 저항  $R_p$ 는, 다음과 같이 부여된다.

$$R_p = \frac{2P_L}{|I|^2 l} = - \frac{4\pi}{\sigma_2} \alpha^2 \Re \left[ k_2 a \frac{T Q^*}{|R|^2} \right] \quad \dots (48)$$

[0131]

[0132] 도 9에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 제1 실시형태에 따른 황동선, 인칭동선, 규소 청동선 및 비교예에 따른 Cu선의 외부 자계 강도( $H$ )가 1(A/mm)에서의 근접 효과에 의한 교류 저항을, 전술한 식 (48)을 사용하여 계산에 의해 구했다. 도 9로부터, 소정의 주파수 대역에서, 황동선, 인칭동선, 규소 청동선의 교류 저항이 Cu선의 교류

저항보다 작아지는 것을 알 수 있다.

- [0133] 도 10에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 제1 실시형태에 따른 황동선 및 비교예에 따른 Cu선에 대하여, 직경 0.4mm, 길이 6.6m의 소선을 55개 사용하여, 17턴으로 리츠선 구조로 하고, IH 조리기용의 자장 발생 코일을 제작하고, 그들에 대해 특성 확인 시험을 행하였다. 시험 결과를 도 11 및 도 12에 나타낸다. IH 조리기에는, 일반적으로 20kHz~60kHz 정도의 고주파 전류가 사용되지만, 20kHz~60kHz 정도를 포함하는 주파수 대역에서는, 황동선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작아지는 것이 알 수 있다.
- [0134] 도 13에 나타낸 바와 같이, 0.4mm의 선직경을 각각 가지는 황동선 및 비교예로서의 Cu선의 외부 자계 강도(H)가 1A/mm인 경우의 교류 저항을, 전술한 식 (1), (18) 및 (48)을 사용하여 계산에 의해 구했다. 도 13에 나타낸 바와 같이, 황동선이, 제1 주파수(f1) 및 제2 주파수(f2) 사이에 규정되는 주파수 대역에서, 같은 선직경을 가지는 Cu선보다 교류 저항이 작아지는 것을 알 수 있다. 즉, 제1 주파수(f1)보다 저주파 측에서는, 황동선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 크다. 제1 주파수(f1)에서, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 제1 주파수(f1)보다 고주파 측에서는, 와전류 손실이 지배적으로 되므로, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항의 대소가 역전한다. 제1 주파수(f1)로부터 제2 주파수(f2)까지의 주파수 대역에서, Cu선의 교류 저항이 황동선의 교류 저항보다 크다. 제2 주파수(f2)에서, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 다시 일치하고, 제2 주파수(f2)보다 고주파 측에서는, 황동선의 근접 효과의 영향이 Cu선보다 커지고, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항의 대소가 역전한다.
- [0135] 도 14에, 직경 0.4mm의 황동선에 대한 외부 자계 강도(H)가 1A/mm인 경우의 표피 효과 성분( $R_s$ )과 직류 저항( $R_{dc}$ )의 합 및 근접 효과 성분( $R_p$ )의 계산 결과를 나타낸다. 직류 저항( $R_{dc}$ )은, 식 (1)에서 주파수를 0으로 하였을 때의 값이다. 도 9, 도 11~도 13에 나타낸 바와 같이 황동선 등이 동보다 높은 체적 저항률임에도 불구하고, 소정의 주파수 대역에서 Cu선보다 낮은 교류 저항이 되는 현상의 이유는, 도 14에 나타낸 바와 같이 교류 저항이 근접 효과에 크게 의존하고, 또한 체적 저항률이 높으면 근접 효과가 작아지는 주파수 대역이 존재하는 것에 의한 것이다.
- [0136] 도 15에, 각 도체 재료에 대하여, 100kHz, 외부 자계 강도(H)가 1A/mm인 경우의 근접 효과에 의한 교류 저항 및 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항과의 비( $R_p$ 비)를, 전술한 식 (48)을 사용하여 계산한 결과를 나타낸다. 도 15에서는, 도체 재료로서, 도 1의 (a)에 나타낸 도체부(11)가 동선(Cu선)인 것, 도 1의 (b)에 나타낸 중심 도체(12)가 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(13)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 5%인 것(5% CCA), 도 1의 (b)에 나타낸 중심 도체(12)가 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(13)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 10%인 것(10% CCA), 도 1의 (b)에 나타낸 중심 도체(12)가 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(13)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 15%인 것(15% CCA), 도 1의 (b)에 나타낸 중심 도체(12)가 합금 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(13)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 5%인 것(5% CCA(합금 Al)), 및 도 1의 (a)에 나타낸 도체부(11)가 각각 황동, 규소 청동 및 인청동으로 이루어지는 것을 대상으로 하였다. CCA선의 체적 저항률에 대하여는, 2층의 단면적비로 환산하여 구한 등가 체적 저항률로 하였다. 도 15로부터, 선직경이 Cu선의 선직경과 동일한 경우에 더하여, 선직경이 Cu선보다 큰 경우에도  $R_p$ 비가 1 미만이 되는 조건이 있다는 것을 알 수 있다.
- [0137] 그래서, 본 발명의 제1 실시형태에서는, 이  $R_p$ 비에 착안하였다. 즉, 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선에서는, 전선이 사용되는 특정한 주파수에서, 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항에 대한 도 1의 (a) 및 도 1의 (b)에 나타낸 도체부(11)의 근접 효과에 의한 교류 저항의 비( $R_p$ 비)가 1 미만이 되도록, 도체부(11)의 체적 저항률이 규정되어 있다. 기준으로 하는 Cu선은, 도 1의 (a) 및 도 1의 (b)에 나타낸 도체부(11)와 같은 선직경이라도 되고, 상이한 선직경이라도 되고, 적절히 설정 가능하다.
- [0138] 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선에 의하면, 특정한 주파수 대역에서 사용할 때, 기준으로 하는 Cu선과 비교하여 교류 저항을 동등하게 하는 것 또는 감소시키는 것이 가능해진다.
- [0139] <전선의 설계 장치>
- [0140] 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선의 설계 장치는, 도 16에 나타낸 바와 같이, 중앙 처리 장치(CPU)(110), 기억 장치(111), 입력 장치(112) 및 출력 장치(113)를 구비한다.
- [0141] CPU(110)는, 저항 계산부(101), 비계산부(102) 및 판정부(103)를 하드웨어 자원인 모듈(논리 회로)로서 논리적으로 구비한다.

- [0142] 저항 계산부(101)는, 기억 장치(111)로부터 제작 가능한 전선의 후보가 되는 도체부(11)의 재료, 형상 및 선직경 등을 포함하는 선종류의 정보, 및 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역을 관독하여, 전술한 식 (48)을 사용하여, 특정한 주파수 대역에서의 전선의 후보가 되는 도체부(11)의 근접 효과에 의한 교류 저항값을 계산한다. 또한, 저항 계산부(101)는 기억 장치(111)로부터 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역 및 기준으로 하는 Cu선에 따른 정보를 관독하여, 전술한 식 (48)을 사용하여, 특정한 주파수 대역에서의 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값을 계산한다. 도체부(11) 및 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값은, 특정한 주파수 대역의 범위 내의 복수의 주파수에서 계산해도 되고, 특정한 주파수 대역의 범위 내의 적어도 하나의 주파수(예를 들면, 특정한 주파수 대역의 상한값)에서 계산하면 된다. 또, 기준으로 하는 Cu선은, 후보가 되는 도체부(11)와 같은 선직경이라도 되고, 상이한 선직경이라도 되고, 적절히 설정 가능하다.
- [0143] 비계산부(102)는, 저항 계산부(101)에 의해 계산된 도체부(11) 및 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값에 따라 동일한 주파수에서의 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값에 대한 후보가 되는 도체부(11)의 근접 효과에 의한 교류 저항값의 비( $R_p$ 비)를 계산한다.
- [0144] 판정부(103)는, 비계산부(102)에 의해 계산된  $R_p$ 비에 따라, 후보가 전선에 적용 가능한지를 판정한다. 예를 들면, 판정부(103)는,  $R_p$ 비가 1 미만인지 여부를 판정하고,  $R_p$ 비가 1 미만이라고 판정된 경우에 후보를 전선에 적용 가능하다고 판정한다.
- [0145] 기억 장치(111)는, 근접 효과에 의한 교류 저항을 구하는 식 (48)에 관한 정보, 복수의 후보가 되는 도체부(11)의 정보, 전선이 적용되는 각 기기에서 사용되는 특정한 주파수 대역, 저항 계산부(101)에 의해 계산된 도체부(11) 및 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값, 비계산부(102)에 의해 계산된  $R_p$ 비, 및 판정부(103)에 의한 판정 결과 등을 저장한다.
- [0146] 기억 장치(111)로서는, 예를 들면, 반도체 메모리, 자기 디스크 또는 광디스크 등이 채용 가능하다. 기억 장치(111)는 CPU(110)에서 실행되는 프로그램을 저장하는 기억 장치 등으로서 기능하게 할 수 있다(프로그램에 대한 자세한 것은 후술함). 기억 장치(111)는, CPU(110)에서의 프로그램 실행 처리 중에 이용되는 데이터 등을 일시적으로 저장하거나, 작업 영역으로서 이용되는 일시적인 데이터 메모리 등으로서 기능하게 하는 것도 가능하다.
- [0147] 입력 장치(112)로서는, 예를 들면, 터치 패널, 키보드, 마우스, OCR 등의 인식 장치, 스캐너, 카메라 등의 화상 입력 장치, 마이크 등의 음성 입력 장치 등이 사용 가능하다. 출력 장치(113)로서는, 액정 디스플레이(LCD), 유기 전계 발광(EL) 디스플레이, CRT 디스플레이 등의 표시 장치나, 잉크젯 프린터, 레이저 프린터 등의 인쇄 장치 등을 사용할 수 있다.
- [0148] <고주파 전선의 제조 방법>
- [0149] 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선의 설계 장치를 사용한 설계 방법을 포함하는 고주파 전선의 제조 방법의 일례를, 도 17의 흐름도를 사용하여 설명한다. 그리고, 여기서는 CCA선의 제조 방법을 설명하지만, 이에 특히 한정되지 않는 것은 물론이다.
- [0150] (I) 단계 S101에서, 저항 계산부(101)는, 기억 장치(111)로부터 전선의 후보가 되는 도체부(11)에 관한 정보, 및 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역을 관독하여, 전술한 식 (48)을 사용하여, 특정한 주파수 대역에서의 도체부(11)의 근접 효과에 의한 교류 저항값을 계산한다. 또한, 저항 계산부(101)는 전술한 식 (48)을 사용하여, 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값을 계산한다. 계산된 도체부(11) 및 Cu의 근접 효과에 의한 교류 저항값은, 기억 장치(111)에 기억된다. 그리고, 도체부(11) 및 Cu의 근접 효과에 의한 교류 저항값은 미리 기억 장치(111)에 기억되어 있어도 되고, 입력 장치(112)로부터 입력되어도 된다. 또, 도체부(11) 및 Cu의 근접 효과에 의한 교류 저항값은 이론식을 이용하여 계산하는 대신에 실측해도 된다.
- [0151] (II) 단계 S102에서, 비계산부(102)는, 저항 계산부(101)에 의해 계산된 도체부(11) 및 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값에 따라, Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항값에 대한 도체부(11)의 근접 효과에 의한 교류 저항값의 비( $R_p$ 비)를 계산한다.
- [0152] (III) 단계 S103에서, 판정부(103)는, 비계산부(102)에 의해 계산된  $R_p$ 비가 1 미만인지를 판정한다. 이 결과,  $R_p$ 비가 1 미만인 경우에는, 후보를 전선에 적용 가능하다고 판정한다. 판정 결과는 기억 장치(111)에 기억된다.

- [0153] (IV) 단계 S104에서, 관정부(103)에 의해 적용 가능하다고 판정된 후보의 재료, 형상 및 선직경 등으로 전선을 제조한다. 예를 들면, CCA선의 경우, 직경 9.5mm~12.0mm 정도의 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체(12)를 준비한다. 중심 도체(12)의 표면에, 0.1mm~0.4mm 정도 두께의 동테이프를 세로 세로 덧댐 방식으로 덧대면서 TIG 용접 또는 플라즈마 용접 등을 행함으로써, 중심 도체(12)의 표면에 피복층(13)을 피복한다. 다음에, 피복층(13)이 피복된 중심 도체(12)를 스킨 패스(skin pass)로 직경 9.3mm~12.3mm 정도로 성형함으로써, 피복층(13)이 피복된 중심 도체(12)로 이루어지는 모재(母材, base material)를 제작한다. 다음에, 모재를, 25~26 패스 정도의 복수단의 신선 다이(wire drawing die)를 통과시킴으로써 신선한다. 복수단의 신선 다이를 거침으로써, 최종적으로 전선의 직경을, 결정된 선직경과 같은 선직경으로 한다.
- [0154] 본 발명의 제1 실시형태에 따른 전선의 설계 장치를 사용한 설계 방법을 포함하는 고주파 전선의 제조 방법에 의하면, 근접 효과에 의한 교류 저항을 구하는 식 (48)을 사용하여 계산한  $R_b$ 비에 따라 선종류를 결정할 수 있다. 그 결과, 고주파 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역에 따라, 기준으로 한 Cu선과 비교하여 와전류에 의한 손실이 작고, 교류 저항을 감소시킬 수 있는 고주파 전선의 선직경을 설계하는 것이 가능해진다.
- [0155] 그리고, 도 17에 나타난 단계 S102에서 복수의 후보에 대하여 근접 효과에 의한 교류 저항값을 각각 계산하고, 단계 S102에서 복수의 후보마다  $R_b$ 비를 각각 계산하고, 단계 S103에서, 복수의 후보가 각각 적용 가능한지를 판정해도 된다. 단계 S104에서는, 적용 가능한 후보가 복수 있는 경우에는, 적절히 그 중의 하나의 후보의 선종류를 선택하면 된다.
- [0156] <전선 설계 프로그램>
- [0157] 도 17에 나타난 일련의 단계, 즉: (I) 특정한 주파수 대역에서의 전선의 후보가 되는 도체부(11)의 근접 효과에 의한 교류 저항, 및 특정한 주파수 대역에서의 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항을 각각 계산하는 단계; (II) 기준으로 하는 Cu선의 근접 효과에 의한 교류 저항에 대한 도체부의 근접 효과에 의한 교류 저항의 비를 계산하는 단계; (III) 비에 따라 후보를 전선에 적용 가능한지 판정하는 단계 등은, 도 17과 등가인 알고리즘의 프로그램에 의해, 도 16에 나타난 전선의 설계 장치를 제어하여 실행할 수 있다.
- [0158] 이 프로그램은, 본 발명의 전선의 설계 장치를 구성하는 컴퓨터 시스템의 기억 장치(111)에 기억시키면 된다. 또, 이 프로그램은, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 저장하고, 이 기록 매체를 기억 장치(111) 등에 읽어들이게 함으로써, 본 발명의 제1 실시형태의 일련의 단계를 실행할 수 있다.
- [0159] 여기서, "컴퓨터 판독 가능한 기록 매체"란, 예를 들면, 반도체 메모리, 자기 디스크, 광 디스크 등의 프로그램을 기록할 수 있는 매체 등을 의미한다. 예를 들면, 전선의 설계 장치의 본체는, 기록 매체의 판독 장치를 내장 또는 외부 접속하도록 구성할 수 있다. 또한, 무선 통신망 등의 정보 처리 네트워크를 통하여, 이 기억 장치(111)에 저장할 수 있다.
- [0160] (제2 실시형태)
- [0161] <전선의 구조>
- [0162] 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선은 특정한 주파수 대역에서 사용되는 전선으로서, 도 18에 나타난 바와 같이, 알루미늄(A1) 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체(21)와, 중심 도체(21)를 피복하는 동(Cu)으로 이루어지는 피복층(22)을 구비하는 CCA선이다. 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선은, 전선의 교류 저항과, 전선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항이 각각 일치하는 제1 주파수 및 제2 주파수의 사이에 규정되고, 또한 전선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작은 주파수 대역 내에, 특정한 주파수 대역이 들어간다.
- [0163] 전선 전체의 직경은, 0.05mm~0.6mm 정도가 바람직하다. 피복층(22)의 단면적은 중심 도체(21) 및 피복층(22)을 합한 전선 전체의 단면적에 대하여 15% 이하이고, 3%~15% 정도가 바람직하고, 더욱 바람직하게는 3%~10% 정도, 더욱더 바람직하게는 3%~5% 정도이다. 피복층(22)의 전선 전체에 대한 단면적의 비가 작을수록, 고주파 저항을 감소시킬 수 있다.
- [0164] 중심 도체(21)로서는, 예를 들면, 전기용 알루미늄(EC 알루미늄) 또는 Al-Mg-Si계 합금(JIS 6000 시리즈)의 알루미늄 합금이 사용 가능하지만, 알루미늄 합금 쪽이 EC 알루미늄보다 체적 저항률이 크기 때문에 더욱 바람직하다.
- [0165] 전술한 이론식을 이용하여 시뮬레이션을 행하고, 본 발명의 제2 실시형태에 따른 CCA선의 교류 저항 및 Cu선의 교류 저항을 계산에 의해 구했다. 그 결과, CCA선이, 특정한 주파수 대역에서, 근접 효과에 의해, 같은 선직경

을 가지는 Cu선보다 와전류 손실이 작아져, 결과로서 교류 저항이 작아지는 특성을 발견하였다.

