(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0030191
(43) 공개일자 2023년03월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05B 6/06 (2006.01) *H05B 6/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H05B 6/065 (2013.01)
H05B 6/101 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0112114
(22) 출원일자 2021년08월25일
심사청구일자 2021년08월25일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(주)엔사이트
울산광역시 북구 중산산업로 31-7, 3층 (중산동)
(72) 발명자
정지훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김근욱
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 무한

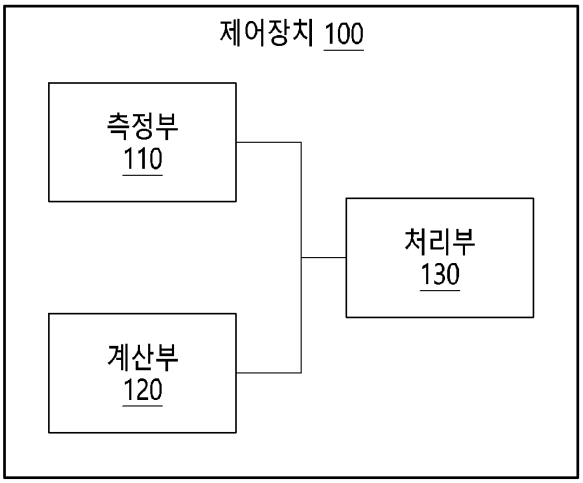
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **후판 가열용 유도가열기의 제어 방법 및 제어 장치**

(57) 요 약

후판 가열용 유도가열기의 제어 방법 및 제어 장치가 개시된다. 본 발명의 일실시예에 따른, 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치는, 유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정하는 측정부; 및 상기 인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X_L)와, 상기 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식 (5)를 만족하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산하는 계산부- 상기 유도성 리액턴스(X_L)는 저항(R)의 a배이고, 상기 용량성 리액턴스(X_C)는 저항(R)의 b배이며, 상기 수식 (5)는 $f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_LX_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)}\,R}$ 임 -를 포함 할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

구성영

울산광역시 북구 중산산업로 31-7, 3(중산동)

이기욱

울산광역시 북구 중산산업로 31-7, 3(중산동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1425154450
과제번호	S3103201
부처명	중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명	중소기업기술정보진흥원
연구사업명	산학연CollaboR&D(R&D)
연구과제명	선박 및 플랜트 용재 용접용 대용량 유도가열기 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)엔사이트
연구기간	2021.06.01 ~ 2022.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정하는 측정부; 및

상기 인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X_L)와, 상기 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식 (5)를 만족하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산하는 계산부

- 상기 유도성 리액턴스(X_L)는 저항(R)의 a배이고, 상기 용량성 리액턴스(X_C)는 저항(R)의 b배이며,

상기 수식 (5)는

$$f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_LX_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)}\,R}$$ 임 -

를 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

시스템 클럭값(SYSCLK)과 상기 수식 (5)의 역수와의 곱을 통해, 상기 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를, DSP(Digital Signal Processor)에서 인식하는 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'로 변경하는 처리부

를 더 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 계산부는,

수식 (1)을 만족하는, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를, 저항(R)을 기준으로 정리하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산하는

- 수식 (1)는,

$Z = \sqrt{((NR)^2 + (NX_L - X_C)^2)}$ 임 -

를 더 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 처리부는,

상기 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 X축으로 하고, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'를 Y축으로 하는 평면 상의 추세선 함수를 이용하여 수식 (7)를 유도하고,

상기 수식 (7)을 만족하는 공진 주파수의 운전 제한값을 획득하는

- 상기 수식 (7)은 $f(Z_{eq}) = \alpha*(Z_{eq})^{\beta}$ 이고, 상기 α와 상기 β는 상기 추세선 함수로부터 유도된 값임 -

를 더 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 처리부는,

PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수를 가지는 아날로그 저역통과필터를 이용하여, 직류 전압과 직류 전류를 산출하고,

산출된 상기 직류 전압을 상기 직류 전류로 나눈 임피던스의 평균값을, 상기 코일 패드에 대한 등가 임피던스로 결정하며,

상기 등가 임피던스를, 상기 수식 (7)의 Z_{eq}에 대입하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 상기 공진 주파수의 운전 제한값을 획득하는

후판 가열용 유도가열기의 제어 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 유도가열기는,

처음 동작할 때의 설계 주파수 fc1 와, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$' 사이에서 운전되어, 상기 유도가열기를 포함하여 구성되는 시스템을 보호하는

후판 가열용 유도가열기의 제어 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수는,

상기 유도 가열기의 출력 신호의 피드백 주파수 fc2로 설정하여, 고주파 AC 성분을 제거하고, 평활화된 DC 성분으로 시스템을 제어하는

후판 가열용 유도가열기의 제어 장치.

청구항 8

유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정하는 단계; 및

상기 인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X_L)와, 상기 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식 (5)를 만족하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산하는 단계

- 상기 유도성 리액턴스(X_L)는 저항(R)의 a배이고, 상기 용량성 리액턴스(X_C)는 저항(R)의 b배이며,

상기 수식 (5)는

$$f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_LX_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)}\,R}$$

임 -

를 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

시스템 클럭값(SYSCLK)과 상기 수식 (5)의 역수와의 곱을 통해, 상기 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를, DSP(Digital Signal Processor)에서 인식하는 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'로 변경하는 단계

를 더 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

수식 (1)을 만족하는, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를, 저항(R)을 기준으로 정리하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산하는 단계

- 수식 (1)는,

$Z = \sqrt{((NR)^2 + (NX_L - X_C)^2)}$ 임 -

를 더 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 X축으로 하고, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'를 Y축으로 하는 평면 상의 추세선 함수를 이용하여 수식 (7)를 유도하는 단계; 및

상기 수식 (7)을 만족하는 공진 주파수의 운전 제한값을 획득하는 단계

- 상기 수식 (7)은 $f(Z_{eq}) = \alpha * (Z_{eq})^{\beta}$ 이고, 상기 α와 상기 β는 상기 추세선 함수로부터 유도된 값임 -

를 더 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 공진 주파수의 운전 제한값을 획득하는 단계는,

PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수를 가지는 아날로그 저역통과필터를 이용하여, 직류 전압과 직류 전류를 산출하는 단계; 및

산출된 상기 직류 전압을 상기 직류 전류로 나눈 임피던스의 평균값을, 상기 코일 패드에 대한 등가 임피던스로 결정하는 단계; 및

상기 등가 임피던스를, 상기 수식 (7)의 Z_{eq}에 대입하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 상기 공진 주파수의 운전 제한값을 획득하는 단계

를 더 포함하는 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 유도가열기는,

처음 동작할 때의 설계 주파수 fc1 와, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$' 사이에서 운전되어, 상기 유도가열기를 포함하여 구성되는 시스템을 보호하는

후판 가열용 유도가열기의 제어 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수는,

상기 유도 가열기의 출력 신호의 피드백 주파수 fc2로 설정하여, 고주파 AC 성분을 제거하고, 평활화된 DC 성분으로 시스템을 제어하는

후판 가열용 유도가열기의 제어 방법.

청구항 15

제8항 내지 제14항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 유도가열기용 코일 패드의 수량이 바뀌더라도 직류 전압과 직류 전류를 이용하여 코일 패드와 후판의 임피던스를 계산하고, 계산된 코일 패드와 후판의 임피던스를 이용하여, 유도가열기가 공진주파수 보다 높은 영역에서 항상 운전될 수 있도록 제어하는, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법 및 제어 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 후판은, 통상 30㎜ 이상의 철판을 지칭하며, 조선, 플랜트, 방산 부문 등 산업용으로 주로 사용된다.

[0003] 후판 용접 실시 전후의 용접 품질을 유지하기 위해서는, ASME(American Society of Mechanical Engineers) Code 등의 규정에 따라, 후판에 대해 예열(Pre-Heating) 및 후열(Post Heating)을 실시해야 한다.

[0004] 후판 예열 및 후열의 실시를 위한 유도가열기를 이용할 때에는, 후판 위에 코일 패드가 설치되고, 코일 패드에 고주파 전류를 흘려서 후판에 와전류(Edge Current)를 형성시킨다. 형성된 와전류는 후판 표면을 가열시키는 원인이 되고, 가열된 열은 후판을 통해 전도되어 후판 온도를 제어하는 데에 사용될 수 있다.

[0005] 기존의 후판 예열 및 가열하는 방식에는, 가스토치 가열 방식, 세라믹 패드 가열방식 등을 예시할 수 있다.

[0006] 가스토치 가열 방식은 폭발성 가스를 취급해야 하고, 사람의 수작업을 통해 가열 작업이 이루어지게 되어, 작업 품질의 균일성 확보 문제 및 작업 시간이 과다하게 소요되는 문제가 있다.

[0007] 세라믹 패드 가열방식은 열선이 내장된 세라믹 패드를, 가열하고자 하는 후판에 설치하여 운용하는 방식으로, 제어 구조는 단순하나, 세라믹 패드를 연결하기 위하여 많은 전력 케이블 접속을 필요로 하는 단점을 갖고 있다. 또한, 세라믹 패드 가열방식은, 세라믹 패드를 가열하는 열이, 후판에 직접 전달되지 않는 열손실에 해당되고, 전력 소모량이 많은 방식이다. 또한, 세라믹 패드 가열방식은, 내부 열선에서 발생되는 열이 세라믹 패드로 전도되어 가열되고, 가열된 세라믹 패드의 열이 후판으로 다시 전도될 수 있다.

[0008] 따라서, 후판 예열 및 가열하는 방식을 개선하는 새로운 모델이 절실히 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 실시예는, 유도가열기용 패드의 수량이 바뀌더라도 직류 전압과 전류를 이용하여 코일 패드와 후판의 임피던스를 계산하고, 계산된 코일 패드와 후판의 임피던스를 이용하여, 유도가열기가 공진 주파수보다 높은 영역에서 항상 운전될 수 있도록 제어하는, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법 및 제어 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0010] 또한, 본 발명의 실시예는, 유도가열기가 용량성 영역에서 운전되지 않고 유도성 영역에서만 운전되도록 주파수 하한값을 자동적으로 제한하는 것을 다른 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일실시예에 따른, 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치는, 유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정하는 측정부; 및 상기 인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X

$_L$)와, 상기 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식 (5)를 만족하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산하는 계산부 - 상기 유도성 리액턴스(X_L)는 저항(R)의 a배이고, 상기 용량성 리액턴스(X_C)는 저항(R)의 b배이며, 상기 수식 (5)는

$$f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_LX_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)}\,R}$$

임 - 를 포함 할 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 실시예에 따른, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법은, 유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정하는 단계; 및 상기 인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X_L)와, 상기 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식 (5)를 만족하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산하는 단계 - 상기 유도성 리액턴스(X_L)는 저항(R)의 a배이고, 상기 용량성 리액턴스(X_C)는 저항(R)의 b배이며, 상기 수식 (5)는

$$f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_LX_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)}\,R}$$

임 - 를 포함하여 구성할 수 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 일실시예에 따르면, 유도가열기용 패드의 수량이 바뀌더라도 직류 전압과 전류를 이용하여 코일 패드와 후판의 임피던스를 계산하고, 계산된 코일 패드와 후판의 임피던스를 이용하여, 유도가열기가 공진 주파수보다 높은 영역에서 항상 운전될 수 있도록 제어하는, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법 및 제어 장치를 제공할 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 일실시예에 따르면, 유도가열기가 용량성 영역에서 운전되지 않고 유도성 영역에서만 운전되도록 주파수 하한값을 자동적으로 제한 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치의 구성을 도시한 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 유도가열기, 코일 패드 및 제어 시스템의 구성도이다.

도 3은 R기준 등가임피던스를 도출한 그래프이다.

도 4는 등가임피던스 계산 순서도이다.

도 5는 후판 재질 및 패드 수량에 따른 등가 임피던스와 스위칭 주파수 관계식을 도출하는 것을 설명하기 위한 도이다.

도 6은 전류 제어기의 블록도이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

[0017] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0018] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일

반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0019] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치의 구성을 도시한 블록도이다.

[0021] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른, 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치(이하, '제어 장치'라 약칭함)(100)는, 측정부(110) 및 계산부(120)를 포함하여 구성할 수 있다. 또한, 실시예에 따라, 제어 장치(100)는 처리부(130)를 선택적으로 추가하여 구성할 수 있다.

[0022] 우선, 측정부(110)는 유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정한다. 즉, 측정부(110)는 후판의 가열을 위해 전력을 인가받아 발열되는 코일 패드에 대한 전기적 파라미터를 측정하는 역할을 할 수 있다.

[0023] 계산부(120)는 상기 인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X_L)와, 상기 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식 (5)를 만족하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산한다. 즉, 계산부(120)는 유도성 리액턴스(X_L)와, 용량성 리액턴스(X_C)를 이용하여 유도된 수식 (5)를 통해, 코일 패드가 증가함에 따라 변화하는 공진 주파수를 저항(R) 기준으로 정리하는 역할을 할 수 있다.

[0024] 여기서, 상기 유도성 리액턴스(X_L)는 저항(R)의 a배이고, 상기 용량성 리액턴스(X_C)는 저항(R)의 b배 일 때, 상기 수식 (5)는 $f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_LX_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)}\,R}$ 일 수 있다.

[0025] 본 발명의 제어 장치(100)는 앞서 계산한 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를, DSP(Digital Signal Processor)에서 인식 가능한 값으로 변환시킬 수 있다.