- [0166] 도 19에, 1.8mm, 0.4mm, 0.2mm의 선직경을 가지는 CCA선 및 Cu선에 대하여, 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸다. 1.8mm의 선직경을 각각 가지는 Cu선 및 CCA선의 경우, 1kHz 정도의 제1 주파수(f11)(도시하지 않음)보다 저주파 측에서는, CCA선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 크다. 제1 주파수(f11)에서, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 제1 주파수(f11)보다 고주파 측에서는, 와전류 손실이 지배적이 되므로, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항의 대소가 역전한다. 제1 주파수(f11)로부터 10kHz 정도의 제2 주파수(f12)까지의 주파수 대역(B1)에서, Cu선의 교류 저항이 CCA선의 교류 저항보다 크다. 제2 주파수(f12)에서, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 다시 일치하고, 제2 주파수(f12)보다 고주파 측에서는, CCA선의 근접 효과의 영향이 Cu선보다 커지고, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항의 대소가 역전한다.
- [0167] 0.4mm의 선직경을 각각 가지는 Cu선 및 CCA선의 경우도, 제1 주파수(f21) 및 제2 주파수(f22)에서 CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 제1 주파수(f21)와 제2 주파수(f22) 사이의 주파수 대역(B2)에서, Cu선의 교류 저항이 CCA선의 교류 저항보다 크다.
- [0168] 0.2mm의 선직경을 각각 가지는 Cu선 및 CCA선의 경우도, 제1 주파수(f31) 및 제2 주파수(f32)에서 CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 제1 주파수(f31)와 제2 주파수(f32) 사이의 주파수 대역(B3)에서, Cu선의 교류 저항이 CCA선의 교류 저항보다 크다.
- [0169] 또, 도 19에 나타난 바와 같이, 1.8mm, 0.4mm, 0.2mm로 CCA선 및 Cu선의 선직경을 가늘게 함에 따라, 제1 주파수(f11) 및 제2 주파수(f12)가 고주파 측으로 시프트하고, 결과로서 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32) 사이에 규정되는 주파수 대역(B1, B2, B3)이, 고주파 측으로 시프트해 가는 특성을 발견하였다. 자계의 강도가 증대해도 제2 주파수(f12, f22, f32)는 거의 변화하지 않지만, 제1 주파수(f11, f21, f31)는 저주파 측으로 이동한다.
- [0170] 또, 스위칭 전원에 내장되는 고주파 변압기의 코일에서는, 도 20에 나타난 바와 같이, 상당히 왜곡된 파형의 전류가 흐른다. 이것은, 도 21에 나타난 바와 같이, 교류 전류의 주파수가 기본파의 주파수(기준 주파수) 외에, 많은 고차의 고조파 성분을 함유하고 있기 때문이다. 따라서, 고주파 변압기에서 발생하는 손실(동손)은 직류 성분, 기준 주파수 및 고차의 고조파 성분의 합이 된다. 예를 들면, 도 22에 나타난 바와 같이, 본 발명의 제2 실시형태에 따른 직경 0.2mm의 CCA 코일의 손실은 8.0W이고, 비교예에 따른 직경 0.6mm의 동코일의 손실은 14.5W이다.
- [0171] 따라서, CCA선에 대하여 사용하는 교류 전류의 주파수 대역으로서, 기준 주파수로부터 고차의 고조파 성분까지가 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)로 규정되는 주파수 대역(B1, B2, B3)에 들어가도록, CCA선의 선직경, 재료 및 단면적비 등이 설계되어 있는 것이 바람직하다. 고차의 고조파 성분을 어디까지 고려할지는 CCA선의 용도에 따라 적절히 결정하면 된다. 예를 들면, 기준 주파수로부터 10차의 고조파 성분까지를 고려해도 되고, 기준 주파수로부터 20차의 고조파 성분까지 고려해도 된다.
- [0172] 본 발명의 제2 실시형태에 따른 CCA 소선에 의하면, 특정한 주파수 대역에서 사용할 때, 같은 선직경을 가지는 Cu선과 비교하여 와전류에 의한 손실을 동등 또는 작게 할 수 있고, 교류 저항을 감소시킬 수 있다.
- [0173] <전선의 설계 장치>
- [0174] 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선의 설계 장치는, 도 23에 나타난 바와 같이, 중앙 처리 장치(CPU)(210), 기억 장치(211), 입력 장치(212) 및 출력 장치(213)를 구비한다.
- [0175] CPU(210)는 교류 저항 계산부(201), 주파수 추출부(202) 및 선직경 추출부(203)를 하드웨어 자원인 모듈(논리 회로)로서 논리적으로 구비한다.
- [0176] 교류 저항 계산부(201)는 기억 장치(211)로부터 대상이 되는 CCA선 및 Cu선의 교류 저항을 계산하는 데 필요한 정보를 판독하여, 도 19에 나타난 바와 같이, 복수의 주파수에 따라 CCA선의 교류 저항 및 CCA선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항을 복수의 선직경마다 계산한다.
- [0177] 주파수 추출부(202)는 교류 저항 계산부(201)에 의해 계산된 CCA선의 교류 저항 및 CCA선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항에 따라, 도 19에 나타난 바와 같이, 복수의 선직경마다, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 또한 서로 간에 있어 CCA선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작아지는 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)를 추출한다(f11는 도시하지 않음).

- [0178] 여기서, 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)로서 추출하는 주파수는, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 엄밀하게 일치하는 점이 아니어도 된다. 예를 들면, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항의 대소가 바뀌기 직전(저주파측) 또는 직후(고주파측)의 주파수를 추출해도 되고, CCA선의 교류 저항 및 Cu선의 교류 저항의 계산 결과로부터 각각의 근사 곡선을 구하고, 이들 근사 곡선이 교차하는 주파수를 추출해도 된다.
- [0179] 선직경 추출부(203)는 기억 장치(211)로부터 CCA선이 사용되는 특정한 주파수 대역을 판독하여, 주파수 추출부(202)에 의해 추출한 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)에 따라 복수의 선직경 중, 추출된 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32) 사이에 규정되는 주파수 대역(B1, B2, B3)이, CCA선이 사용되는 특정한 주파수 대역 내에 들어가는 제1 주파수 및 제2 주파수에 대응하는 CCA선의 선직경(예를 들면, 제1 주파수(f21) 및 제2 주파수(f22)에 대응하는 선직경 0.4mm)을 추출한다. CCA선이 사용되는 특정한 주파수 대역으로서는, 예를 들면, 도 21에 나타낸 기준 주파수 및 10차 이하의 고조파 주파수가 포함되어도 되고, 기준 주파수 및 20차 이하의 고조파 주파수가 포함되어도 된다.
- [0180] 도 23에 나타낸 기억 장치(211)는, 다양한 선직경을 가지는 CCA선 및 Cu선의 교류 저항을 계산하는 데 필요한 정보, 각 CCA선이 사용되는 특정한 주파수 대역, 교류 저항 계산부(201)에 의해 계산된 교류 저항, 주파수 추출부(202)에 의해 추출한 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32) 및 선직경 추출부(203)에 의해 추출한 CCA선의 선직경을 저장한다. 기억 장치(211)로서는, 예를 들면, 반도체 메모리, 자기 디스크 또는 광디스크 등이 채용 가능하다. 기억 장치(211)는, CPU(210)에서 실행되는 프로그램을 저장하고 있는 프로그램 기억 장치 등으로서 기능하게 할 수 있다(프로그램에 대한 자세한 것은 후술함). 기억 장치(211)는, CPU(210)에서의 프로그램 실행 처리 중에 이용되는 데이터 등을 일시적으로 저장하거나, 작업 영역으로서 이용되는 일시적인 데이터 메모리 등으로서 기능하게 하는 것도 가능하다.
- [0181] 도 23에 나타낸 입력 장치(212)로서는, 예를 들면, 터치 패널, 키보드, 마우스, OCR 등의 인식 장치, 스캐너, 카메라 등의 화상 입력 장치, 마이크 등의 음성 입력 장치 등이 사용 가능하다. 출력 장치(213)로서는, 액정 디스플레이(LCD), 유기 전계 발광(EL)디스플레이, CRT 디스플레이 등의 표시 장치나, 잉크젯 프린터, 레이저 프린터 등의 인쇄 장치 등을 사용할 수 있다.
- [0182] <CCA선의 제조 방법>
- [0183] 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선의 설계 장치를 사용한 전선의 설계 방법을 포함하는 CCA 소선의 제조 방법의 일례를, 도 24의 흐름도를 사용하여 설명한다.
- [0184] (I) 단계 S201에서, 교류 저항 계산부(201)가, 복수의 주파수에 따라 CCA선의 교류 저항 및 CCA선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항을 복수의 선직경마다 계산한다. 이 계산 결과는, 기억 장치(211)에 저장된다. 계산 대상이 되는 CCA선의 재료 및 단면적비 등은 적절히 설정 가능하다. 그리고, CCA선의 교류 저항 및 Cu선의 교류 저항은 계산하는 대신에 실측해도 된다.
- [0185] (II) 단계 S202에서, 주파수 추출부(202)가, 도 19에 나타낸 바와 같이, 복수의 선직경마다, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 또한 서로 간에 있어 CCA선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작아지는 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)를 추출한다(f11는 도시하지 않음). 계산 대상이 되는 선직경의 범위 및 주파수의 범위는 CCA선으로서 사용 가능한 범위에서 적절히 설정 가능하다. 이 추출한 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)는 기억 장치(211)에 저장된다.
- [0186] (III) 단계 S203에서, 선직경 추출부(203)이, 복수의 선직경 중, 추출된 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32) 사이에 규정되는 주파수 대역(B1, B2, B3)이 CCA선을 사용하는 특정한 주파수 대역 내에 들어가는 제1 주파수 및 제2 주파수에 대응하는 CCA선의 선직경(예를 들면, 제1 주파수(f11) 및 제2 주파수(f12)에 대응하는 선직경 1.8mm)를 추출한다. 이 추출한 선직경은 기억 장치(211)에 저장된다.
- [0187] (IV) 단계 S204에서, 기억 장치(211)에 저장된 선직경을 가지는 CCA 소선을 제조한다. 즉, 직경 9.5mm~12.0mm 정도의 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체(21)를 준비한다. 중심 도체(21)의 표면에, 0.1mm~0.4mm 정도의 두께의 동테이프를 세로 덧댐 방식으로 덧대면서 TIG 용접 또는 플라즈마 용접 등을 행함으로써, 중심 도체(21)의 표면에 피복층(22)을 피복한다. 다음에, 피복층(22)이 피복된 중심 도체(21)를 스킨 패스로 직경 9.3mm~12.3mm 정도로 성형함으로써, 피복층(22)이 피복된 중심 도체(21)로 이루어지는 모재를 제작한다. 다음에, 모재를 25~26 패스 정도의 복수단의 신선 다이를 통과시킴으로써 신선한다. 복수단의 신선 다이를 거침으로써, 최종적으로 전선의 직경을 기억 장치(211)에 저장된 선직경과 같은 선직경으로 한다.

- [0188] 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선의 설계 장치를 사용한 설계 방법을 포함하는 CCA 소선의 제조 방법에 의하면, CCA선이 사용되는 특정한 주파수 대역에 따라 같은 선직경의 Cu선과 비교하여 와전류에 의한 손실을 동등 또는 작게 할 수 있고, 교류 저항을 감소시킬 수 있는 CCA선의 선직경을 설계하는 것이 가능해진다.
- [0189] <설계 프로그램>
- [0190] 도 24에 나타낸 일련의 단계, 즉: (I) 복수의 주파수에 따라, CCA선의 교류 저항 및 CCA선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항을 복수의 선직경마다 계산하는 단계; (II) 복수의 선직경마다, CCA선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 또한 서로 간에 있어 CCA선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작아지는 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)를 추출하는 단계; 및 (III) 복수의 선직경 중, 추출된 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32) 사이에 규정되는 주파수 대역(B1, B2, B3)이, CCA선을 사용하는 특정한 주파수 대역 내에 들어가는 제1 주파수(f11, f21, f31) 및 제2 주파수(f12, f22, f32)에 대응하는 선직경을 추출하는 단계; 등은, 도 24와 등가인 알고리즘의 프로그램에 의해, 도 23에 나타낸 전선의 설계 장치를 제어하여 실행할 수 있다.
- [0191] 이 프로그램은, 본 발명의 전선의 설계 장치를 구성하는 컴퓨터 시스템의 기억 장치(211)에 기억시키면 된다. 또, 이 프로그램은 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 저장하고, 이 기록 매체를 기억 장치(211) 등에 읽어들이게 함으로써, 본 발명의 제2 실시형태의 일련의 단계를 실행할 수 있다.
- [0192] 여기서, "컴퓨터 판독 가능한 기록 매체"란, 예를 들면, 반도체 메모리, 자기 디스크, 광디스크 등의 프로그램을 기록할 수 있는 매체 등을 의미한다. 예를 들면, 전선의 설계 장치의 본체는 기록 매체의 판독 장치를 내장 또는 외부 접속하도록 구성할 수 있다. 또한, 무선 통신망 등의 정보 처리 네트워크를 통하여, 이 기억 장치(211)에 저장할 수 있다.
- [0193] <전기 모터>
- [0194] 다음에, 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전기 모터에 대하여 설명한다. 인버터 장치 등을 사용하여 회전 속도나 토크를 조정하는 전기 모터는 고효율이며, 철도 차량이나 전기 자동차의 구동, 가전 분야에서 인버터 에어컨 등 광범위한 분야에 사용되고 있다.
- [0195] 전기 모터의 코일은 도선을 다중으로 감아서 구성되어 있다. 전기 모터에서, 동(Cu)의 저항률이 알루미늄(Al)보다 낮고, 또한 납땀이 가능하기 때문에, 종래의 코일에는 일반적으로 Cu선이 사용되고 있었다.
- [0196] 그러나, 이 종류의 전기 모터는 회전수가 가변이며, 높은 회전수로 사용되는 일이 많다. 전기 모터의 구동 전류는 회전수에 따라 주파수가 높아진다. 또한, 인버터 장치는 직류 전압을 적절히 온·오프 제어함으로써 높은 주파수를 만든다. 그러므로, 구동 전류에는 기본 주파수 성분 외에, 그보다 훨씬 높은 고주파 성분을 가진다.
- [0197] 주파수가 높아짐에 따라, 표피 효과와 근접 효과에 의해, 코일의 저항은 높아진다. 표피 효과에 의한 저항은 항상 Cu선보다 Al선이 크지만, 근접 효과에 의한 저항은 Cu선 쪽이 큰 경우도 있다. 그러므로, Cu선으로 감은 코일의 경우, 근접 효과에 의해 고주파 저항이 커지고, 그에 따른 손실이 커지게 되는 경우가 있다. 특히 동작 주파수가 높아지는 경우나, 인버터 장치를 사용하여 구동한 경우 등에 그 손실이 현저하게 된다.
- [0198] 여기서, 코일에는 다양한 형상이 있으므로, 형상이 상이하면 도선의 고주파 저항에서의 표피 효과와 근접 효과의 비율이 달라진다. 표피 효과는 코일을 구성하는 도선의 단면 형상과 도선의 개수 및 도선의 길이로 결정되지만, 근접 효과는 코일의 감는 방법에도 의존한다. 도선이 근접하여 감기거나, 감은 횟수가 많은 경우, 근접 효과가 강해진다. 코일을 구성하는 도선의 단위 길이당 고주파 저항은 다음 식 (49)와 같이 나타낼 수 있다.
- [0199] 
$$R_{ac} = R_s + \alpha P_p \quad \dots(49)$$
- [0200] 단,  $R_s$ (단위는  $\Omega/m$ )는 표피 효과에 의한 단위 길이당 고주파 저항이며,  $P_p$ (단위는  $\Omega \cdot m$ )는 근접 효과에 의한 단위 길이당 고주파 손실이며,  $\alpha$ (단위는  $1/m$ )는 코일의 형상에 의존하는 형상 인자(구조 인자)이다.  $\alpha$ 는 거의 주파수에 의존하지 않는 정수이며, 코일의 권선이 조밀하게 감기면 커지고, 또 감은 도선이 길수록 커지게 된다.  $\alpha$ 는 필요로 하는 전기 모터의 출력 등에 의존하지만, 변화하는 것이다.

[0201]  $R_s$ 와  $P_p$ 는 각각 다음 식 (50), (51)로 부여된다.

$$R_s = \Re \left[ \frac{j\omega\mu_0}{2\pi k_2 a} \cdot \frac{B_1 J_0(k_2 a) + C_1 M_0(k_2 a)}{B_1 J_0'(k_2 a) + C_1 M_0'(k_2 a)} \right] \dots (50)$$

$$P_p = -\frac{4\pi}{\sigma_2} \Re \left[ k_2 a \frac{TQ^*}{|R|^2} \right] \dots (51)$$

[0202]

[0203] <제1 실시예>

[0204] 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터(3상 교류 동기 모터)는, 도 25에 나타난 바와 같이, 원심형에 배치된 복수의 철심(221)과 A1선 또는 CCA선으로 이루어지는 전선(222)이 복수의 철심(221)에 감긴 복수의 코일(223)과 복수의 코일(223)에 전류를 인가함으로써 회전하는 회전자(224)를 구비한다. 복수의 철심(221), 복수의 코일(223) 및 코일 유지부(20) 등에 의해 고정자가 구성된다.

[0205] 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터는 12 코일이며, 코일 유지부(20)의 내경(a)이 150mm, 코일 유지부(20)의 외경(b)이 200mm, 철심(221)의 길이(h)가 40mm, 철심(221)의 외주 측의 일단의 직경(e)이 30mm, 철심(221)의 타단의 직경(f)이 20mm이다. 각 극은 반경(r)이 0.8mm인 전선(222)에 의해 원통형으로 10회 철심(21)에 감겨, 전체 길이(l)가 약 3.1m이다. 도 25에서는 u상의 코일(223)만을 나타내지만, 도시하지 않은 v상 및 w상의 코일도 코일(223)과 동일한 구조를 가진다.

[0206] 회전자(224)는 영구 자석으로 이루어진다. 회전자(224)는 코일(223)에 인가된 교류 전류가 만드는 주위의 회전 자계에 의해 흡인되어 회전한다.

[0207] 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터는 가변 전압 가변 주파수(VVVF)형의 인버터 장치를 사용하여, 인버터 방식으로 구동 전류의 주파수를 조정함으로써, 전기 모터의 회전 속도를 제어한다. 인버터 장치는, 예를 들면, 6개의 스위칭 소자를 사용한 3상 출력 인버터이며, 스위칭 소자를 사용하여 의사적으로 3상 교류를 생성한다

[0208] 여기서, 코일(223)의 교류 저항이, 코일(223)과 같은 형상을 가지는 Cu선으로 감은 코일의 교류 저항보다 작아지는 제1 주파수 및 그 제1 주파수보다 높은 제2 주파수 사이에 들어가도록, 코일(223)에 인가하는 교류 전류의 주파수가 인버터 방식에 의해 제어된다.

[0209] 또, 구동 전류는, 예를 들면, 진폭이 기본 주파수 성분의 1/3 이상을 가지는 고주파 성분을 가지고, 파위가 기본 주파수 성분의 1/9 이상을 가지는 고주파 성분을 가진다.