[0026] 이를 위해, 제어 장치(100)는 처리부(130)를 추가하여 구성할 수 있다.

[0027] 처리부(130)는 시스템 클럭값(SYSCLK)과 상기 수식 (5)의 역수와의 곱을 통해, 상기 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를, DSP(Digital Signal Processor)에서 인식하는 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'로 변경한다. 즉, 처리부(130)는 유도가열기가 동작하도록 설계된 시스템 클럭값(SYSCLK)을, 수식 (5)의 분모 값과 곱셈 적용(SYSCLK * $\sqrt{(Nab)}\,R$) 함으로써, DSP에 의해 인식 가능한 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'을 출력하는 역할을 할 수 있다.

[0028] 일실시예에서, 제어 장치(100)는 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산 할 수 있다.

[0029] 이를 위해, 계산부(120)는, 수식 (1)을 만족하는, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를, 저항(R)을 기준으로 정리하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산한다. 즉, 계산부(120)는 수식 (1)을 통해, 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를 계산한 후, 이 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를 저항(R) 기준으로 정리 함으로써, 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산할 수 있다.

[0030] 여기서, 수식 (1)는, $Z = \sqrt{((NR)^2 + (NX_L - X_C)^2)}$ 일 수 있다.

[0031] 또한, 처리부(130)는, 상기 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 X축으로 하고, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'를 Y축으로 하는 평면 상의 추세선 함수를 이용하여 수식 (7)를 유도 할 수 있다. 즉, 처리부(130)는 앞서 구해진 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'와 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'의 평면에서의 추세 선을 분석하여 수식 (7)을 유도 할 수 있

다.

[0032] 상기 수식 (7)은 $f(Z_{eq}) = \alpha*(Z_{eq})^{\beta}$ 이고, 상기 α와 상기 β는 상기 추세선 함수로부터 유도된 값 일 수 있다.

[0033] 이후, 처리부(130)는 상기 수식 (7)을 만족하는 공진 주파수의 운전 제한값을 획득 할 수 있다. 즉, 처리부(130)는 유도가열기가 운전되는 영역(공진 주파수보다 높은 유도성 영역)을 수식 (7)을 통해 결정할 수 있다.

[0034] 상기 운전 제한값의 획득에 있어, 처리부(130)는, PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수를 가지는 아날로그 저역통과필터를 이용하여, 직류 전압과 직류 전류를 산출하고, 산출된 상기 직류 전압을 상기 직류 전류로 나눈 임피던스의 평균값을, 상기 코일 패드에 대한 등가 임피던스로 결정하며, 상기 등가 임피던스를, 상기 수식 (7)의 Z_{eq}에 대입하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 상기 공진 주파수의 운전 제한값을 획득 할 수 있다. 즉, 처리부(130)는 PWM 스위칭 주파수를 차단 주파수로 설계된 저역통과필터를 통해, 직류 전압과 직류 전류를 산출하여, 코일 패드에 대한 등가 임피던스로 결정하고, 결정된 등가 임피던스를, 수식 (7)의 Z_{eq}에 대입하여, 상기 운전 제한값을 얻을 수 있다.

[0035] 이때, 상기 유도가열기는, 처음 동작할 때의 설계 주파수 f_{c1} 와, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$' 사이에서 운전되어, 상기 유도가열기를 포함하여 구성되는 시스템을 보호 할 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 유도가열기는, 시스템이 처음 동작할 때 f_{c1} (시스템 설계값)과 f(Zeq) (설치된 패드의 등가 임피던스)를 확인하고 제어를 수행하기 때문에, 시스템 제어기가 항상 f_{c1}과 $f(Z_{eq})$이내에서만 운전되도록 하여, 시스템을 보호할 수 있다.

[0036] 또한, 상기 PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수는, 상기 유도 가열기의 출력 신호의 피드백 주파수 f_{c2}로 설정하여, 고주파 AC 성분을 제거하고, 평활화된 DC 성분으로 시스템을 제어 할 수 있다.

[0037] 본 발명의 일실시예에 따르면, 유도가열기용 패드의 수량이 바뀌더라도 직류 전압과 전류를 이용하여 코일 패드와 후판의 임피던스를 계산하고, 계산된 코일 패드와 후판의 임피던스를 이용하여, 유도가열기가 공진 주파수보다 높은 영역에서 항상 운전될 수 있도록 제어하는, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법 및 제어 장치를 제공할 수 있다.

[0038] 또한, 본 발명의 일실시예에 따르면, 유도가열기가 용량성 영역에서 운전되지 않고 유도성 영역에서만 운전되도록 주파수 하한값을 자동적으로 제한 할 수 있다.

[0039] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 유도가열기, 코일 패드 및 제어 시스템의 구성도이다.

[0040] 도 2에 도시한 바와 같이, 유도가열기는 정류기, 직류 전압센서, 직류 전류센서, 스위칭 소자, 공진커패시터를 포함하여 구성할 수 있다.

[0041] 직류 전압센서와 직류 전류센서는, 후판 가열용 코일 패드의 제어를 위하여 직류 전압 및 직류 전류를 측정 할 수 있다.

[0042] 연결된 코일 패드의 수량을 측정하기 위하여, 유도가열기의 최초 기동 시 고정된 주파수의 전류를 코일 패드에 인가하면, 해당 부하에 대한 직류 전압 및 직류 전류가 발생하고, 직류 전압센서와 직류 전류센서는, 이를 측정하기 위하여, 상기 고정된 주파수를 차단 주파수로 하는 저역통과필터를 이용하여 직류 전압 및 직류 전류를 측정하고 코일 패드의 임피던스를 추정 할 수 있다.

[0043] 직류 전압과 직류 전류를 상기 고정된 주파수의 차단 주파수를 갖는 저역통과필터를 통과 시키면, 인버터 출력단의 교류 성분에 대한 제곱평균제곱근(RMS)값과 유사한 값을 가지므로, 본 발명의 제어 장치(100)에 의해서는, 교류 출력단을 직접 측정하여 코일의 임피던스를 측정하는 종래의 방법에 비하여 연산 능력이 낮은 장치로도 출력단의 코일 패드의 임피던스를 보다 정확하게 측정할 수 있다.

[0044] 제어 장치(100)는, 코일 패드의 임피던스를 이용하여 임피던스와 사전 조사된 LC 공진주파수와 연산장치의 스위칭 주파수 주기 함수를 만들어 유도가열기가 용량성 영역에서 운전되지 않고 유도성 영역에서만 운전되도록 주파수 하한값을 자동적으로 제한 할 수 있다.

[0045] 도 2에서와 같이, 현재 접속된 코일 패드의 등가임피던스는 $V_{dcf} / I_{dcf} = Z_{measure}$ 으로 표현되고, 현재 접속된 코일 패드의 공진주파수는 PWM Period(T_{LIMIT}) = $f(Z_{measure})$으로 표현될 수 있다.