[0210] 도 26 및 도 27은, 도 25에 나타난 전기 모터에서, 각각 동작 주파수가 20Hz와 50Hz일 때의 전류 파형을 나타낸다. 도 28은 도 27의 시간축을 2.5배로 연장하고, 도 26에 중첩시킨 것이다. 도 26에 의하면, 전류는 0.05의 기본 주기를 갖지만, 가변 전압을 잘라내 고주파를 생성하는 인버터 방식을 이용하고 있으므로, 정현파 파형에 급격하게 변화하는 곳이 다수 있다. 도 27에서는 기본 주기가 0.02s가 되어 있지만, 도 28로부터, 정현파 파형의 구성은 주파수에 의존하지 않고 거의 일정하다는 것을 알 수 있다.

[0211] 도 29는 도 26의 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 도 29에 나타난 바와 같이, 20Hz의 기본 주파수 외에, 다수의 고주파 성분을 가지는 것이 알 수 있다. 이들 고주파 성분의 존재에 의해 고주파 저항이 높아지고, 근접 효과에 의한 손실이 더욱 현저하게 된다.

[0212] 비교예로서, 반경(r)이 0.8mm, 길이(l)이 3.1m인 Cu선으로 코일을 감은 경우의 표피 효과에 의한 단위 길이당 고주파 저항( $R_s$ )을 도 30에 나타내고, 외부 자계( $H_0$ )를  $H_0 = 1A/mm$ 로 하였을 때의, 근접 효과에 의한 단위 길이당 손실( $P_p$ )을 도 31에 나타낸다.

[0213] 또, 같은 Cu선으로 감은 코일은 도 32에 나타난 바와 같은 고주파 저항의 정특성을 나타낸다. 여기서 정특성은, 전기 모터에 정현파의 전류를 흘렸을 때의 특성을 말한다. 이 경우, 식 (49)에서의 구조 인자( $\alpha$ )는  $\alpha = 3.9mm^{-1}$ 이었다.

[0214] 한편, 도 26의 구동 전류의 경우, 코일의 고주파 저항은 도 29의 스펙트럼으로부터 다음 식 (52)과 같이 계산된다.

$$R_{ac}^d = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} I^2(\omega_n) R_{ac}(\omega_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} I^2(\omega_n)}, \quad \omega_n = 2\pi f_n \quad \dots (52)$$

[0215]

[0216] 단,  $f_n$ 는  $n$ 차 고주파 성분의 주파수이다.

[0217] 도 26의 구동 전류는 인버터 장치에서 생성되고, 주파수가 변화되어도 정현파를 구성하는 파형이 상대적으로 변화하지 않는다고 가정으로 하여, 식 (52)에서 코일의 고주파 저항의 동특성을 계산하면, 도 33에 나타낸 계산 결과를 얻을 수 있다. 여기서 동특성은 전기 모터에 도 26과 같은 주기성 구동 전류를 흘렸을 때의 특성을 말한다. 그때의 기본 주파수는 구동 전류의 주기의 역수로 한다. 도 33으로부터, 동특성(dynamic)은 정특성(static)에 비하면 현격히 커져 있는 것을 알 수 있다.

[0218] 한편, 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터로서, 코일(223)을 감는 전선(222)은 같은 직경인 것을 사용하고, 도 18에 나타낸 바와 같이 알루미늄(A1) 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체(21)와, 중심 도체(21)를 피복하는 동(Cu)으로 이루어지는 피복층(22)을 구비하고, 피복층(22)의 단면적이 고주파 전선 전체의 단면적의 5%인 CCA선(이하, "5% CCA선"이라고 함)( $b=0.78\text{mm}$ ,  $a=0.8\text{mm}$ )과 A1선을 사용한 경우의 정특성을 도 34 및 도 35에 나타낸다. 도 34 및 도 35로부터, 주파수( $f$ )가  $0.9\text{kHz} \leq f \leq 27\text{kHz}$  범위에서, CCA선과 A1선의 저항이 Cu선보다 작은 것을 알 수 있다.

[0219] 같은 CCA선과 A1선으로 감은 코일의 고주파 저항의 동특성을 도 36 및 도 37에 나타낸다. 도 36 및 도 37로부터, 주파수( $f$ )가  $65\text{Hz} \leq f \leq 1173\text{Hz}$  범위에서 CCA선과 A1선의 저항이 Cu선보다 작은 것을 알 수 있다. 이 경우, 제1 주파수를 65Hz로 하고, 제2 주파수를 1173Hz로 하여,  $65\text{Hz} \leq f \leq 1173\text{Hz}$  범위에서 구동 전류의 주파수를 제어함으로써, Cu선과 동등하거나 Cu선보다 작은 고주파 저항을 얻을 수 있다. CCA선 및 A1선 각각이 Cu선과 동등하거나 Cu선보다 작은 고주파 저항이 되는 제1 주파수 및 제2 주파수는, 코일(223)의 형상에 따라, 식 (49)~(52) 등을 사용하여 계산하여 구해도 되고, 실측하여 구해도 된다.

[0220] 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에서는, 원형 단면을 가지는 전선(222)을 설명하였으나, 전선(222)의 단면 형상은 편평, 직사각형이라도 되고, 단면적이  $2.0\text{mm}^2$ 이면 CCA선의 경우와 동일한 효과를 나타낸다. 또, 사용하는 전기 모터의 코일의 밀도나 도선의 길이가 변화된 경우,  $a$ 가  $2.2\text{mm}^{-1} \leq a \leq 5.5\text{mm}^{-1}$ 으로 변화된 경우에도 동일한 효과를 나타낸다.

[0221] 도 38은 같은 형상의 도선으로 감는 코일에서, 상이한  $a$  값에 대한 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸다.  $a$ 가 커짐에 따라 (예를 들면, 도선이 긴밀하거나 많이 감김에 따라), CCA선이 유리해지는 주파수 대역이 넓어져 있는 것을 알 수 있다.

[0222] 도 39는 같은  $a=3.9\text{mm}^{-1}$ 에 대하여, 상이한 반경( $r$ )을 가지는 도선에 대한 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸다. 선직경이 굵을수록, 저주파에서 CCA선이 유리해지는 것을 알 수 있다.

[0223] 이와 같이, 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터에 의하면, Cu선보다 도전율이 낮은 A1선 또는 CCA선을 사용하고, 인버터 방식으로 제1 주파수 및 제2 주파수 사이에 구동 전류의 주파수를 제어함으로써, Cu선과 동등하거나 Cu선보다 고주파 저항을 낮출 수 있고, 전기 모터의 손실을 줄일 수가 있다.

[0224] 또한, 알루미늄(A1)이 동(Cu)보다 가볍기 때문에, A1선 또는 CCA선을 사용함으로써, 전기 모터를 경량화할 수 있다.

[0225] 또한, CCA선을 사용하는 경우, 종래와 같이 납땀 가능하므로, 작업성을 해치는 일 없이, 고주파 저항의 감소와 경량화를 도모할 수 있다. 또, CCA선은 표피 심도가 동층의 두께 정도가 되면, 표피 효과에 의한 손실도 종래의 도선과 정도가 된다.

[0226] <제2 실시예>

[0227] 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 전기 모터(3상 교류 동기 모터)는, 도 40에 나타낸 바와 같이, 원심형으로 배치된 복수의 철심(221)과 A1선 또는 CCA선으로 이루어지는 전선(222)이 복수의 철심(221)에 감긴 복수의 코일(223)과 복수의 코일(223)에 전류를 인가함으로써 회전하는 회전자(224)를 구비한다.

[0228] 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 전기 모터는 15 코일이며, 코일 유지부(20)의 내경( $a$ )이 170mm, 코일 유지부(20)의 외경( $b$ )이 220mm, 철심(221)의 길이( $h$ )가 45mm, 철심(221)의 외주 축의 일단의 직경( $e$ )이

33mm, 철심(221)의 타단의 직경(f)이 25mm이다. 각 전극은 반경(r)이 1.0mm인 전선(222)에 의해 원통형으로 10회 철심(21)에 감기고, 전체 길이(1)가 약 4.8m이다. 도 40에서는 u상의 코일(223)만을 나타내고 있지만, v상 및 w상도 코일(223)도 동일한 코일의 구조를 가진다.

[0229] 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 전기 모터의 다른 구성은, 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터와 실질적으로 동일하므로, 중복된 설명을 생략한다.

[0230] 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 코일(223)로서 반경(r)이 1.0mm, 길이가 4.8m인 5% CCA선 및 Al선을 사용하고, 비교예로서 Cu선을 사용하였다. 5% CCA선에 대하여는, 코일 유지부(20)의 외경(b)을 0.95mm, 코일 유지부(20)의 내경(a)을 1mm로 하였다. 그 경우의 표피 효과에 의한 단위 길이당 고주파 저항( $R_s$ )을 도 41에 나타내고, 외부 자계( $H_0$ )를  $H_0=1A/mm$ 로 하였을 때, 근접 효과에 의한 단위 길이당 손실( $P_p$ )을 도 42에 나타낸다.

[0231] 또, 이들 도선으로 감은 코일은 도 43 및 도 44와 같은 고주파 저항 정특성을 나타낸다. 그 경우, 식 (49)에서의 구조 인자( $\alpha$ )는  $\alpha = 2.2mm^{-1}$ 이었다. 도 43 및 도 44에서는, 주파수(f)가  $0.8kHz \leq f \leq 17kHz$ 에서 CCA선과 Al선의 저항이 Cu선보다 작은 것을 알 수 있다.

[0232] 도 26의 구동 전류는 인버터에 의해 생성되고, 주파수가 변화되어도 정현파를 구성하는 파형이 상대적으로 변화하지 않으면 가정한 경우의 고주파 저항 동특성을 도 45 및 도 46에 나타낸다. 도 45 및 도 46으로부터, 주파수(f)가  $59Hz \leq f \leq 742Hz$ 에서 CCA선과 Al선의 저항이 Cu선보다 작은 것을 알 수 있다. 이 경우, 제1 주파수를 59Hz로 하고, 제2 주파수를 742Hz로 하여,  $59Hz \leq f \leq 742Hz$  범위에서 구동 전류의 주파수를 제어함으로써, Cu선과 동등하거나 Cu선보다 작은 고주파 저항을 얻을 수 있다.

[0233] 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에서, 원형 단면을 가지는 전선(222)을 설명하였으나, 전선(222)의 단면 형상이 편평, 직사각형이라도 되고, 단면적이  $3.1mm^2$ 이면, CCA선의 경우에 동일한 효과를 나타낸다. 또, 본 발명의 제2 실시형태의 제2 실시예에 따른 전기 모터에 대하여, 사용하는 전기 모터의 코일의 밀도나 전선(222)의 길이가 변화된 경우,  $\alpha$ 의 값이  $1.0mm^{-1} \leq \alpha \leq 4.5mm^{-1}$ 으로 변화된 경우에도 동일한 효과를 나타낸다.

[0234] 도 47은 같은 형상의 도선으로 감은 코일에서, 상이한  $\alpha$  값에 대한 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸다.  $\alpha$ 의 값이 커짐에 따라(긴밀 또는 많이 감김에 따라), CCA선이 Cu선보다 유리해지는 되는 주파수 대역이 넓어지는 것을 알 수 있다.

[0235] 도 48은 같은  $\alpha = 2.2mm^{-1}$ 에 대하여, 상이한 반경(r)을 가지는 도선에 대한 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸다. 선직경이 굵을수록, 저주파에서 CCA선이 유리해지는 것을 알 수 있다.

[0236] <제3 실시예>

[0237] 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 전기 모터(3상 교류 동기 모터)는, 도 49에 나타낸 바와 같이, 복수의 철심(221)과 Al선 또는 CCA선으로 이루어지는 전선(222)이 복수의 철심(221)에 감긴 복수의 코일(223)과 복수의 코일(223)에 전류를 인가함으로써 회전하는 회전자(224)를 구비한다.

[0238] 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 전기 모터는 18 코일이며, 코일 유지부(20)의 내경(a)이 180mm, 코일 유지부(20)의 외경(b)이 230mm, 철심(221)의 길이(h)가 50mm, 철심(221)의 외주 측의 일단의 직경(e)이 36, 철심(221)의 타단의 직경(f)이 27mm, 각 극은 반경(r)이 1.2mm인 전선(222)에 의해 원통형으로 11회 철심(21)에 감기고, 전체 길이(1)가 약 7.0m였다. 도 49에서는 u상의 코일만을 나타내고 있지만, 도시하지 않은 v상 및 w상의 코일도 코일(223)과 동일한 구조를 가진다.

[0239] 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 전기 모터의 다른 구성은, 본 발명의 제2 실시형태의 제1 실시예에 따른 전기 모터와 실질적으로 동일하므로, 중복된 설명을 생략한다.

[0240] 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에 따른 코일(223)로서 반경(r)이 1.2mm, 길이가 7.0m인 5% CCA선 및 Al선을 사용하고, 비교예로서 Cu선을 사용하였다. 5% CCA선에 대하여는, 코일 유지부(20)의 외경(b)을 1.17mm, 코일 유지부(20)의 내경(a)을 1.2mm로 하였다. 그 경우의 표피 효과에 의한 단위 길이당 고주파 저항( $R_s$ )을 도 50에 나타내고, 외부 자계( $H_0$ )를  $H_0=1A/mm$ 로 하였을 때, 근접 효과에 의한 단위 길이당 손실( $P_p$ )을 도 51에 나타낸다.

- [0241] 또, 이들 도선으로 감은 코일은, 도 52 및 도 53에 나타낸 바와 같은 고주파 저항의 정특성을 나타낸다. 이 경우, 식 (49)에서의 구조 인자( $\alpha$ )는  $\alpha = 1.6\text{mm}^{-1}$ 이었다. 도 52 및 도 53으로부터, 주파수( $f$ )가  $0.7\text{kHz} \leq f \leq 12\text{kHz}$ 에서 CCA선과 A1선의 저항이 Cu선보다 작은 것을 알 수 있다.
- [0242] 도 26의 구동 전류는 인버터 장치에 의해 생성되고, 주파수가 변화되어도 정현파를 구성하는 파형이 상대적으로 변화하지 않는다고 가정할 경우의 고주파 저항 동특성을 도 54 및 도 55에 나타낸다. 도 54 및 도 55로부터, 주파수( $f$ )가  $48\text{Hz} \leq f \leq 511\text{Hz}$ 에서 CCA선과 A1선의 저항이 Cu선보다 작은 것을 알 수 있다. 이 경우, 제1 주파수를 48Hz, 제2 주파수를 511Hz로 하여,  $48\text{Hz} \leq f \leq 511\text{Hz}$ 에서 구동 전류의 주파수를 제어함으로써, Cu선과 동등하거나 Cu선보다 작은 고주파 저항을 얻을 수 있다.
- [0243] 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에서, 원형 단면을 가지는 전선(222)을 설명하였으나, 전선(222)의 단면 형상은 편평, 직사각형이라도 되고, 단면적이  $4.5\text{mm}^2$ 이면 CCA선의 경우에 동일한 효과를 나타낸다. 또, 본 발명의 제2 실시형태의 제3 실시예에서, 사용하는 전기 모터의 코일의 밀도나 도선의 길이가 변화된 경우,  $\alpha$ 가  $0.9\text{mm}^{-1} \leq \alpha \leq 3.2\text{mm}^{-1}$ 으로 변화된 경우에도 동일한 효과가 있다.
- [0244] 도 56은 같은 형상의 도선으로 감는 코일에서, 상이한  $\alpha$  값에 대한 CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸다. 도 56으로부터,  $\alpha$ 가 커짐에 따라(긴밀 또는 많이 감김에 따라), CCA선이 유리해지는 주파수 대역이 넓어지는 것을 알 수 있다.
- [0245] 도 57은  $\alpha$ 의 값을  $1.6\text{mm}^{-1}$ 으로 하고, 상이한 반경( $r$ )을 가지는 경우, CCA선이 Cu선보다 동특성 고주파 저항이 작아지는 주파수 대역을 나타낸다. 도 57로부터, 선직경이 굵을수록, 저주파 측에서 CCA선이 유리해지는 것이 알 수 있다.
- [0246] 그리고, 본 발명의 제2 실시형태에서는, 1.8mm, 0.4mm, 0.2mm의 선직경을 가지는 CCA선 및 Cu선을 설명하였으나, 이 3개의 선직경에 특히 한정되지 않고, 다양한 선직경을 가지는 CCA선 및 Cu선에 대하여 본 발명을 적용해도 된다.
- [0247] 또, 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선으로서 CCA선을 설명하였으나, 본 발명의 제2 실시형태에 따른 전선으로서 A1선도 마찬가지로 적용할 수 있다.
- [0248] 또, 본 발명의 제2 실시형태의 제1~제3 실시예에 따른 전기 모터로서 3상 교류 동기 모터의 일례를 설명하였으나, 본 발명에 따른 전선은 다양한 코일을 사용한 전기 모터에 적용 가능하며, 본 발명에 따른 전기 모터는 CCA선 또는 A1선으로 감은 코일을 가지는 다양한 종류의 전기 모터에 적용할 수 있다.
- [0249] (제3 실시형태)
- [0250] <전선의 구조>
- [0251] 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선은, 도 58의 (a)에 나타낸 바와 같이, 동보다 체적 저항률이 높은 재료로 이루어지는 도체부(31)를 구비한다. 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선에서는, 전선의 교류 저항과, 전선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항이 각각 일치하고, 서로 간에 있어 전선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작은 제1 주파수 및 제1 주파수보다 큰 제2 주파수 중, 제2 주파수가 특정한 주파수 대역의 상한값 이상 이 되도록, 도체부(31)의 체적 저항률을 단면적으로 나눈 단위 길이당 직류 저항값이 규정되어 있다.
- [0252] 도체부(31)의 직경은, 0.05mm~0.6mm 정도가 바람직하였으나, 특히 한정되는 것은 아니다. 도체부(31)의 재료로서는, 황동, 인청동, 규소 청동, 동·베릴륨 합금, 및 동·니켈·규소 합금 등의 동합금이 사용 가능하다. 황동은 동(Cu) 및 아연(Zn)을 포함하는 합금(Cu-Zn)이며, 동과 아연 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다. 규소 청동은 동, 주석(Sn) 및 규소(Si)를 포함하는 합금(Cu-Sn-Si)이며, 동, 주석 및 규소 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다. 인청동은 동, 주석 및 인(P)을 포함하는 합금(Cu-Sn-P)이며, 동, 주석 및 인 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다. 이들 동합금선은, 예를 들면, 1원칙 어닐 처리된 것이며, 주석, 동 또는 크롬(Cr) 등의 도금 처리가 되어 있어도 된다. 또, 도체부(31)는 원통형인 것 외에, 평각 등의 형상인 것이라도 된다.
- [0253] 또, 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선은, 도 58의 (b)에 나타낸 바와 같이, 알루미늄(Al) 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체(32)와, 중심 도체(32)를 피복하는 동(Cu)으로 이루어지는 피복층(33)을 도체부(31)로서 구비하는 CCA선라도 된다.

- [0254] CCA선 전체의 직경은, 0.05mm~0.6mm 정도가 바람직하다. 피복층(33)의 단면적은 중심 도체(32) 및 피복층(33)을 합한 전선 전체의 단면적에 대하여 15% 이하이며, 3%~15% 정도가 바람직하고, 더욱 바람직하게는 3%~10% 정도, 더욱더 바람직하게는 3%~5% 정도이다. 피복층(33)의 전선 전체에 대한 단면적의 비가 작을 수록, 고주파 저항을 감소시킬 수 있다. 중심 도체(32)로서는, 예를 들면, 전기용 알루미늄(EC 알루미늄) 또는 Al-Mg-Si계 합금(JIS 6000 시리즈)의 알루미늄 합금이 사용 가능하지만, 알루미늄 합금 쪽이 EC 알루미늄보다 체적 저항률이 크기 때문에 더욱 바람직하다.
- [0255] 전술한 계산식을 이용하여 시뮬레이션을 행하고, 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 교류 저항 및 비교예로서의 Cu선의 교류 저항을 계산에 의해 구했다. 그 결과, 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선이, 특정한 주파수 대역에서, 근접 효과에 의해, 같은 선직경을 가지는 Cu선보다 와전류 손실이 작아져, 결과로서 교류 저항이 작아지는 특성을 발견하였다.
- [0256] 도 13에, 0.4mm의 선직경을 각각 가지는 황동선 및 비교예로서의 Cu선에 대하여, 외부 자계 강도(H)가 1A/mm인 경우의 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸다. 제1 주파수(f1)보다 저주파 측에서는, 황동선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 크다. 제1 주파수(f1)에서, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 일치하고, 제1 주파수(f1)보다 고주파 측에서는, 와전류 손실이 지배적이 되므로, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항의 대소가 역전한다. 제1 주파수(f1)에서부터 제2 주파수(f2)까지의 주파수 대역에서, Cu선의 교류 저항이 황동선의 교류 저항보다 크다. 제2 주파수(f2)에서, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항이 다시 일치하고, 제2 주파수(f2)보다 고주파 측에서는, 황동선의 근접 효과의 영향이 Cu선보다 커지고, 황동선의 교류 저항과 Cu선의 교류 저항의 대소가 역전한다.
- [0257] 도 14에, 직경 0.4mm의 황동선에 대한 외부 자계 강도(H)가 1A/mm인 경우의 주파수와 표피 효과 성분(R<sub>s</sub>)과 직류 저항 성분(R<sub>dc</sub>)의 합 및 근접 효과 성분(R<sub>p</sub>)과의 관계를 나타낸다. 직류 저항(R<sub>dc</sub>)은, 주파수가 0일 때의 교류 저항의 값이다.
- [0258] 도 59에, 직경 0.4mm의 황동선 및 Cu선의 외부 자계 강도(H)가 각각 1A/mm 및 5A/mm인 경우의 주파수와 교류 저항의 관계를 나타낸다. 도 59에 나타난 바와 같이, 근접 효과 성분(R<sub>p</sub>) 쪽이 표피 효과 성분 R<sub>s</sub>보다 자계 강도의 의존성이 현저하다. 근접 효과 성분(R<sub>p</sub>)이 그 대부분을 차지하는 제2 주파수(f12, f22)에서의 교류 저항(R<sub>ac</sub>)은, 자계 강도가 증대해도 Cu선 및 황동선 모두 비례적으로 한결같이 증대하므로 제2 주파수(f12, f22)는 거의 변화하지 않는다. 한편, 직류 저항 성분(R<sub>dc</sub>)의 영향이 큰 제1 주파수(f11, f21)는, 외부 자계 강도가 증대하면 근접 효과 성분(R<sub>p</sub>)이 증대하고 저주파 측으로 시프트한다.
- [0259] 여기서, 도체에 적용하는 금속의 체적 저항률을 단면적으로 나눈 단위 길이당 직류 저항을 "기준 직류 저항"이라고 정의한다. 도 60에 나타난 바와 같이, 도체의 재료와 선직경을 할당하여, 기준 직류 저항 및 제2 주파수를 계산에 의해 구했다. 도 60에서는, 도체의 재료로서, 도 58의 (a)에 나타난 도체부(31)가 순알루미늄인 것, 도 58의 (b)에 나타난 중심 도체(32)가 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(33)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 5%인 것(5% CCA), 도 58의 (b)에 나타난 중심 도체(32)가 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(33)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 10%인 것(10% CCA), 도 58의 (b)에 나타난 중심 도체(32)가 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(33)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 15%인 것(15% CCA), 도 58의 (b)에 나타난 중심 도체(32)가 합금 알루미늄으로 이루어지고, 피복층(33)의 단면적이 전선 전체의 단면적의 5%인 것(5% CCA(합금 Al)), 및 도 58의 (a)에 나타난 도체부(31)가 각각 황동, 규소 청동 및 인청동으로 이루어지는 것에 대한 계산 결과를 나타낸다. CCA선의 체적 저항률에 대하여는 2층의 단면적비로 환산하여 구한 등가 체적 저항률로 하였다. 계산 결과에 대하여 회귀 분석을 행한 결과, 도 61에 실선으로 나타난 바와 같은 회귀 직선을 얻을 수 있었다. 즉, 기준 직류 저항을 R<sub>dc</sub>, 제2 주파수를 f<sub>2</sub>로 하여, 다음 식 (53)의 관계가 있는 것을 발견하였다.

$$f_2 = 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \quad \dots(53)$$

[0261] 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선은, 식 (53)을 사용하여, 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역의 상한값 이상의 제2 주파수를 가지도록, 도체부(31)의 기준 직류 저항값이 규정되어 있다. 즉, 그 기준 직류 저항값이 되도록, 도체부(31)의 체적 저항률, 단면적, 재료, 형상 및 선직경 등이 규정되어 있다.

[0262] 수 kHz~100kHz 정도의 고주파 전류로 구동하는 기기의 사용 확대가 진행되어 있으므로, 제2 주파수는 예를 들

면, 100kHz 정도 이상으로 설정하는 것이 바람직하고, 따라서, 기준 직류 저항을 0.55mΩ / cm 정도 이상으로 설정하는 것이 바람직하다.

[0263] 본 발명의 제3 실시형태에 따른 황동선 및 비교예에 따른 Cu선에 대하여, 도 10에 나타난 바와 같이 직경 0.4mm, 길이 6.6m의 소선을 55개 사용하여, 17턴으로 리츠선 구조로 하고, IH 조리기용의 자장 발생 코일을 제작하고, 그것들에 대해 특성 확인 시험을 행하였다. 시험 결과를 도 11 및 도 12에 나타낸다. IH 조리기에는, 일반적으로 20kHz~60kHz 정도의 고주파 전류가 사용되지만, 20kHz~60kHz 정도를 포함하는 주파수 대역에서는, 황동선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작아지는 것이 알 수 있다.

[0264] 또, 스위칭 전원에 내장되는 고주파 변압기의 권선에서는, 도 20에 나타난 바와 같이, 상당히 왜곡된 파형의 전류가 흐른다. 이것은, 도 21에 나타난 바와 같이, 교류 전류의 주파수가 기본파의 주파수(기준 주파수) 외에, 많은 고차의 고조파 성분을 함유하고 있기 때문이다. 따라서, 고주파 변압기에서 발생하는 손실(동손)은 직류 성분, 기준 주파수 및 고차의 고조파 성분의 합이 된다. 예를 들면, 도 62에 나타난 바와 같이, 본 발명의 제3 실시형태에 따른 직경 0.2mm의 황동 권선의 손실은 5.3W이며, 비교예에 따른 직경 0.6mm의 동권선의 손실은 14.5W이다.

[0265] 따라서, 제2 주파수는, 사용하는 교류 전류의 고차의 고조파 성분 이상으로 설정되어 있는 것이 바람직하다. 고차의 고조파 성분을 어디까지 고려할지는 전선의 용도에 따라 적절히 결정하면 된다. 예를 들면, 기준 주파수로부터 10차의 고조파 성분까지를 고려해도 되고, 기준 주파수로부터 20차의 고조파 성분까지 고려해도 된다.

[0266] 본 발명의 제3 실시형태에 따른 고주파 전선에 의하면, 식 (53)을 사용하여, 제2 주파수가 특정한 주파수 대역의 상한값 이상이 되도록 전선의 도체부(31)의 기준 직류 저항값이 규정되어 있다. 그 결과, 특정한 주파수 대역에서 사용할 때, 같은 선직경을 가지는 Cu선과 비교하여 와전류에 의한 손실을 동등 또는 작게 할 수 있고, 교류 저항을 감소시킬 수 있다.

[0267] 또, 도 61에, 실선으로 나타난 회귀 직선에 대하여 각각 0.7배 및 1.3배의 두 개의 파선을 나타낸다. 본 발명의 제3 실시형태에서, 회귀 직선의 ± 30% 정도의 변동을 고려하여, 도 61에 나타난 2개의 파선 사이에 끼인 밴드 폭의 범위 내에서 기준 직류 저항값을 규정해도 된다. 즉, 본 발명의 제3 실시형태에 따른 고주파 전선의 기준 직류 저항값을  $R_{dc}$ , 제2 주파수를  $f_2$ 로 하여,

$$0.7 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \leq f_2 \leq 1.3 \times 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)}$$

[0268] ...  
[0269] (54)

[0270] 의 관계로 규정해도 된다. 그 결과, 기준 직류 저항값에 실효적인 범위에서 폭을 갖게 할 수 있어, 기준 직류 저항값을 규정하는 도체부(31)의 체적 저항률, 단면적, 재료, 형상 및 선직경 등의 설계 자유도를 향상시킬 수 있다.

[0271] 그리고, 회귀 직선의 ± 30% 정도의 범위 내로 규정하는 예를 설명하였으나, 제2 주파수가 특정한 주파수 대역의 상한값 이상으로 되는 신뢰성의 관점 등에서는, 회귀 직선의 ± 20% 정도의 범위에서 기준 직류 저항값을 규정하는 것이 더욱 바람직하고, 회귀 직선의 ± 10% 정도의 범위에서 기준 직류 저항값을 규정하는 것이 더욱더 바람직하다.

[0272] 또, 기준 직류 저항값을  $R_{dc}$ , 특정한 주파수 대역의 상한값을  $f_0$ 로 하여,

$$f_0 \leq 10^{(0.925 \times \log_{10} R_{dc} + 2.24)} \quad \dots(55)$$

[0274] 를 만족시키도록 규정해도 된다. 그 결과, 제2 주파수를 특정한 주파수 대역의 상한값 이상으로 설정할 수 있는 동시에, 식 (55)의 관계를 만족시키는 범위에서 기준 직류 저항값을 규정할 수 있으므로, 기준 직류 저항값을 규정하는 도체부(31)의 체적 저항률, 단면적, 재료, 형상 및 선직경 등의 설계 자유도를 향상시킬 수 있다.

[0275] <전선의 설계 장치>

[0276] 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 설계 장치는, 도 63에 나타난 바와 같이, 중앙 처리 장치(CPU)(310), 기억 장치(311), 입력 장치(312) 및 출력 장치(313)를 구비한다.

[0277] CPU(310)는, 고유 저항 계산부(301), 주파수 설정부(302), 목표 저항 계산부(303) 및 선종류 선택부(304)를 하

드웨어 자원인 모듈(논리 회로)로서 논리적으로 구비한다.

- [0278] 고유 저항 계산부(301)는, 기억 장치(311)로부터 필요한 정보를 판독하여, 제작 가능한 전선의 재료, 형상 및 선직경 등의 조합으로 이루어지는 선종류마다 고유의 기준 직류 저항값을 계산한다. 그리고, 선종류마다의 기준 직류 저항값은 미리 기억 장치(311)에 기억되어 있어도 되고, 입력 장치(312)로부터 입력되어도 된다.
- [0279] 주파수 설정부(302)는, 기억 장치(311)로부터 설계하는 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역을 판독하여, 전선의 교류 저항과, 전선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항이 각각 일치하고, 서로 간에 있어 전선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작은 제1 주파수 및 상기 제1 주파수보다 큰 제2 주파수 중, 제2 주파수를 특정한 주파수 대역의 상한값 이상의 값으로 설정한다. 예를 들면, 제2 주파수를 특정한 주파수 대역의 상한값과 일치하도록 제2 주파수가 설정된다. 이때, 특정한 주파수 대역의 상한값으로서, 예를 들면, 10차의 고조파 주파수 이상으로 제2 주파수를 설정해도 되고, 20차의 고조파 주파수 이상으로 제2 주파수를 설정해도 된다.
- [0280] 목표 저항 계산부(303)는 주파수 설정부(302)에 의해 설정된 제2 주파수로부터, 식 (53) 또는 식 (54)을 사용하여 목표가 되는 기준 직류 저항값을 계산한다. 또, 목표 저항 계산부(303)는 기억 장치(311)로부터 설계하는 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역을 판독하여, 식 (55)의 관계를 만족시키도록 목표가 되는 기준 직류 저항값을 계산해도 된다.
- [0281] 선종류 선택부(304)는 고유 저항 계산부(301) 및 목표 저항 계산부(303)에 의해 각각 계산된 기준 직류 저항값에 따라 전선의 종류를 선택한다. 즉, 선종류 선택부(304)는 복수의 선종류 중, 고유 저항 계산부(301)에 의해 계산된 복수의 선종류에 고유의 기준 직류 저항값이, 목표 저항 계산부(303)에 의해 계산된 목표가 되는 기준 직류 저항값 이상인 선종류를 선택한다.
- [0282] 기억 장치(311)는, 복수의 선종류의 기준 직류 저항값을 계산하는 데 필요한 정보, 전선이 적용되는 각 기기에서 사용되는 특정한 주파수 대역, 식 (53) 또는 식 (54)에 따른 정보, 고유 저항 계산부(301)에 의해 계산된 기준 직류 저항값, 주파수 설정부(302)에 의해 설정된 제2 주파수, 목표 저항 계산부(303)에 의해 계산된 기준 직류 저항값, 및 선종류 선택부(304)에 의해 결정된 선종류 등을 저장한다. 기억 장치(311)로서는, 예를 들면, 반도체 메모리, 자기 디스크 또는 광디스크 등이 채용 가능하다. 기억 장치(311)는, CPU(310)에서 실행되는 프로그램을 저장하고 있는 기억 장치 등으로서 기능하게 할 수 있다(프로그램에 대한 자세한 것은 후술함). 기억 장치(311)는, CPU(310)에서의 프로그램 실행 처리 중에 이용되는 데이터 등을 일시적으로 저장하거나, 작업 영역으로서 이용되는 일시적인 데이터 메모리 등으로서 기능하게 하는 것도 가능하다.
- [0283] 입력 장치(312)로서는, 예를 들면, 터치 패널, 키보드, 마우스, OCR 등의 인식 장치, 스캐너, 카메라 등의 화상 입력 장치, 마이크 등의 음성 입력 장치 등이 사용 가능하다. 출력 장치(313)로서는, 액정 디스플레이(LCD), 유기 전계 발광(EL) 디스플레이, CRT 디스플레이 등의 표시 장치나, 잉크젯 프린터, 레이저 프린터 등의 인쇄 장치 등을 사용할 수 있다.
- [0284] <고주파 전선의 제조 방법>
- [0285] 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 설계 장치를 사용한 설계 방법을 포함하는 고주파 전선의 제조 방법의 일례를, 도 64의 흐름도를 사용하여 설명한다. 그리고, 여기서는 CCA선의 제조 방법을 설명하지만, 이에 특히 한정되지 않는 것은 물론이다.
- [0286] (I) 단계 S301에서, 고유 저항 계산부(301)는, 기억 장치(311)로부터 필요한 정보를 판독하여, 고주파 전선의 재료, 형상 및 선직경 등의 조합으로 이루어지는 선종류마다 기준 직류 저항값을 계산한다. 계산된 기준 직류 저항값은 기억 장치(311)에 기억된다. 그리고, 선종류마다의 기준 직류 저항값은 미리 기억 장치(311)에 기억되어 있어도 되고, 입력 장치(312)로부터 입력되어도 된다. 또, 선종류마다의 기준 직류 저항값은, 이론식을 이용하여 계산하는 대신에 실측해도 된다.
- [0287] (II) 단계 S302에서, 주파수 설정부(302)는, 기억 장치(311)로부터 설계하는 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역을 판독하여, 전선의 교류 저항과, 전선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항이 각각 일치하고, 서로 간에 있어 전선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작은 제1 주파수 및 상기 제1 주파수보다 큰 제2 주파수 중, 제2 주파수를 특정한 주파수 대역의 상한값 이상의 값으로 설정한다. 설정된 제2 주파수는 기억 장치(311)에 기억된다.
- [0288] (III) 단계 S3에서, 목표 저항 계산부(303)는, 주파수 설정부(302)에 의해 설정된 제2 주파수로부터, 식 (53) 또는 식 (54)을 사용하여 기준 직류 저항값을 계산한다. 계산된 기준 직류 저항값은 기억 장치(311)에 기억된다.

또, 목표 저항 계산부(303)는, 기억 장치(311)로부터 설계하는 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역을 관독하여, 식 (55)의 관계를 만족시키도록 목표가 되는 기준 직류 저항값을 계산해도 된다.

[0289] (IV) 단계 S304에서, 선종류 선택부(304)는, 복수의 선종류 중, 고유 저항 계산부(301)에 의해 계산된 고유의 기준 직류 저항값이, 목표 저항 계산부(303)에 의해 계산된 기준 직류 저항값 이상인 선종류를 결정한다. 결정된 선종류는 기억 장치(311)에 기억된다.