[0046] 또한, 유도가열기에 의한 출력은 High Limit = SYSCLK / f_{c1}, Low Limit f($Z_{measure}$) 로 표현될 수 있다.

[0047] 코일 패드의 등가임피던스는 아래의 절차에 따라 구할 수 있다.

[0048] 본 발명의 제어 장치(100)는, 고정 주파수 f_{c1} 인 PWM을, 부하인 코일 패드에 인가하여, 직류 전압 및 직류 전류를 발생시킨다. 이 때 발생되는 직류 전압 및 직류 전류는 저역통과필터를 거친 다음, A/D 컨버터의 입력으로 사용한다.

[0049] 부하의 이론적인 등가임피던스는 수식 (1)과 같다.

[0050] 수식 (1)

[0051] $$Z = \sqrt{((NR)^2 + (NX_L - X_C)^2)}$$

[0052] 여기서 N은 코일 패드의 직렬 연결 수량으로 결정이 되는데, 이론적인 값과 측정값을 이용한 등가임피던스 인 V_{dc}/I_{dc}가 같아지는 값을 가지기 위해서는 저역통과필터의 컷오프 주파수(차단 주파수)를, 상기 PWM의 고정 주파수값인 f_{c1}으로 설계 할 수 있다.

[0053] 여기서, 고정 주파수값인 f_{c1}은 가장 낮은 부하임피던스의 공진주파수 보다 2배 이상 높게 설정 할 수 있다.

[0054] 연결되는 코일 패드의 수량에 따른 부하 임피던스값을 표 1로 정리한다.

[0055] 여기서 코일 패드 하나의 부하 임피던스의 저항값은 R이고, X_L값은 R의 a배이고, X_C값은 R의 b배이다(수식 (2)~(4)).

[0056] 수식 (2)~(4)

[0057] $$R$$

$$X_L = aR$$

$$X_C = bR$$

[0058] 표 1은 식 (2)~(4)를 식(1)에 대입하여, 코일 패드의 수량에 따른 등가임피던스를 정리한 것이다.

[0059] [표 1]

패드 수량	패드수량별 등가임피던스	R기준 등가 임피던스 정리
3	$\sqrt{((3R)^2 + (3X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(3)^2 + (3a-b)^2]}\ R$
4	$\sqrt{((4R)^2 + (4X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(4)^2 + (4a-b)^2]}\ R$
5	$\sqrt{((5R)^2 + (5X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(5)^2 + (5a-b)^2]}\ R$
6	$\sqrt{((6R)^2 + (6X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(6)^2 + (6a-b)^2]}\ R$
7	$\sqrt{((7R)^2 + (7X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(7)^2 + (7a-b)^2]}\ R$
8	$\sqrt{((8R)^2 + (8X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(8)^2 + (8a-b)^2]}\ R$
9	$\sqrt{((9R)^2 + (9X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(9)^2 + (9a-b)^2]}\ R$
10	$\sqrt{((10R)^2 + (10X_L - X_C)^2)}$	$\sqrt{[(10)^2 + (10a-b)^2]}\ R$

[0060]

[0061] 연결되는 코일 패드의 수량별 공진주파수 f_{res}는 수식 (5)에 정리한다.

[0062] 수식 (5)

[0063] $$f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_L X_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)R}}$$

[0064] 제어 장치(100)는 공진주파수 f_{res}를 결정 함에 따라, 코일 패드의 수량별 운전 주파수를 결정할 수 있다.

[0065] 공진주파수 fres에 해당하는 PMW의 주기값은 DSP의 내부 시스템 클럭값을 공진주파수로 나눈 값으로 결정할 수 있다.

[0066] 수식 (6)

[0067] $$PWM_{res} = 1 / f_{res}$$

[0068] 코일 패드의 수량에 따른 R값 기준의 공진주파수 PWM의 주기값은 표 2와 같이 정리된다.

[0069] 표 2는 코일 패드 수량에 따른 공진주파수와 공진주파수 PWM의 주기값을 보여주는 표이다

[0070] [표 2]

패드 수량	패드수량별 등가임피던스	R기준 등가 임피던스 정리
3	$\frac{1}{\sqrt{(3ab)}\ R}$	SYSCLK * √(3ab) R
4	$\frac{1}{\sqrt{(4ab)}\ R}$	SYSCLK * √(4ab) R
5	$\frac{1}{\sqrt{(5ab)}\ R}$	SYSCLK * √(5ab) R
6	$\frac{1}{\sqrt{(6ab)}\ R}$	SYSCLK * √(6ab) R
7	$\frac{1}{\sqrt{(7ab)}\ R}$	SYSCLK * √(7ab) R
8	$\frac{1}{\sqrt{(8ab)}\ R}$	SYSCLK * √(8ab) R
9	$\frac{1}{\sqrt{(9ab)}\ R}$	SYSCLK * √(9ab) R
10	$\frac{1}{\sqrt{(10ab)}\ R}$	SYSCLK * √(10ab) R

[0071]

[0072] 표 1과 표 2의 상관관계로부터, R기준 등가임피던스와 R기준 공진주파수 PWM값 사이에는, 수식 (7), (8)과 같은 형태의 함수가 만들어진다.

[0073] 수식 (7)

[0074] $$f(Z_{eq})=\alpha*(Z_{eq})^{\beta}$$

[0075] 수식 (8)

[0076] $$f(Z) = a_0 + a_1*Z + a_2*Z^2 + a_3Z^3 + a_4Z^4$$

[0077] 표 3은 R기준 등가임피던스와 R기준 공진주파수와의 관계를 나타내는 표이다.

[0078] [표 3]

Z_{eq}	$f(Z_{eq})$
$\sqrt{[(3)^2 + (3a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(3ab) R
$\sqrt{[(4)^2 + (4a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(4ab) R
$\sqrt{[(5)^2 + (5a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(5ab) R
$\sqrt{[(6)^2 + (6a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(6ab) R
$\sqrt{[(7)^2 + (7a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(7ab) R
$\sqrt{[(8)^2 + (8a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(8ab) R
$\sqrt{[(9)^2 + (9a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(9ab) R
$\sqrt{[(10)^2 + (10a-b)^2]}$ R	SYSCLK * √(10ab) R
• • •	• • •

[0079]

[0080] 도 3은 R기준 등가임피던스를 도출한 그래프이다.

[0081] R기준 등가임피던스는 엑셀 그래프의 추세선을 이용하여 쉽게 도출할 수 있다.

[0082] 도 3에 도시한 바와 같이, R기준 등가임피던스와 R기준 공진주파수는 대략적인 비례 상관 임을 알 수 있다.