[0290] (V) 단계 S305에서, 선종류 선택부(304)에 의해 결정된 재료, 형상 및 선직경 등의 조합으로 이루어지는 선종류의 전선을 제조한다. 예를 들면, CCA선의 경우, 직경 9.5mm~12.0mm 정도의 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어지는 중심 도체(32)를 준비한다. 중심 도체(32)의 표면에, 0.1mm~0.4mm 정도의 두께의 동테이프를 세로 덧댐 방식으로 덧대면서 TIG 용접 또는 플라즈마 용접 등을 행함으로써, 중심 도체(32)의 표면에 피복층(33)을 피복한다. 다음에, 피복층(33)이 피복된 중심 도체(32)를 스킨 패스로 직경 9.3mm~12.3mm 정도로 성형함으로써, 피복층(33)이 피복된 중심 도체(32)로 이루어지는 모재를 제작한다. 다음에, 모재를 25~26 패스 정도의 복수단의 신선 다이를 통과시킴으로써 신선한다. 복수단의 신선 다이를 거침에 따라, 최종적으로 전선의 직경을, 결정된 선직경과 같은 선직경으로 한다.

[0291] 본 발명의 제3 실시형태에 따른 전선의 설계 장치를 사용한 설계 방법을 포함하는 고주파 전선의 제조 방법에 의하면, 식 (53) 또는 식 (54)을 사용하여 계산한 기준 저항값으로부터 선종류를 결정할 수 있다. 그 결과, 고주파 전선이 사용되는 특정한 주파수 대역에서, 제2 주파수가 특정한 주파수 대역의 상한값보다 높게 설정되므로, 같은 선직경의 Cu선과 비교하여 와전류에 의한 손실을 동등하거나 또는 작게 할 수 있고, 교류 저항을 감소시킬 수 있는 고주파 전선의 선직경을 설계하는 것이 가능해진다.

[0292] <전선 설계 프로그램>

[0293] 도 64에 나타난 일련의 단계, 즉: (I) 고주파 전선의 재료, 형상 및 선직경 등의 조합으로 이루어지는 선종류마다 단위 길이당 직류 저항값을 계산하는 단계; (II) 전선의 교류 저항과, 전선과 같은 선직경을 가지는 Cu선의 교류 저항이 각각 일치하고, 서로 간에 있어 전선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작은 제1 주파수 및 상기 제1 주파수보다 큰 제2 주파수 중, 제2 주파수를 특정한 주파수 대역의 상한값 이상의 값으로 설정하는 단계; (III) 제2 주파수로부터, 기준 직류 저항값을 계산하는 단계; (IV) 기준 직류 저항값에 따라 전선의 종류를 결정하는 단계 등은, 도 64와 등가인 알고리즘의 프로그램에 의해, 도 63에 나타난 전선의 설계 장치를 제어하여 실행할 수 있다.

[0294] 이 프로그램은 본 발명의 전선의 설계 장치를 구성하는 컴퓨터 시스템의 기억 장치(311)에 기억시키면 된다. 또, 이 프로그램은 컴퓨터 관독 가능한 기록 매체에 저장하고, 이 기록 매체를 기억 장치(311) 등에 읽어들이게 함으로써, 본 발명의 제3 실시형태의 일련의 단계를 실행할 수 있다.

[0295] 여기서, "컴퓨터 관독 가능한 기록 매체"란, 예를 들면, 반도체 메모리, 자기 디스크, 광디스크 등의 프로그램을 기록할 수 있는 같은 매체 등을 의미한다. 예를 들면, 전선의 설계 장치의 본체는, 기록 매체의 관독 장치를 내장 또는 외부 접속하도록 구성할 수 있다. 또한, 무선 통신망 등의 정보 처리 네트워크를 통하여, 이 기억 장치(311)에 저장할 수 있다.

[0296] 그리고, 식 (53) 또는 식 (54)에 기준 직류 저항( $R_{dc}$ )과 제2 주파수( $f_2$ )의 관계식의 일례를 설명하고, 이것을 사용하여 기준 직류 저항을 계산한 경우를 설명하였으나, 기준 직류 저항( $R_{dc}$ )과 제2 주파수( $f_2$ )의 관계는 엄밀하게는 식 (53) 또는 식 (54)에 한정되지 않고, 다른 이론식을 이용하여 기준 직류 저항을 계산해도 된다.

[0297] (제4 실시형태)

[0298] <고주파 전선의 구조>

[0299] 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선은, 10kHz~1MHz 정도의 주파수 대역에서 사용되는 전선으로서, 도 65에 나타난 바와 같이, 동보다 체적 저항률이 높은 동합금을 도체부(41)로 한다.

[0300] 고주파 전선의 직경은 0.05mm~0.6mm 정도가 바람직하였으나, 특히 한정되는 것은 아니다. 동합금층(1)은, 예를 들면, 황동(놋쇠), 인청동 또는 규소 청동 등으로 이루어진다. 황동은 동(Cu) 및 아연(Zn)을 포함하는 합금(Cu-Zn)이며, 동과 아연 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다. 규소 청동은, 동, 주석(Sn) 및 규소(Si)를 포함하는 합금(Cu-Sn-Si)이며, 동, 주석 및 규소 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도 된다. 인청동은, 동, 주석 및 인(P)을 포함하는 합금(Cu-Sn-P)이며, 동, 주석 및 인 이외의 소량의 원소가 포함되어 있어도

된다.

- [0301] 통상, 변압기 또는 리액터 등의 권선에는, Cu선을 폴리우레탄, 폴리에스테르, 폴리에스테르이미드, 폴리아미드 이미드 또는 폴리이미드 등으로 절연 피복한 것이 사용된다. 동축 케이블에서는 고주파 전류 신호이므로 표피 효과 특성을 감안하고, 예를 들면, Al선의 외측에 동축을 얇게 피복한 CCA선이 사용된다.
- [0302] 최근에는, 고주파 변압기, 고속 모터, 리액터, 유전 가열 장치, 자기 헤드 장치 및 비접촉 급전 장치 등의 수 kHz~수 100kHz 정도의 고주파 전류를 통전하는 기기의 용도 확대가 진행되어, 그러한 기기에서 사용되는 고주파 전선에서는, 교류 손실 감소를 목적으로 권선의 세경화 또는 리츠선이 일반적으로 사용되고 있다. 그러나, 접속을 위한 납땜 처리에서 절연 피막의 제거 작업을 곤란하게 하는 것과, 또한 소선 개수가 증가하므로 세경화에는 한도가 있다. 이에 대하여, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선에 의하면, 리츠선으로 하지 않아도, 교류 저항의 증대를 억제하기 위한 세경화 전선에 한층 더 억제 효과를 부여하는 것이다.
- [0303] 고주파 전선 및 이것을 소선으로서 사용한 고주파 코일에서는, 외부 자계는 고주파 전선을 피하는 경향이 있지만, 수 100kHz 정도 미만의 비교적 낮은 주파수 대역에서는, 외부 자계가 고주파 전선을 다 피할 수 없어 고주파 전선의 내부에 균일하게 침투하여 근접 효과에 의한 와전류를 유기한다. 이때, 고주파 전선의 재료의 도전율이 높을수록(즉, 체적 저항률이 작을수록), 와전류가 증대하게 되어, 결과로서 교류 저항이 커진다는 연구결과를 얻었다.
- [0304] 또한, 수 10MHz 정도 이상의 비교적 높은 주파수 대역에서는, 도 4에 나타난 바와 같이 외부 자계가 고주파 전선의 내부에 침투하기 어려워진다. 이때, 고주파 전선의 재료의 도전율이 높을수록(즉, 체적 저항률이 작을수록), 자계가 고주파 전선의 표층 부근에 현저하게 치우쳐, 표층 부근의 전류가 강해진다. 그러므로, 주파수가 높을수록, 근접 효과에 의해 와전류에 의한 손실이 증대하고, 교류 저항이 커진다는 연구결과를 얻었다.
- [0305] 도 66 및 도 67에, 반경 0.2mm의 Cu선에 외부 자계가 1A/mm인 경우에 10kHz, 100kHz 및 1MHz를 인가했을 때의 Cu선의 y축(단면 방향)에 따른 자계 강도 분포 및 전류 밀도 분포를 각각 나타낸다. 도 66에서, 주파수가 높을수록, Cu선의 표층 부근의 자계 강도가 강해지는 것을 알 수 있다. 도 67로부터, 주파수가 높을수록, Cu선의 표층 부근의 전류 밀도가 높아지고, 와전류가 증대하고 있는 것을 알 수 있다.
- [0306] 그래서, 본 발명의 제4 실시형태에서는, 동보다 체적 저항률이 큰 동합금을 고주파 전선에 적용하였다. 도 68에 나타난 바와 같이, 20℃에서, 황동(놋쇠), 인청동 및 규소 청동 각각의 체적 저항률은, 동보다 높다. 또, 순알루미늄도 동보다 체적 저항률이 높지만, Al선은 표면이 산화 피막으로 덮혀 있고, 그 제거가 곤란하다. 이에 대하여, 황동(놋쇠), 인청동 및 규소 청동 등의 동합금에서는, 그와 같은 문제가 생기지 않는 점에서 유리하다.
- [0307] 이상 설명한 바와 같이, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선에 의하면, 황동(놋쇠), 인청동 또는 규소 청동 등의 동보다 체적 저항률이 높은 동합금을 도체부(41)로 함으로써, 소정의 주파수 대역에서, Cu선을 사용한 경우보다 와전류에 의한 손실이 작고, 교류 저항을 감소시킬 수 있게 된다.
- [0308] <제1 실시예>
- [0309] 제1 실시예로서, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선의 자계 강도 분포 및 손실 분포의 측정 결과를 설명한다. 도 69 및 도 70에, 비교예로서, 외부 자계 강도를 1A/mm로 하고, 반경 0.2mm의 Cu선에 100kHz를 인가했을 때의 Cu선의 y 축에 따른 자계 강도 분포 및 손실 분포를 각각 나타낸다. 도 71 및 도 72에, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선으로서 외부 자계 강도를 1A/mm로 하고, 반경 0.2mm의 규소 청동선에 100kHz를 인가했을 때의 규소 청동선의 y 축에 따른 자계 강도 분포 및 손실 분포를 각각 나타낸다. 도 71과 도 69를 대비하면, 규소 청동선의 표층 부근의 자계 강도가 Cu선의 경우보다 약한 것을 알 수 있다. 또, 도 72과 도 70을 대비하면, 규소 청동선의 와전류에 의한 손실이 Cu선의 경우와 비교하여 작아지는 것을 알 수 있다.
- [0310] 또, 도 73 및 도 74에, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선으로서 외부 자계 강도를 1A/mm로 하고, 반경 0.2mm의 황동선에 100kHz를 인가했을 때의 황동선의 y 축에 따른 자계 강도 분포 및 손실 분포를 각각 나타낸다. 도 73과 도 69를 대비하면, 황동선의 표층 부근의 자계 강도가 Cu선의 경우보다 약한 것을 알 수 있다. 또, 도 74와 도 70을 대비하면, 황동선의 와전류에 의한 손실이 Cu선의 경우와 비교하여 작아지는 것을 알 수 있다.
- [0311] 또, 도 75 및 도 76에, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선으로서 외부 자계 강도를 1A/mm로 하고, 반경 0.2mm의 인청동선에 100kHz를 인가했을 때의 인청동선의 y 축에 따른 자계 강도 분포 및 손실 분포를 각각

나타낸다. 도 75와 도 69를 대비하면, 인청동선의 표층 부근의 자계 강도가 Cu선의 경우보다 약한 것을 알 수 있다. 또, 도 76과 도 70을 대비하면, 인청동선의 와전류에 의한 손실이 Cu선의 경우와 비교하여 작아지는 것을 알 수 있다.

[0312] <제2 실시예>

[0313] 제2 실시예로서, 도 77에, 외부 자계 강도(H) 를 1A/mm로 하여 계산한 본 발명의 제4 실시형태에 따른 황동선, 인청동선, 규소 청동선 및 비교예에 따른 Cu선의 교류 저항(근접 효과 성분)을 나타낸다. 도 77로부터, 소정의 주파수 대역에서, 황동선, 인청동선, 규소 청동선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작아지는 것을 알 수 있다.

[0314] <제3 실시예>

[0315] 제3 실시예로서, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선인 황동선, 인청동선, 규소 청동선 및 비교예에 따른 Cu선에 대하여, 직경 0.4mm의 소선을 14개 사용하여, 80턴으로 리액터를 각각 제작하였다. 리액터의 교류 저항을 1개당 단위 길이로 나타낸 측정 결과를 도 9에 나타낸다. 도 9에서, 황동선, 인청동선, 규소 청동선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다도 작아지는 것을 알 수 있다. 또, 도 77에 나타낸 소선의 경우와 비교하면, 리액터의 경우의 교류 저항의 억제 효과가 더욱 큰 것을 알 수 있다.

[0316] <제4 실시예>

[0317] 제4 실시예로서, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 황동선 및 비교예에 따른 Cu선에 대하여, 도 10에 나타낸 바와 같이 직경 0.4mm, 길이 6.6m의 소선을 55개 사용하여, 17턴으로 리츠선 구조로 하고, IH 조리기용의 자장 발생 코일을 제작하고, 그들에 대해 특성 확인 시험을 행하였다. 시험 결과를 도 11 및 도 12에 나타낸다. IH 조리 기에는, 일반적으로 20kHz~60kHz 정도의 고주파 전류가 사용되지만, 20kHz~60kHz 정도를 포함하는 주파수 대역에서는, 황동선의 교류 저항이 Cu선의 교류 저항보다 작아지는 것을 알 수 있다.

[0318] <고주파 전선의 제조 방법>

[0319] 다음에, 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선의 제조 방법의 일례를 설명한다. 그리고, 이하에 나타낸 제조 방법은 일례이며 특히 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 제4 실시형태에 따른 고주파 전선은 다양한 제조 방법에 의해 제조할 수 있다.

[0320] (I) 직경 9.5mm~12.0mm 정도의 황동(놋쇠), 인청동 또는 규소 청동 등의 동보다 체적 저항률이 높은 동합금 부재를 준비한다.

[0321] (II) 다음에, 그 동합금 부재를, 20페스 정도의 복수단의 신선 다이를 통과시킴으로써 신선한다. 복수단의 신선 다이를 거침으로써, 최종적으로 고주파 전선의 직경을 0.05mm~0.6mm 정도로 한다. 그 결과, 도 65에 나타낸 동합금을 도체부(41)로 하는 고주파 전선이 완성한다.

[0322] (그 외의 실시형태)

[0323] 상기와 같이, 본 발명은 실시예에 따라 기재했지만, 이 개시된 일부를 이루는 논술 및 도면은 본 발명을 한정하는 것으로 이해해서는 안 된다. 이 개시로부터 당업자에게는 다양한 대체 실시형태, 실시예 및 운용 기술이 명백해 질 것이다.

[0324] 본 발명의 제1~제4 실시형태에 따른 전선(고주파 전선)으로서 소선(단선)을 설명하였으나, 이 소선을 복수개 묶은 집합선이나, 복수개 끈 리츠선으로서 사용하는 것도 가능하며, 집합선이나 리츠선의 경우에도 더욱 유효하게 교류 저항을 억제할 수 있다.

[0325] 또, 식 (1)~식 (52)에 교류 저항( $R_{ac}$ ), 표피 효과에 의한 교류 저항( $R_s$ ), 및 근접 효과에 의한 교류 저항( $R_p$ )의 이론식의 일례를 설명하였으나, 교류 저항( $R_{ac}$ ), 표피 효과에 의한 교류 저항( $R_s$ ), 및 근접 효과에 의한 교류 저항( $R_p$ )의 계산 방법은 특히 이들에 한정되지 않는다. 또, 교류 저항( $R_{ac}$ ), 표피 효과에 의한 교류 저항( $R_s$ ), 및 근접 효과에 의한 교류 저항( $R_p$ )은 이론식을 이용하여 계산하는 대신에 실제로 측정해도 되는 것은 물론이다.

[0326] 또, 본 발명의 제1~제4 실시형태에 따른 고주파 전선은, 그 표면을 폴리우레탄 등의 절연 피복층으로 피복한 에나멜선으로서 사용해도 되는 것은 물론이다.

[0327] 이와 같이, 본 발명은 여기에는 기재하고 있지 않은 다양한 실시형태 등을 포함하는 것은 물론이다. 따라서,

본 발명의 기술적 범위는 상기의 설명으로부터 타당한 특허청구범위에 따른 발명 특정 사항에 의해서만 정해지  
는 것이다.

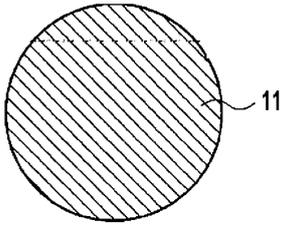
[0328] [산업상의 이용 가능성]

[0329] 본 발명의 전선은, 고주파 변압기, 모터, 리액터, 초크 코일, 유도 가열 장치, 자기 헤드, 고주파 급전 케이블,  
DC 전원 유닛, 스위칭 전원, AC 어댑터, 와전류 검출 방식 등의 변위 센서·탐상(探傷) 센서, IH 쿡킹 히터, 비  
접촉 급전 장치 또는 고주파 전류 발생 장치 등의 다양한 장치의 제조업을 포함하는 전자 기기 산업에 이용 가  
능하다.

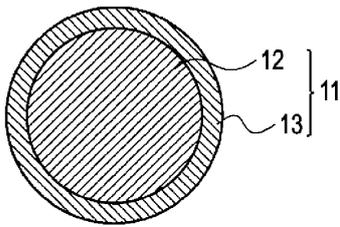
**도면**

**도면1**

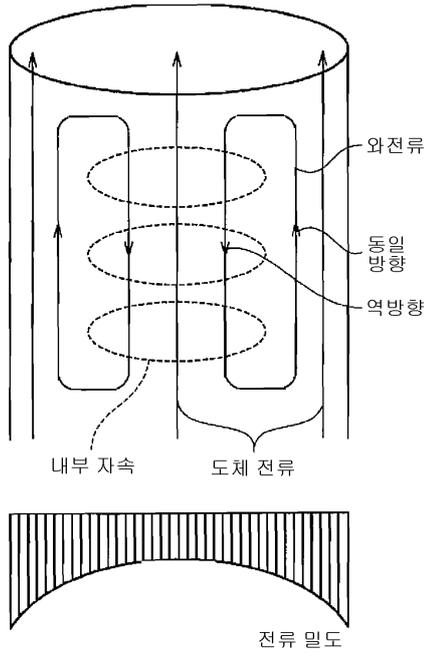
(a)



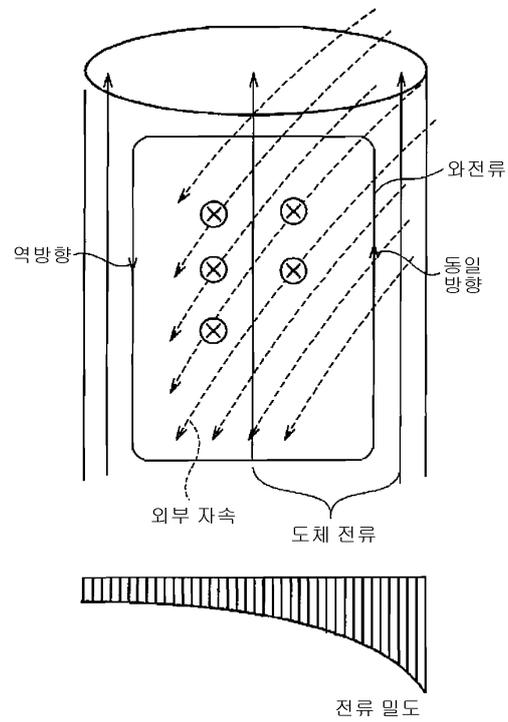
(b)



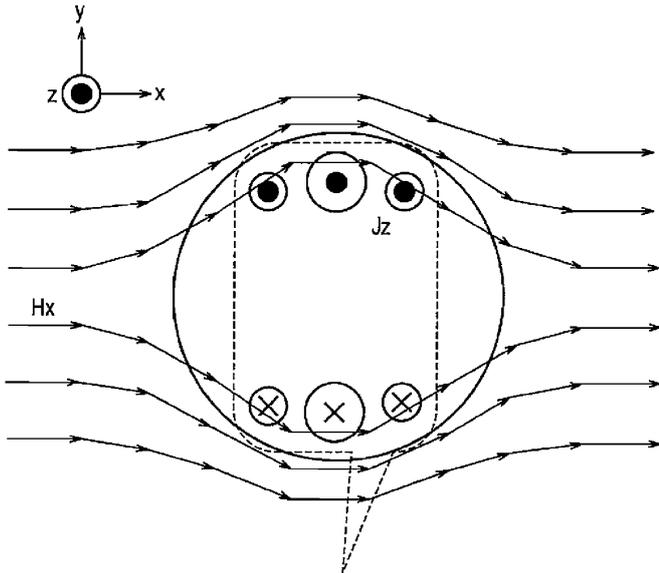
도면2



도면3

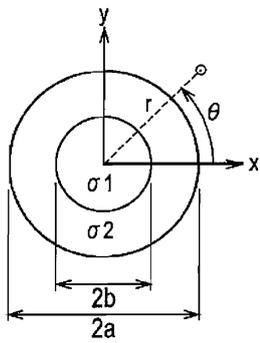


도면4

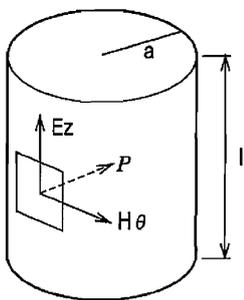


전송되지 않고 와전류가 된다

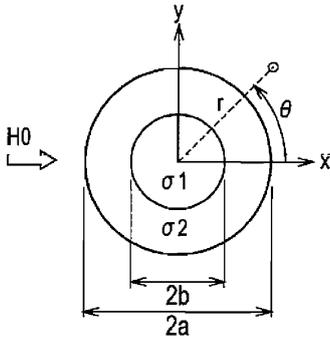
도면5



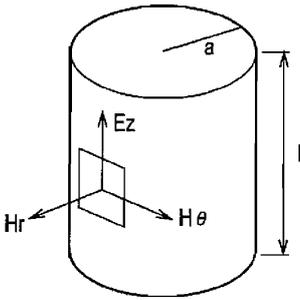
도면6



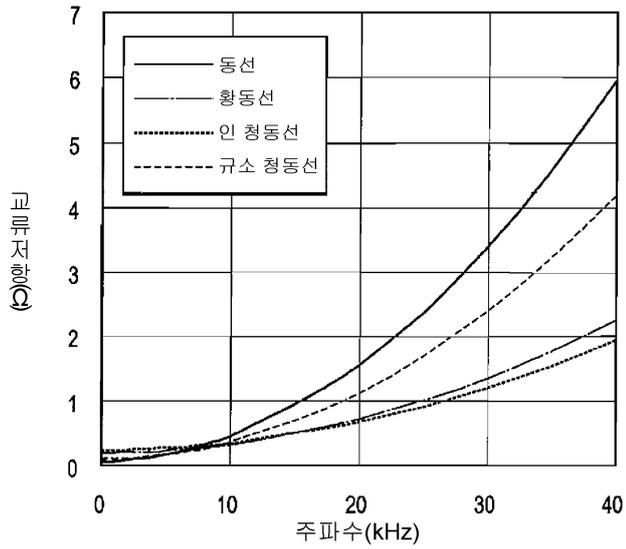
도면7



도면8



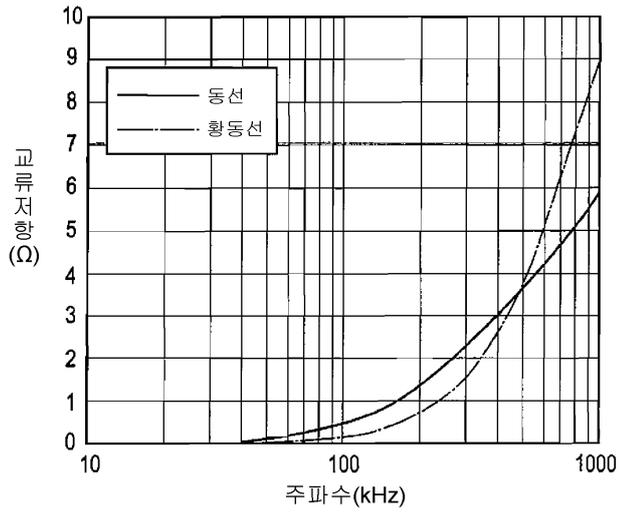
도면9



도면10

소선 직경(mm)	0.4
개수	55
턴수	17
길이(m)	6.6

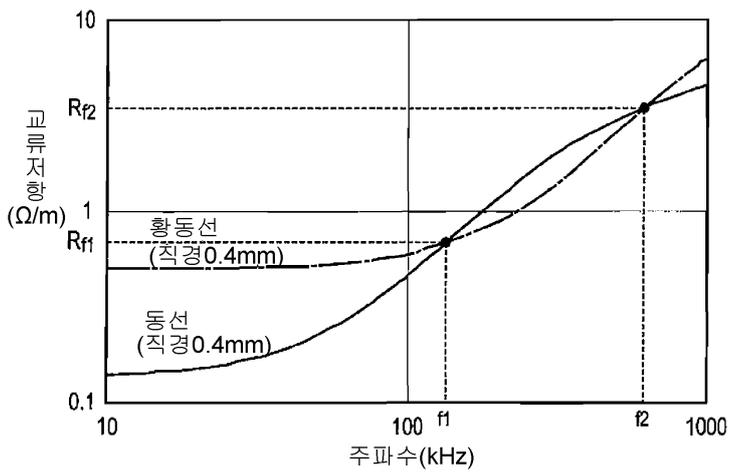
도면11



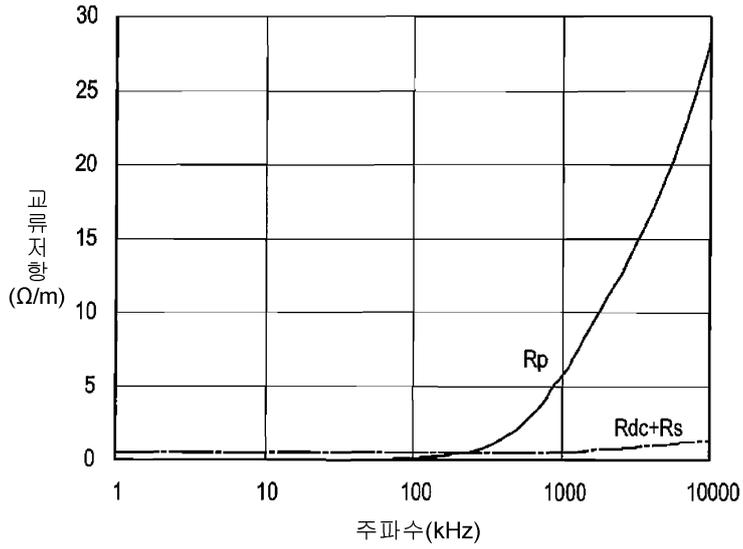
도면12

주파수	10kHz	20kHz	50kHz	100kHz	200kHz
동선(Ω)	0.0596	0.0864	0.195	0.506	1.37
황동선(Ω)	0.0496	0.0551	0.0938	0.230	0.755

도면13



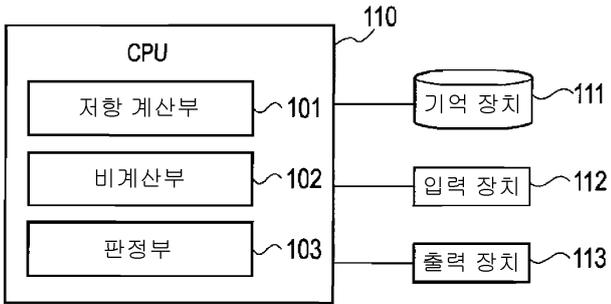
도면14



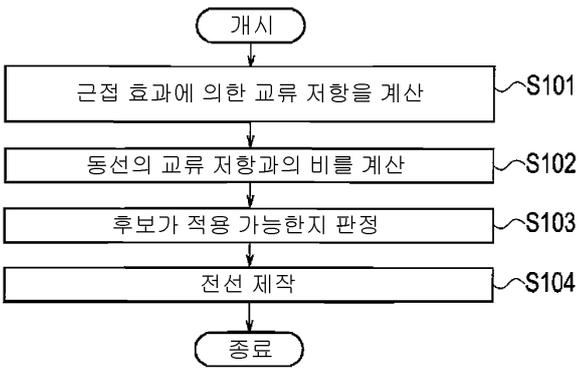
도면15

선 종류	동선	5% CCA선	10% CCA선	15% CCA선	5%CCA선 합금	황동선	규소 황동선	인장동선
직경(mm)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4
체적 저항률( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	1.724	2.74	2.66	2.59	2.92	6.3	6.3	6.0
Rp( $\Omega/\text{m}$ )	0.33	0.226	0.231	0.247	0.447	0.215	0.098	0.103
RpHI	1.0	0.68	0.70	0.75	1.35	0.65	0.30	0.31

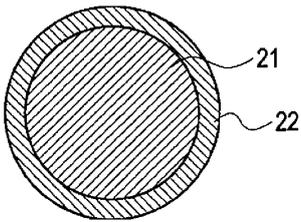
도면16



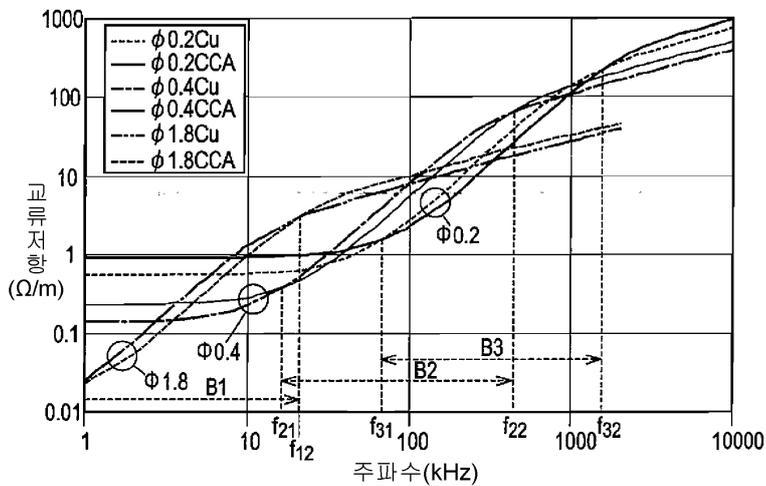
도면17



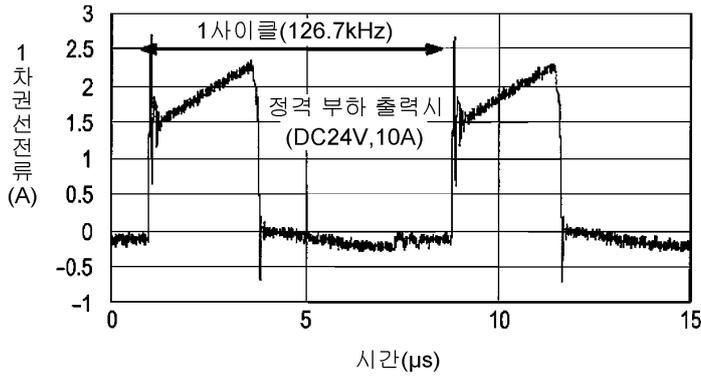
도면18



도면19



도면20



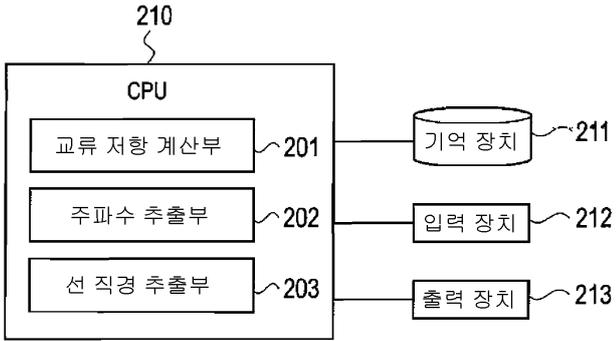
도면21

	주파수 (kHz)	전류값 (A)	크기 비율(%)
직류 성분	0	0.5793	48.8
기본파	127	1.1865	100.0
2차	253	0.4730	39.9
3차	380	0.1170	9.9
4차	507	0.2989	25.2
5차	633	0.1613	13.6
6차	760	0.1001	8.4
7차	887	0.1727	14.6
8차	1013	0.0692	5.8
9차	1140	0.0844	7.1
10차	1267	0.1216	10.2
11차	1393	0.0252	2.1
12차	1520	0.0817	6.9
13차	1647	0.0789	6.7
14차	1773	0.0117	1.0
15차	1900	0.0734	6.2
16차	2027	0.0572	4.8
17차	2154	0.0226	1.9
18차	2280	0.0632	5.3
19차	2407	0.0363	3.1
20차	2534	0.0186	1.6