[0083] 제어 장치(100)는 수식 (1)에서 측정된 등가임피던스의 값($Z_{measure}$)을 식(7)에 입력하여 계산된 결과값을 시스템의 전류 제어기 출력 제한값으로 사용 함으로써, 공진주파수 보다 낮은 영역에서 운전되는 것을 방지할 수 있다.

[0084] - $f(Z_{measure}) = \alpha * (Z_{measure})^{\beta}$

[0085] 도 4는 등가임피던스 계산 순서도이다.

[0086] 임피던스 계산을 시작하면, 단계 401에서 제어 장치(100)는, 주파수 F_{c1} 인 PWM를 스위칭 한다.

[0087] 단계 402에서 제어 장치(100)는, 직류 전압(V_{dcf})을 측정한다.

[0088] 단계 403에서 제어 장치(100)는, 직류 전류(I_{dcf})를 측정한다.

[0089] 단계 404에서 제어 장치(100)는, 임피던스 $Z = V_{dcf} / I_{dcf}$ 를 계산한다.

[0090] 단계 405에서 제어 장치(100)는, n에 대한 임피던스 Z[n]을 추출한다.

[0091] 단계 406에서 제어 장치(100)는, n이 마지막 값인 k인지를 비교한다.

[0092] n이 k가 아니라면(단계 406의 No 방향), 단계 407에서 제어 장치(100)는, n에 +1을 한 후, 단계 401로 리턴한다.

[0093] n이 k이면(단계 406의 Yes 방향), 단계 408에서 제어 장치(100)는, 등가 임피던스 $\sum_{n=a}^{k} Z[n]/(k-a)$ 를 계산한다.

[0094] 단계 409에서 제어 장치(100)는, 최종적인 측정 임피던스 $Z_{measure}$를 계산한다.

[0095] 도 5는 후판 재질 및 패드 수량에 따른 등가 임피던스와 스위칭 주파수 관계식을 도출하는 것을 설명하기 위한 도이다.

[0096] 단계 501에서 제어 장치(100)는, 최초 패드 제작시, 임피던스 함수의 결정을 개시할 수 있다.

[0097] 단계 502에서 제어 장치(100)는, 단위 패드의 저항값(R) 및 인덕턴스(L)을 측정할 수 있다. 제어 장치(100)는 가열하고자 하는 후판 위에 코일 패드를 설치할 수 있다. 제어 장치(100)는 LCR 미터에서 차단주파수 1(f_{c1})에 해당하는 주파수를 인가하여 저항값 및 인덕턴스 값을 측정하여 기록 할 수 있다.

[0098] 단계 503에서 제어 장치(100)는, 공진 커패시터(C) 값을 측정할 수 있다. 제어 장치(100)는 커패시터 제품의 사양값에 따라 공진 커패시터(C) 값을 측정할 수 있다.

[0099] 단계 504에서 제어 장치(100)는, f(z) 함수를 생성할 수 있다.

[0100] 도 6은 전류 제어기의 블록도이다.

[0101] 도 6에 도시한 바와 같이, 제어 장치(100)는 I_{dc}를 입력받아, 차단주파수 f_{c2}의 저역통과필터를 적용한 규정된 전류지령값과 합산한다.

[0102] 이후, 제어 장치(100)는 PI 제어기와 주파수 리미터에 의해 PWM PERIOD를 생성한다. 여기서 주파수 리미터는, 도 4의 (a)와 도 5의 (b)에 따라 도출된 $f(Z) = \sigma * (Z)^{\beta}$ 를 입력으로 받아, High Limit = SYSCLK/ f_{c1}, Low Limit f(Z) 를 연산하여, PWM PERIOD를 생성할 수 있다.

[0103] [임피던스 함수 선정 절차]에 있어,

[0104] 제어 장치(100)는 오프라인에서 단위 코일 패드를 철판 또는 임의 재질의 강재위에 설치하고 LCR 미터를 이용하여 인덕턴스를 측정 할 수 있다.

[0105] 제어 장치(100)는 측정된 인덕턴스와 유도가열기에서 사용하는 커패시터값을 이용하여 코일 패드의 수량에 따른 공진주파수 변화값 및 PWM 주파수를 계산 할 수 있다.

[0106] 제어 장치(100)는 수식 (7) 또는 수식 (8)의 추세선 함수를 생성 할 수 있다.

[0107] [등가임피던스 추정]에 있어,

[0108] 제어 장치(100)는 유도가열기를 f_{c1}의 고정 주파수로 운전할 수 있다. f_{c1} 은 15 ~ 50kHz 중 시스템이 허용하는 최대 주파수 일 수 있다.

[0109] 제어 장치(100)는 f_{c1}의 차단주파수를 가진 저역통과필터(LPF : Low Pass Filter)를 통해 직류 전압 및 전류를 측정 할 수 있다.

[0110] 측정된 등가임피던스는 직류전압/직류전류로 결정 될 수 있다.

[0111] 제어 장치(100)는 측정 오차를 줄이기 위하여 등가임피던스를 지정된 횟수만큼 연속측정하고, 그 평균값(Zmeasure)을 이용 할 수 있다.

[0112] 제어 장치(100)는 수식 (7) 또는 수식 (8)에서 구해진 함수에 등가임피던스 평균값을 대입하면 공진주파수에 해당하는 PWM 주기값을 구할 수 있다.

[0113] [제어기 구동]에 있어,

[0114] 제어 장치(100)는 직류 전류 또는 직류 유효 전력값을 지령값으로 하는 비례적분(PI) 제어기를 구성 할 수 있다.

[0115] 제어 장치(100)는 f_{c2}의 차단 주파수를 가진 아날로그 LPF를 통해 측정된 직류 전류 또는 출력을 PI 제어기 피드백값으로 사용 할 수 있다.

[0116] f_{c2} 는 100 ~ 200Hz의 차단주파수를 가지도록 설계한다.

[0117] f_{c2}를 가진 LPF를 적용하는 이유는 직류 전압 및 전류는 리플을 가지고 있는데, LPF를 거쳐 리플이 제거된 값을 제어에 이용하여 시스템 제어 안정성을 확보하기 위한 목적이다.

[0118] 제어 장치(100)는 PI 제어기 출력값을 유도가열기의 PWM 주기값으로 설계하고, 제한값의 상한값은 고정 주파수인 f_{c1}으로 선정하고, 하한값은 수식 (7) 또는 수시 (8)에서 계산된 값을 적용한다.

[0119] 이러한 시스템의 구성을 통해, 제어 장치(100)는 코일 패드 설치 후 시스템을 기동하면 자동으로 코일 패드의 수량에 따른 공진점 이하 주파수인 용량성 운전 영역에서 운전되는 것을 방지할 수 있다.

[0120] 본 발명에 의해서는, 다양한 코일 패드 형상 및 후판 재질에 대하여 유도가열기 운용 영역의 안정성을 확보할 수 있다.

[0121] 또한, 본 발명에 의해서는, 상대적으로 낮은 성능의 CPU 연산 장치를 적용할 수 있다.

[0122] 본 발명의 제어 장치(100)는 후판 가열용 유도가열기 코일 패드의 저항값(R), 인덕턴스값(X_L)을 LCR 미터를 이용하여 측정하고, 커패시터값(X_C)은 시스템 설계값을 이용하여 측정값을 결정한다.

[0123] 제어 장치(100)는 측정된 R, X_L, X_C값을 R값 기준으로 정리하고, LC 공진주파수와 스위칭 주기값의 함수를 생성한다.

[0124] L값은 LCR 미터로 결정할 수 있다.

[0125] 코일 형태는 긴 장방형 형태를 유지하며, 개별 코일 자체의 인덕턴스는 일정한 값을 가진다고 가정할 수 있다.

[0126] 인덕턴스는 코일의 형태에 따라 바뀔 수 있고, 코일의 연결 개수에 따라 비례적으로 증가 할 수 있다.

[0127] 코일의 인덕턴스값은 공기중 측정, 철판위에 놓고 측정할 수 있는데, 공진 주파수를 계산하기 위해서는 철판 위에 놓고 측정한 값을 이용한다.

[0128] C값은 커패시터의 데이터시트/명판을 참조하여 결정 할 수 있다.

[0129] R값은 LCR미터로 측정하여 결정 할 수 있다.

[0130] 제어 장치(100)는 앞에서 측정된 L값과 C값을 이용하여 코일 패드의 수량에 따른 공진 주파수값을 계산할 수 있다.

[0131] 여기서 C는 유도가열기 인버터 내부에 설치되는 부품으로, 커패시터의 수량은 고정이다.

[0132] LC 공진회로에서 시스템 전체 임피던스는 수식 (1)로 알려져있다.

[0133] 수식 (1)을 통해, 코일 패드의 수량(N)에 따라, 유도가열기의 저항 R 및 X_L 는 N값에 비례한다고 볼 수 있다.

[0134] 코일에 의한 유도성 리액턴스(X_L)는 R값의 a배로 정의하고,

[0135] 커패시터에 의한 용량성 리액턴스(X_C)는 R값의 b배로 정의할 수 있다.

[0136] LC 직렬공진회로의 공진 주파수(f_{res})는 아래와 같이 정의되어 있다.

공명진동수에서

유도리액턴스(X_L) = 용량리액턴스(X_C)

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}\ ,\ \omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

[0137]

[0138] 위의 식을 수식 (3), 수식 (4)를 이용하여 패드 수량(N)에 따라서 정리하면, 공진주파수 f_{res}는 수식 (5)를 통해

결정될 수 있다.

[0139] 공진주파수 f_{res}를 DSP 시스템 내부 PWM 제한값으로 사용하기 위해서는 DSP에서 인식하는 주기값으로 변경해주어야 한다.

[0140] 유도 가열기의 운전은 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용하여, 주파수를 가변 시키는데, PWM의 주기는 DSP 내부 시스템 클럭값을 이용하여 결정한다.

[0141] 예컨대,

[0142] EPwmXRegs.TBPRD = 1200; (내부 PWM 주기 설정값, X=1,2)

[0143] DSP 내부 클럭 : 75MHz

[0144] 일 경우에는, 75MHz의 클럭이 1200번 동작하는 것이므로 주파수로 표현하면 75MHz/1200 = 62.5kHz 이 된다.

[0145] 즉, DSP에서 인식하는 주기값인 PWM 주기값은, DSP 내부 시스템 클럭값인 75MHz를, 주파수로 표현된 공진주파수 62.5kHz로 나누어 줌으로써 산출할 수 있다.

[0146] 제어 장치(100)에 의해서는 패드 수량에 따른 공진주파수 변화값을 시스템 클럭값(SYSCLK)과 수식 (5)의 역수의 곱으로 표현하여 표 1로 정리할 수 있다.

[0147] 제어 장치(100)에 의해서는 패드 수량에 따라서 등가 임피던스와 수식 (2), 수식 (3), 수식 (4)를 수식 (1)에 대입하여 정리하여 표 2와 같이 정리 할 수 있다.

[0148] 제어 장치(100)에 의해서는 표 1와 표 2를 이용하여 패드 수량에 따른 등가임피던스와 PWM공진주파수로 정리할 수 있다.

[0149] 제어 장치(100)에 의해서는, 표 3을 X축에 등가 임피던스인Z_{eq}, Y축에 공진주파수 PWM 주기값인 $f(Z_{eq})$를 이용하여 표시하여 양변에 저항성분 R을 제거하고, L,C 임피던스에 의한 영향성분만을 남길 수 있다.

[0150] 표 3를 이용하여 엑셀 추세선 함수는, 수식 (7)와 수식 (8)와 같은 형태로 나타내어진다.

[0151] 수식 (7)과 수식 (8)에 따른 함수의 의미는 임의의 등가 임피던스값을 추세선 함수에 입력하면 공진 주파수 운전 제한값을 구할 수 있다는 의미가 된다.

[0152] 예를 들어 R, L, C값 및 등가임피던스를 구하기 위한 기본 주파수가 아래와 같이 주어진다면, 표 4와 같이 정리된다.

[0153] R = 2.063469278[Ω]

[0154] L = 59.2473[uH]

[0155] C = 880[uF]

[0156] Base Freq = 20000[Hz], SYSCLK = 10000000[Hz]

[0157] [표 4]

[0158]

PAD NUM	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Xc	6.19	8.25	10.32	12.38	14.44	16.51	18.57	20.63	22.70	24.76	26.83	28.89	30.95	33.02	35.08	37.14
L	5.78E-04	2.87E-04	2.56E-04	3.55E-04	4.75E-04	4.14E-04	5.33E-04	5.92E-04	6.52E-04	7.11E-04	7.70E-04	8.29E-04	8.89E-04	9.48E-04	1.01E-03	1.07E-03
Xl	22.34	29.78	37.23	44.67	52.12	59.56	67.01	74.45	81.90	89.34	96.79	104.23	111.68	119.12	126.57	134.01
C	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07	8.80E-07
Xc	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04	9.04
20kHz IMP	14.66	22.32	30.01	37.72	45.43	53.15	60.87	68.59	76.31	84.03	91.75	99.48	107.20	114.93	122.65	130.37
fres	12,726	11,021	9,857	8,998	8,331	7,793	7,347	6,970	6,646	6,363	6,113	5,891	5,691	5,510	5,346	5,195
PWM Period	786	907	1,014	1,111	1,200	1,283	1,361	1,435	1,505	1,572	1,636	1,698	1,757	1,815	1,871	1,925

[0159] 표 4는 등가 임피던스와 공진주파수의 PWM 주기와의 상관 관계를 정리한 표이다.