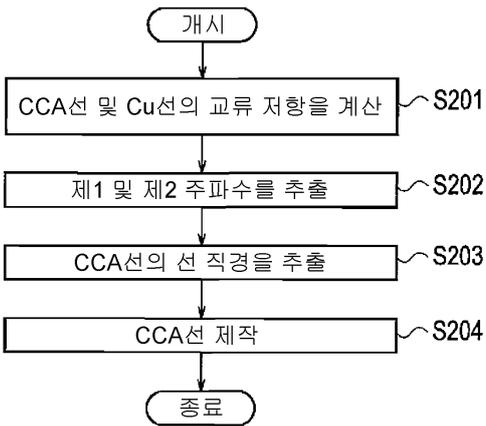
도면22

	권선 Φ0.6mm	CCA손실 Φ0.2mm
손실(W)	14.5	8.0

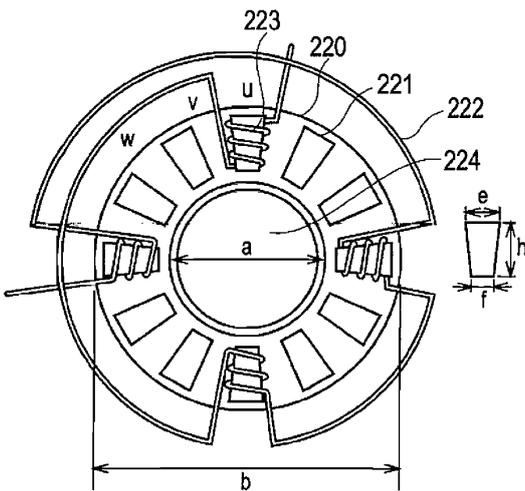
도면23



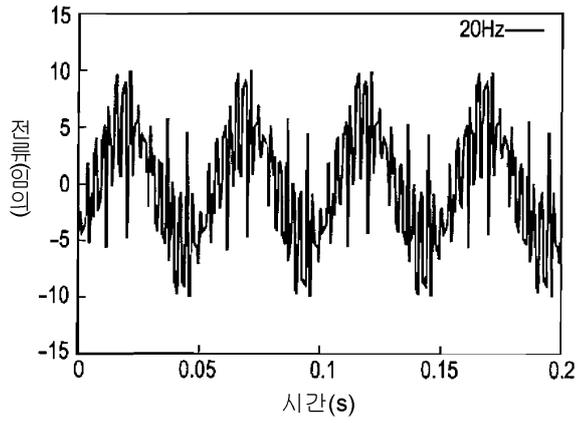
도면24



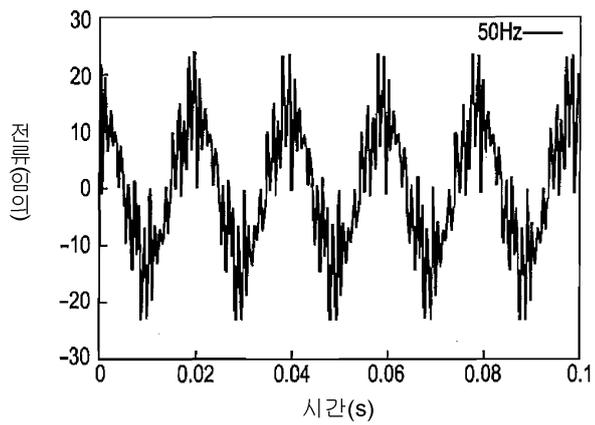
도면25



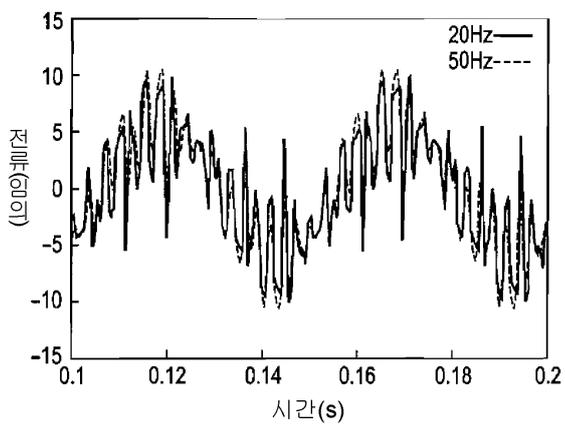
도면26



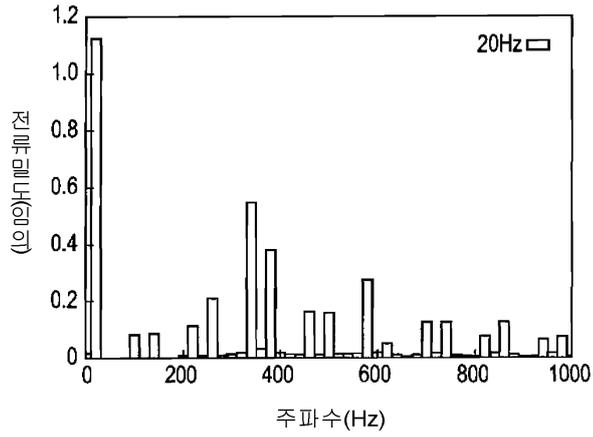
도면27



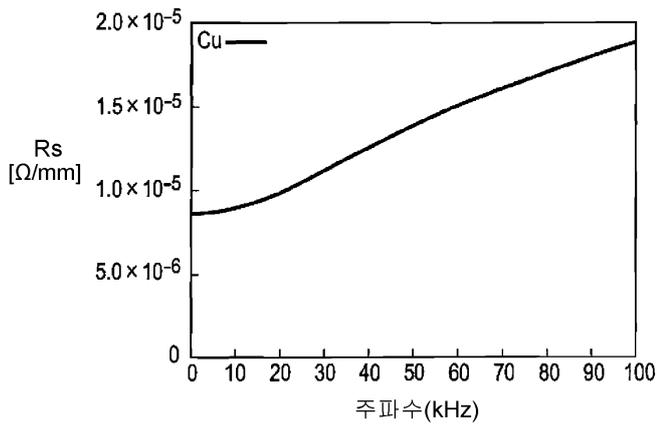
도면28



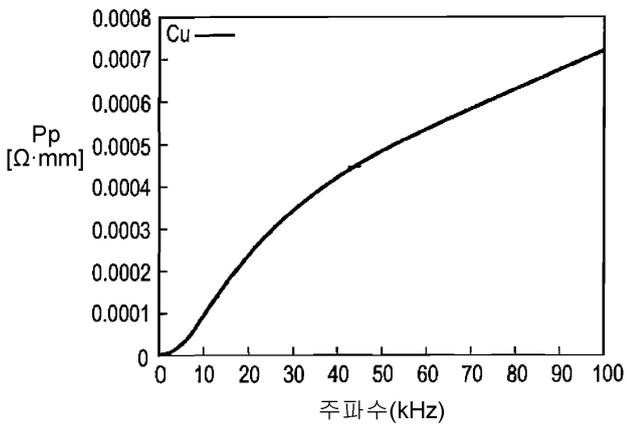
도면29



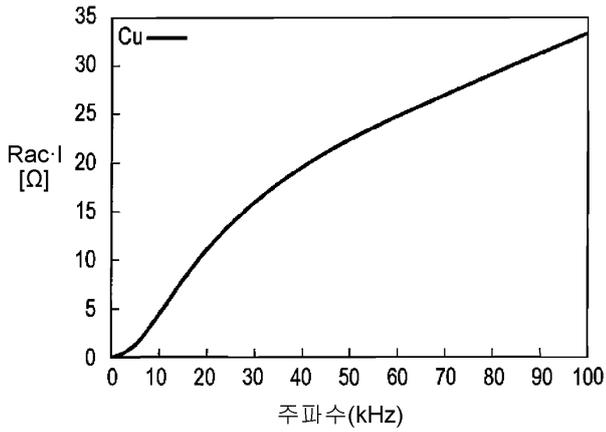
도면30



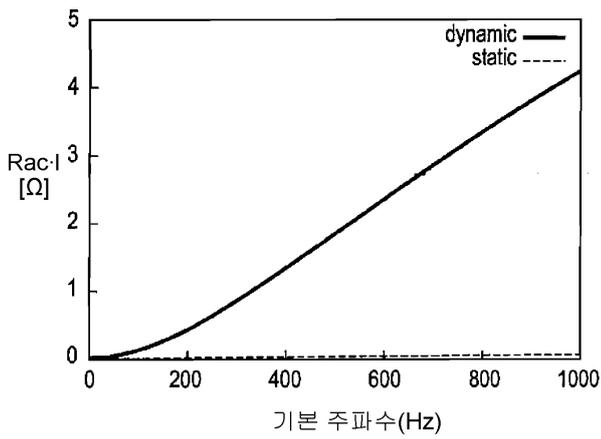
도면31



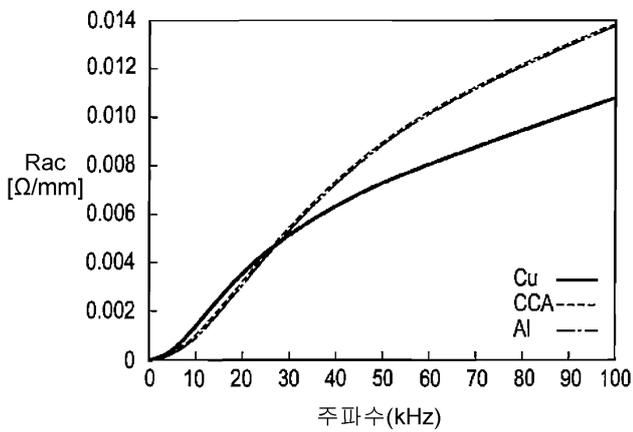
도면32



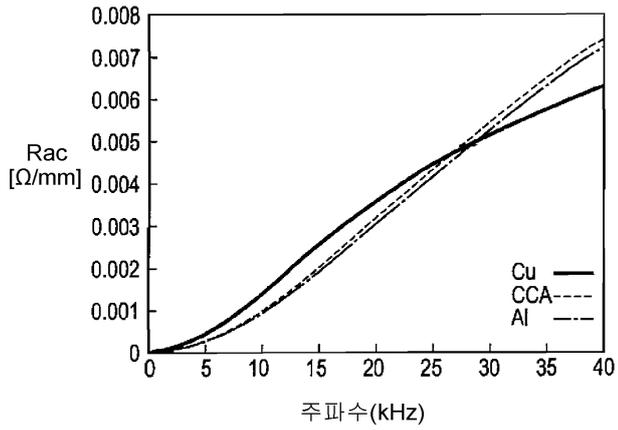
도면33



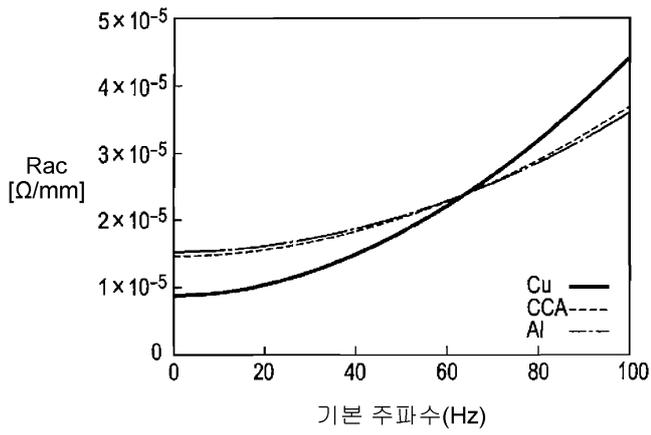
도면34



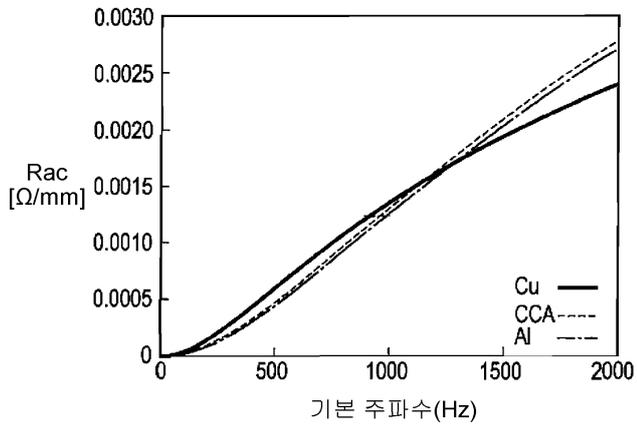
도면35



도면36



도면37



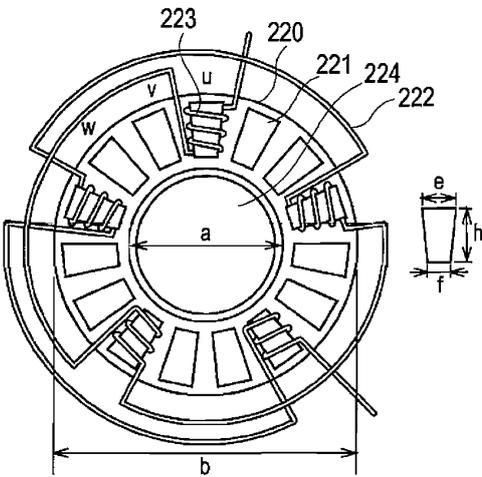
도면38

$a$ [mm-1]	하한 주파수[Hz]	상한 주파수[Hz]
2.2	116	1145
3.2	80	1167
3.9	65	1173
4.5	56	1176
5.5	45	1179

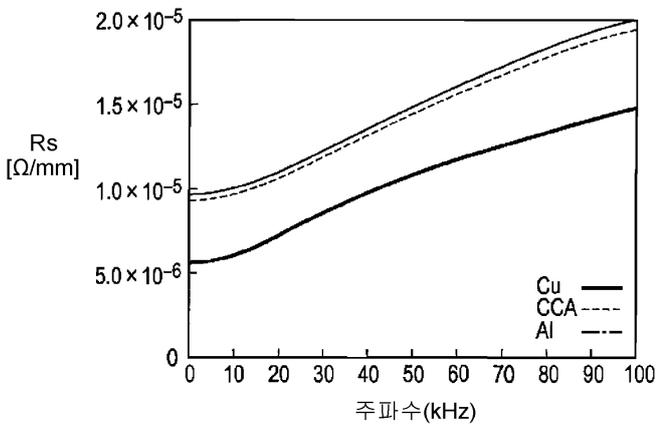
도면39

$r$ [mm]	하한 주파수[Hz]	상한 주파수[Hz]
0.7	98	1522
0.8	65	1173
0.9	45	926

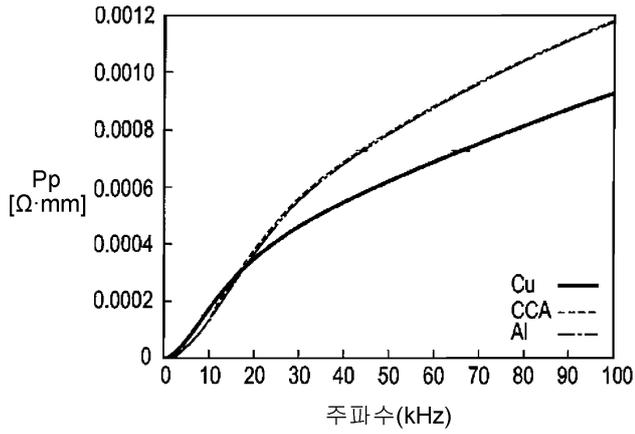
도면40



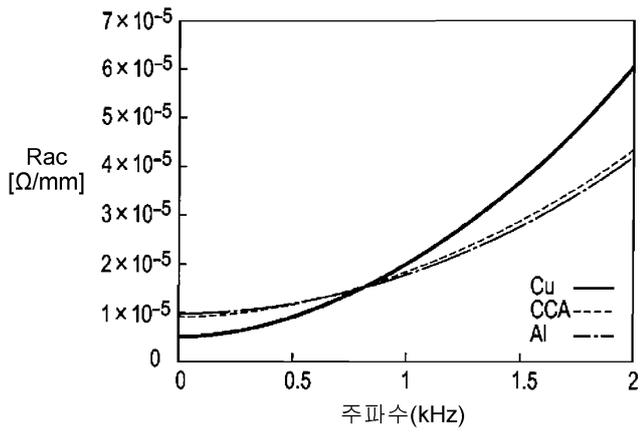
도면41



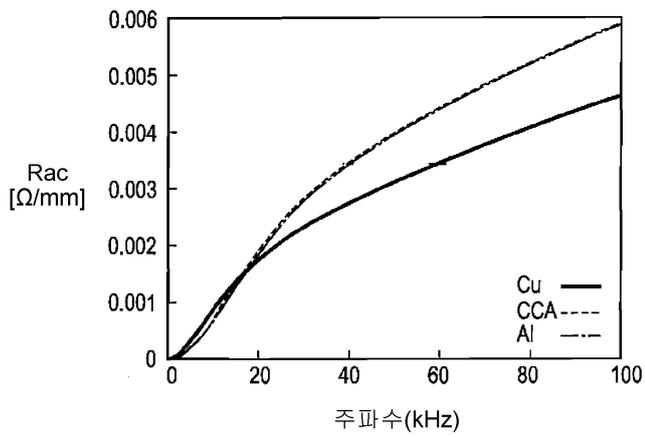
도면42



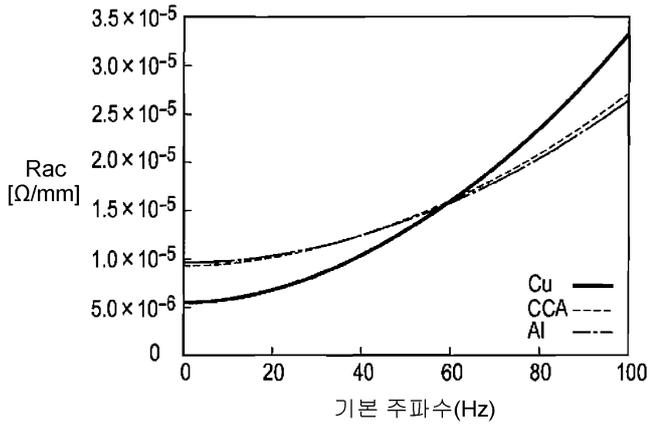
도면43



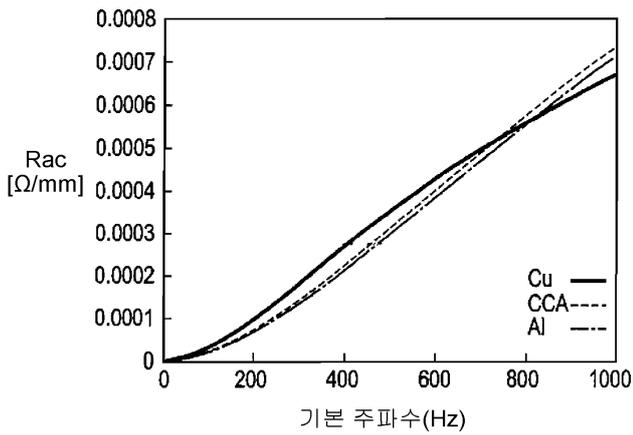
도면44



도면45



도면46



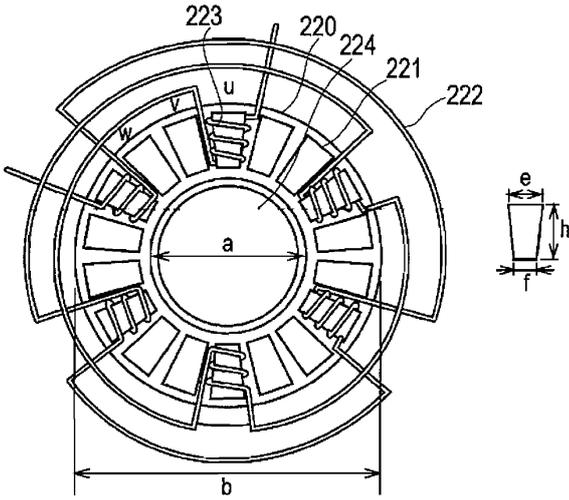
도면47

$\alpha$ [mm <sup>-1</sup> ]	하한 주파수[Hz]	상한 주파수[Hz]
1.0	147	670
1.7	77	731
2.2	59	742
3.2	40	750
4.5	27	754