[0160] 함수 PWM Period = 247.11 * IMPEDANCE$^{0.4182}$의 형태로 구해지면, 제어 장치(100)에 의해서는, 패드의 수량이 중간값을 가져도 운전 제한값을 결정할 수 있다.

[0161] 직류 전압과 전류를 이용하여 유도가열기 패드 부하의 등가임피던스를 구하기 위하여, 제어 장치(100)는 PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수를 가지는 저역통과필터를 이용하여 직류 전압과 전류를 측정하고 측정된 전압을 전

류로 나눈 임피던스값의 평균값을 획득할 수 있다. 제어 장치(100)는 획득한 임피던스값의 평균값을 이용하여 코일 패드의 수량 변경에 따라 공진주파수가 변경에 대응하는 PWM 제한값을 획득 할 수 있다.

[0162] 공진주파수의 제한값은 수식 (7), 수식 (8) 등에 임의의 등가 임피던스를 입력하면 결정할 수 있다.

[0163] 등가 임피던스를 구하는 방법은 직류단 전압과 전류를 이용하는 방법과 출력단 AC 전압과 전류를 이용하는 방법이 있다.

[0164] 직류단 전압과 전류를 이용하는 방법은 '임피던스 = 전압/전류'의 식을 이용하여 순수하게 등가 임피던스의 성분만 구할 수 있는 방법으로, CPU의 연산 능력이 크게 필요하지 않은 장점이 있다.

[0165] 출력단 AC 전압과 전류를 이용하는 방법에 의해 구한 임피던스는 크기와 위상 정보를 확인할 수 있는 장점이 있으나, 고속의 아날로그 디지털 컨버터 변환 능력과 CPU 연산 능력이 크게 필요하다는 단점이 있다.

[0166] 직류단과 출력단 전압을 비교하면 직류단은 거의 일정한 값을 갖고, 출력단은 PWM 1:1 듀티비의 출력값을 갖을 수 있다.

[0167] 유도가열기가 공진주파수 보다 큰 주파수에서 운전하는 경우, 제어 장치(100)에 의해서는, PWM 운전 주파수의 차단 주파수를 가지는 아날로그 필터를 거치게 됨에 따라, 출력단 AC 전류의 RMS값과 직류단 DC 전류의 피크값이 거의 유사한 값을 가지게 된다.

[0168] 제어 장치(100)는 DSP에서 이 DC 전압과 전류 피크값을 이용하여 등가 임피던스 Zeq값을 구할 수 있다.

[0169] 제어 장치(100)는 등가 임피던스를 측정하기 위한 아날로그 전류 측정 회로의 차단 주파수값을 출력 전류의 RMS값과 유사해지도록 특정 주파수값에 해당하도록 설계한다.

[0170] 출력전류의 RMS값은 출력전류 피크값의 1/sqrt(2) 배이다.

[0171] 직류 전류는 출력전류의 절대값과 등가이다.

[0172] 저역통과필터의 차단주파수 지점은 원 신호 입력대비 출력 신호의 크기가 70.7%로 정현파 신호의 RMS값과 크기가 비슷해지는 특징을 가질 수 있다.

[0173] 임피던스 측정 오차를 줄이기 위하여, 제어 장치(100)는 직류 전압과 전류 측정의 지정된 횟수 n번 반복하여 평균값을 취한다.

[0174] 제어 장치(100)는 N번 반복 이후 측정 평균값을 임피던스 값으로 결정하고, 이 임피던스 값을 수식 (7)에 대입하면 PWM 제한값이 된다.

[0175] 공진 주파수 이상의 특정 주파수 f_{c1}에서 유도가열기 회로에 출력을 인가하면 직류단에 전압과 전류값이 발생하고, 제어 장치(100)는 이 값을 나누어 임피던스값을 산출한다.

[0176] 패드 형상 또는 수량에 따라 결정된 임피던스값은 특정 공진 주파수 곡선을 따라 동작하게 된다.

[0177] 그리고, 제어 장치(100)는 공진 주파수값의 역수를 PWM Period로 변환시켜, 특정한 추세선(비선형함수)을 따라 움직이게 한다.

[0178] 유도가열기 제어 시스템은 비례 적분 제어기가 적용되고 입력값은 전류 또는 출력 제어를 선택할 수 있고, 피드백값은 직류 전압 또는 직류 전력을 이용하는데, 이 전압 또는 전류는 낮은 주파수의 저역통과필터를 통과한 값을 이용한다.

[0179] 비례적분제어기 출력값의 제한값의 상한값은 유도가열기 최대 동작 주파수로 설정하고 PWM 제한값을 하한 값으로 이용한다.

[0180] PI 제어기의 입력은 직류 전류로 설정하고, 출력 신호 피드백값은 직류 전류로 구성한다.

[0181] 피드백 전류는 시스템의 안정적인 운전을 위하여 f_{c2} (약 100 ~ 200Hz)로 설정한다.

[0182] 시스템이 처음 동작할 때 f_{c1} (시스템 설계값)과 f(Zeq) (설치된 패드의 등가 임피던스)를 확인하고 제어를 수행하기 때문에, 시스템 제어기는 항상 f_{c1}과 $f(Z_{eq})$이내에서만 운전되어 시스템을 보호할 수 있다.

[0183] 낮은 주파수로 f_{c2}값을 설정하는 이유는 직류단 전류 원신호는 수십 kHz의 주파수를 가지고 있어, DSP에서 특수

한 처리없이ADC 하였을 때 샘플링 간격에 따라 신호 왜곡이 발생할 수 있다.

[0184] 이러한 문제를 해결하기 위하여, 제어 장치(100)는 매우 낮은 차단 주파수(f_{c2})를 가지는 저역통과필터를 구성하여 고주파 AC 성분을 제거하고, 평활화된 DC 성분으로 시스템을 제어한다.

[0185] 유도 가열기는 후판의 온도 제어를 목적으로 하므로, 시스템 응답 특성이 빠를 필요가 없는 시스템이므로 이와 같이 낮은 대역폭을 가지는 필터를 적용할 수 있다.

[0186] 이하, 도 7에서는 본 발명의 실시예들에 따른 제어 장치(100)의 작업 흐름을 상세히 설명한다.

[0187] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법을 도시한 흐름도이다.

[0188] 본 실시예에 따른 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법은 제어 장치(100)에 의해 수행될 수 있다.

[0189] 우선, 제어 장치(100)는 유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정한다(710). 단계(710)은 후판의 가열을 위해 전력을 인가받아 발열되는 코일 패드에 대한 전기적 파라미터를 측정하는 과정일 수 있다.