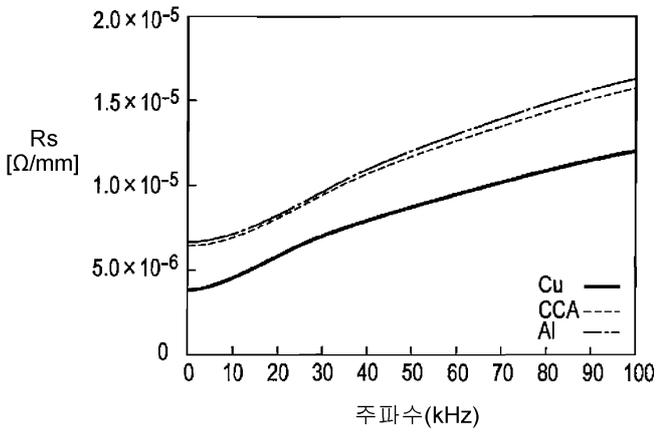
도면48

r[mm]	하한 주파수[Hz]	상한 주파수[Hz]
0.9	81	910
1.0	59	742
1.1	43	616

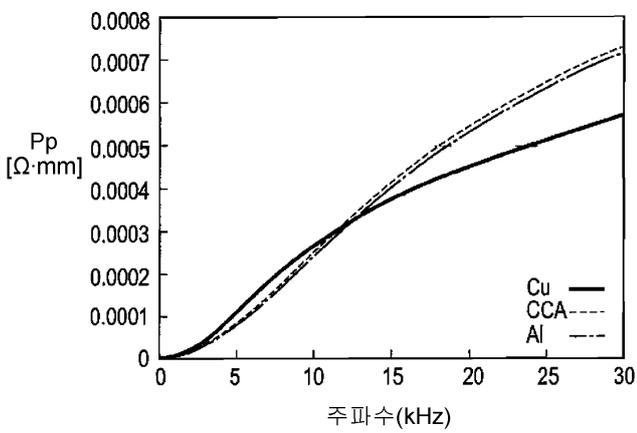
도면49



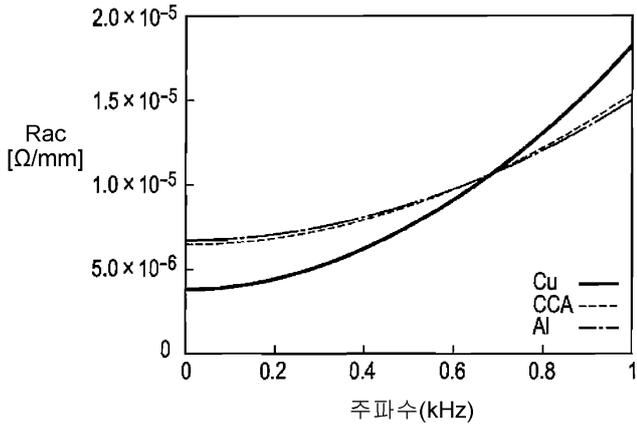
도면50



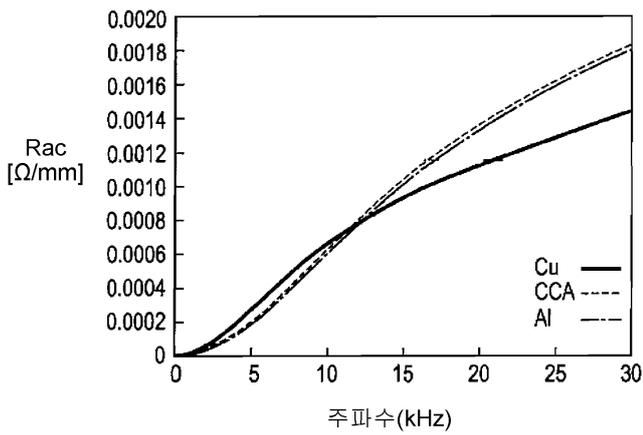
도면51



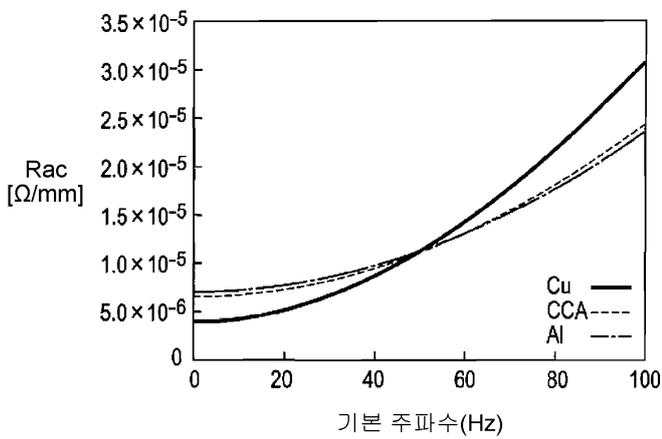
도면52



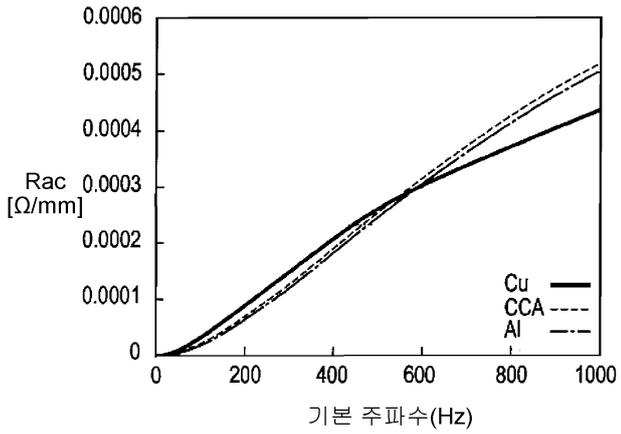
도면53



도면54



도면55



도면56

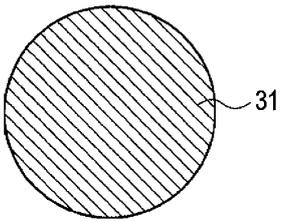
$\alpha$ [mm-1]	하한 주파수[Hz]	상한 주파수[Hz]
0.9	93	477
1.2	64	500
1.6	48	511
2.2	33	519
3.2	22	524

도면57

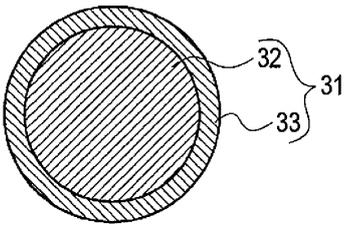
r[mm]	하한 주파수[Hz]	상한 주파수[Hz]
1.1	63	604
1.2	48	511
1.3	37	437

도면58

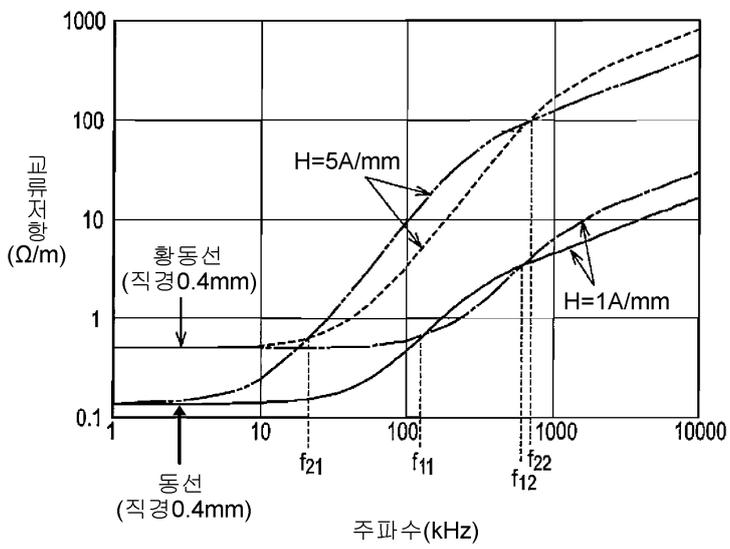
(a)



(b)



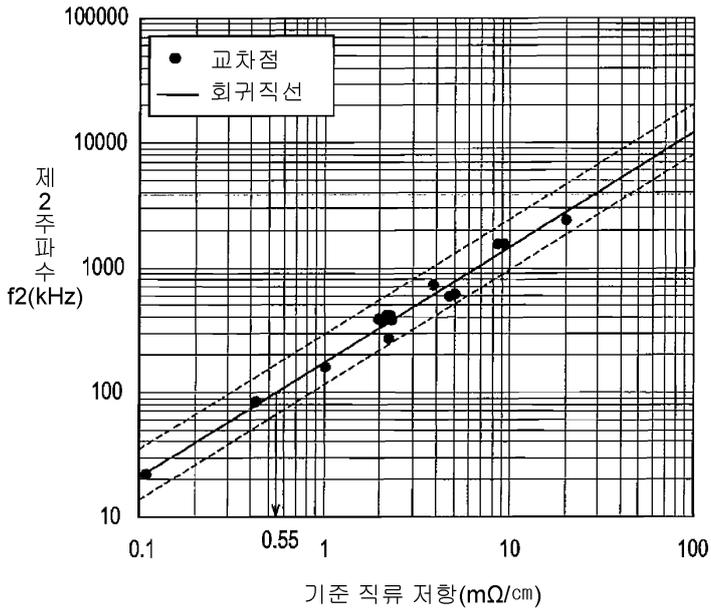
도면59



도면60

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
선 종류		순시	5%CCA			10% CCA	15% CCA	5%CCA (합금시)			황동		규소	인칭동	
선 직경(mm)	1.8	0.4	0.9	0.4	0.3	0.2	0.4	0.6	0.4	0.2	0.6	0.4	0.2	0.4	0.4
기준 직류 저항(mΩ/cm)	0.11	2.25	0.43	2.18	3.88	8.47	2.06	1.03	2.32	9.28	2.22	5.01	20	1.99	4.78
제2 주파수(KHz)	22	410	82	410	730	1530	370	157	385	1540	271	611	2445	385	596

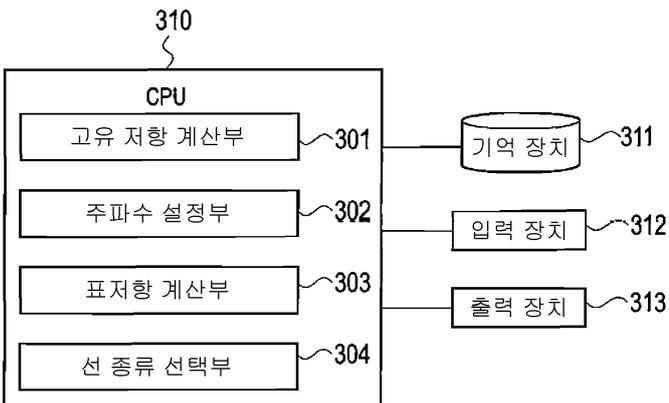
도면61



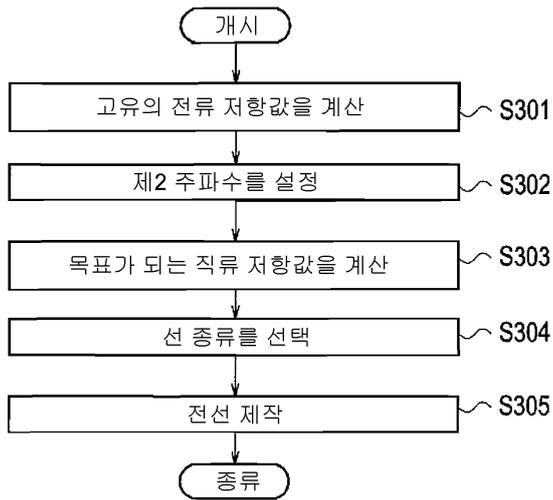
도면62

	동권선 Φ0.6mm	황동 권선 Φ0.2mm
손실(W)	14.5	5.3

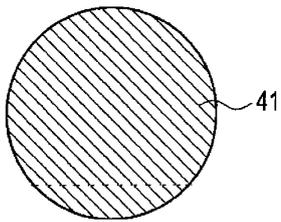
도면63



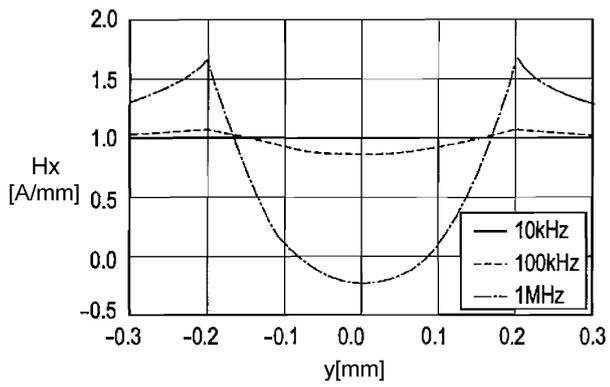
도면64



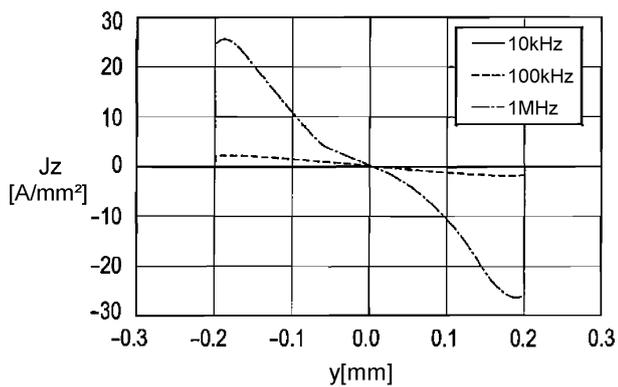
도면65



도면66



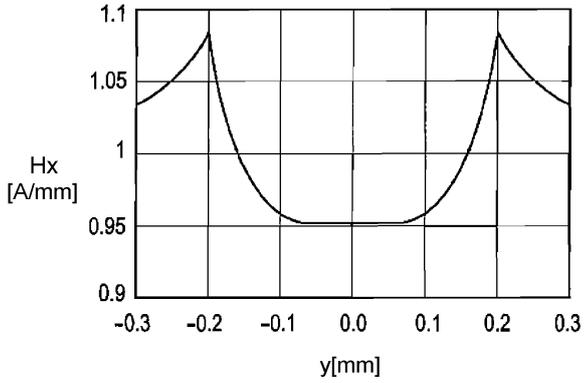
도면67



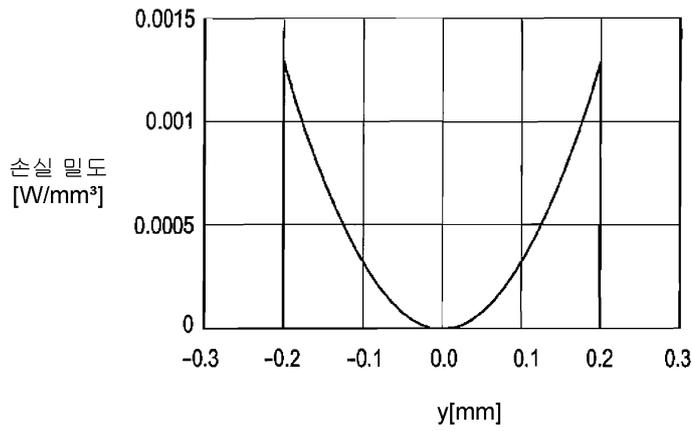
도면68

	체적 저항률( $\mu\Omega\text{-cm}$ )
동	1.724
순 알루미늄	2.826
황동	5~7
규소 청동	2.5~4.3
인청동	6.0~6.5

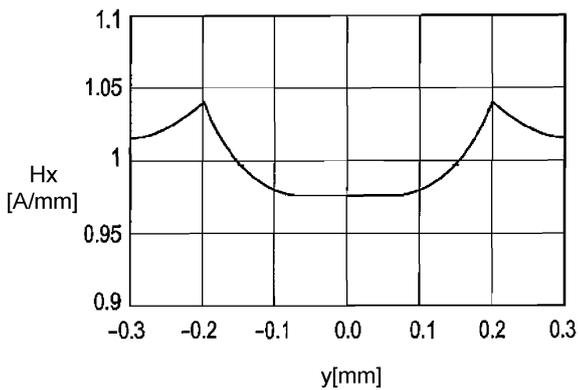
도면69



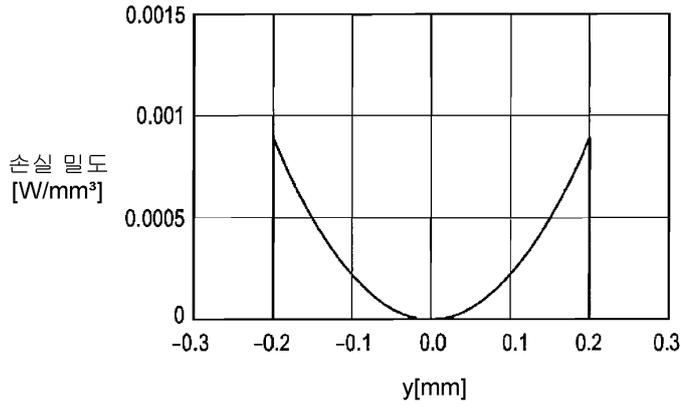
도면70



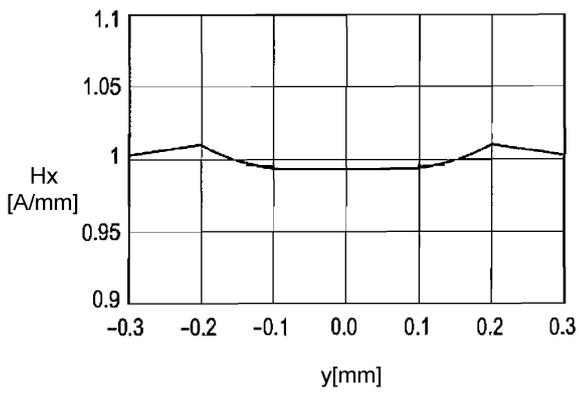
도면71



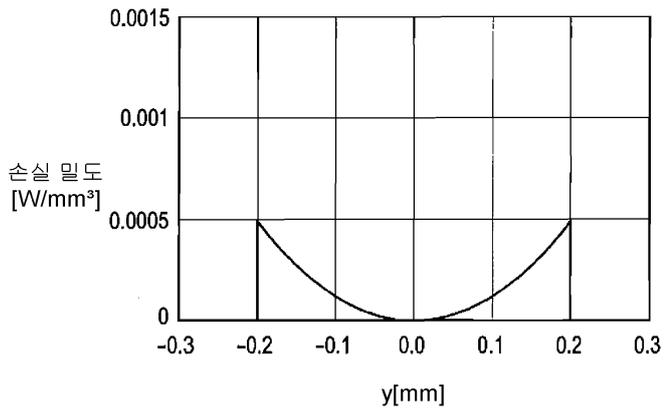
도면72



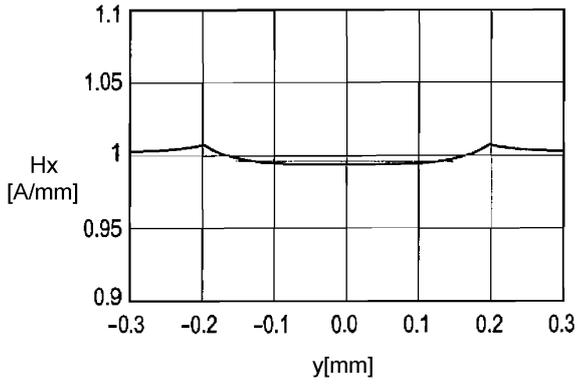
도면73



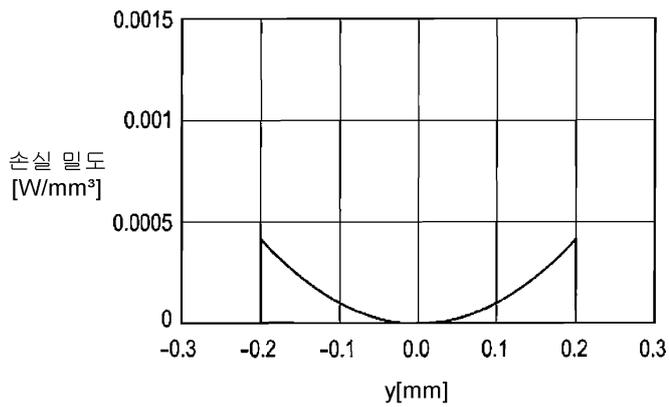
도면74



도면75



도면76



도면77