[0190] 또한, 제어 장치(100)는 상기 인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X_L)와, 상기 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식 (5)를 만족하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산한다(720). 단계(720)는 유도성 리액턴스(X_L)와, 용량성 리액턴스(X_C)를 이용하여 유도된 수식 (5)를 통해, 코일 패드가 증가함에 따라 변화하는 공진 주파수를 저항(R) 기준으로 정리하는 과정일 수 있다.

[0191] 여기서, 상기 유도성 리액턴스(X_L)는 저항(R)의 a배이고, 상기 용량성 리액턴스(X_C)는 저항(R)의 b배 일 때, 상기 수식 (5)는 $f_{res} = \frac{1}{\sqrt{(NX_LX_C)}} = \frac{1}{\sqrt{(NaRbR)}} = \frac{1}{\sqrt{(Nab)}\,R}$ 일 수 있다.

[0192] 본 발명의 제어 장치(100)는 앞서 계산한 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를, DSP(Digital Signal Processor)에서 인식 가능한 값으로 변환시킬 수 있다.

[0193] 이를 위해, 제어 장치(100)는 시스템 클럭값(SYSCLK)과 상기 수식 (5)의 역수와의 곱을 통해, 상기 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를, DSP(Digital Signal Processor)에서 인식하는 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'로 변경한다. 즉, 제어 장치(100)는 유도가열기가 동작하도록 설계된 시스템 클럭값(SYSCLK)을, 수식 (5)의 분모 값과 곱셈 적용(SYSCLK * $\sqrt{(Nab)}\,R$) 함으로써, DSP에 의해 인식 가능한 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'을 출력 할 수 있다.

[0194] 일실시예에서, 제어 장치(100)는 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산 할 수 있다.

[0195] 이를 위해, 제어 장치(100)는, 수식 (1)을 만족하는, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를, 저항(R)을 기준으로 정리하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산한다. 즉, 제어 장치(100)는 수식 (1)을 통해, 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를 계산한 후, 이 코일 패드의 개수(N)에 따른 등가임피던스를 저항(R) 기준으로 정리 함으로써, 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 계산 할 수 있다.

[0196] 여기서, 수식 (1)는, $Z = \sqrt{((NR)^2 + (NX_L - X_C)^2)}$ 일 수 있다.

[0197] 또한, 제어 장치(100)는, 상기 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'를 X축으로 하고, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'를 Y축으로 하는 평면 상의 추세선 함수를 이용하여 수식 (7)를 유도 할 수 있다. 즉, 제어 장치(100)는 앞서 구해진 'R기준 등가임피던스 Z_{eq}'와 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$'의 평면에서의 추세 선을 분석하여 수식 (7)을 유도할 수 있다.

[0198] 상기 수식 (7)은 $f(Z_{eq}) = \alpha * (Z_{eq})^{\beta}$ 이고, 상기 α와 상기 β는 상기 추세선 함수로부터 유도된 값 일 수

있다.

[0199] 이후, 제어 장치(100)는 상기 수식 (7)을 만족하는 공진 주파수의 운전 제한값을 획득 할 수 있다. 즉, 제어 장치(100)는 유도가열기가 운전되는 영역(공진 주파수보다 높은 유도성 영역)을 수식 (7)을 통해 결정할 수 있다.

[0200] 상기 운전 제한값의 획득에 있어, 제어 장치(100)는, PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수를 가지는 아날로그 저역통과필터를 이용하여, 직류 전압과 직류 전류를 산출하고, 산출된 상기 직류 전압을 상기 직류 전류로 나눈 임피던스의 평균값을, 상기 코일 패드에 대한 등가 임피던스로 결정하며, 상기 등가 임피던스를, 상기 수식 (7)의 Z_{eq}에 대입하여, 상기 코일 패드의 개수(N)에 따른 상기 공진 주파수의 운전 제한값을 획득 할 수 있다. 즉, 제어 장치(100)는 PWM 스위칭 주파수를 차단 주파수로 설계된 저역통과필터를 통해, 직류 전압과 직류 전류를 산출하여, 코일 패드에 대한 등가 임피던스로 결정하고, 결정된 등가 임피던스를, 수식 (7)의 Z_{eq}에 대입하여, 상기 운전 제한값을 얻을 수 있다.

[0201] 이때, 상기 유도가열기는, 처음 동작할 때의 설계 주파수 f_{c1} 와, 상기 'R기준 PWM 주기값 $f(Z_{eq})$' 사이에서 운전되어, 상기 유도가열기를 포함하여 구성되는 시스템을 보호 할 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 유도가열기는, 시스템이 처음 동작할 때 f_{c1} (시스템 설계값)과 f(Zeq) (설치된 패드의 등가 임피던스)를 확인하고 제어를 수행하기 때문에, 시스템 제어기가 항상 f_{c1}과 $f(Z_{eq})$이내에서만 운전되도록 하여, 시스템을 보호할 수 있다.

[0202] 또한, 상기 PWM 스위칭 주파수의 차단 주파수는, 상기 유도 가열기의 출력 신호의 피드백 주파수 f_{c2}로 설정하여, 고주파 AC 성분을 제거하고, 평활화된 DC 성분으로 시스템을 제어 할 수 있다.

[0203] 본 발명의 일실시예에 따르면, 유도가열기용 패드의 수량이 바뀌더라도 직류 전압과 전류를 이용하여 코일 패드와 후판의 임피던스를 계산하고, 계산된 코일 패드와 후판의 임피던스를 이용하여, 유도가열기가 공진 주파수보다 높은 영역에서 항상 운전될 수 있도록 제어하는, 후판 가열용 유도가열기의 제어 방법 및 제어 장치를 제공할 수 있다.

[0204] 또한, 본 발명의 일실시예에 따르면, 유도가열기가 용량성 영역에서 운전되지 않고 유도성 영역에서만 운전되도록 주파수 하한값을 자동적으로 제한 할 수 있다.

[0205] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0206] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0207] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태

로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0208] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0209] 100 : 후판 가열용 유도가열기의 제어 장치

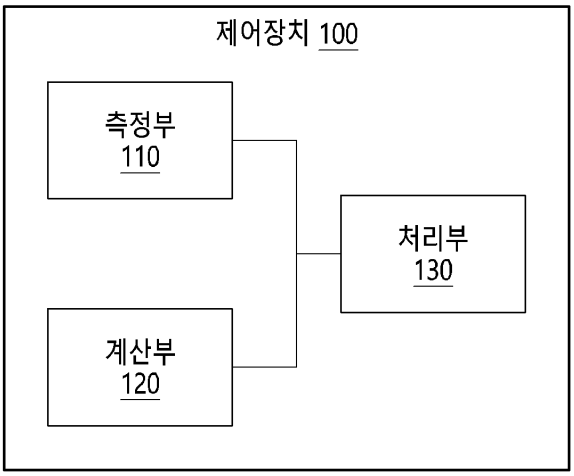
110 : 측정부

120 : 계산부

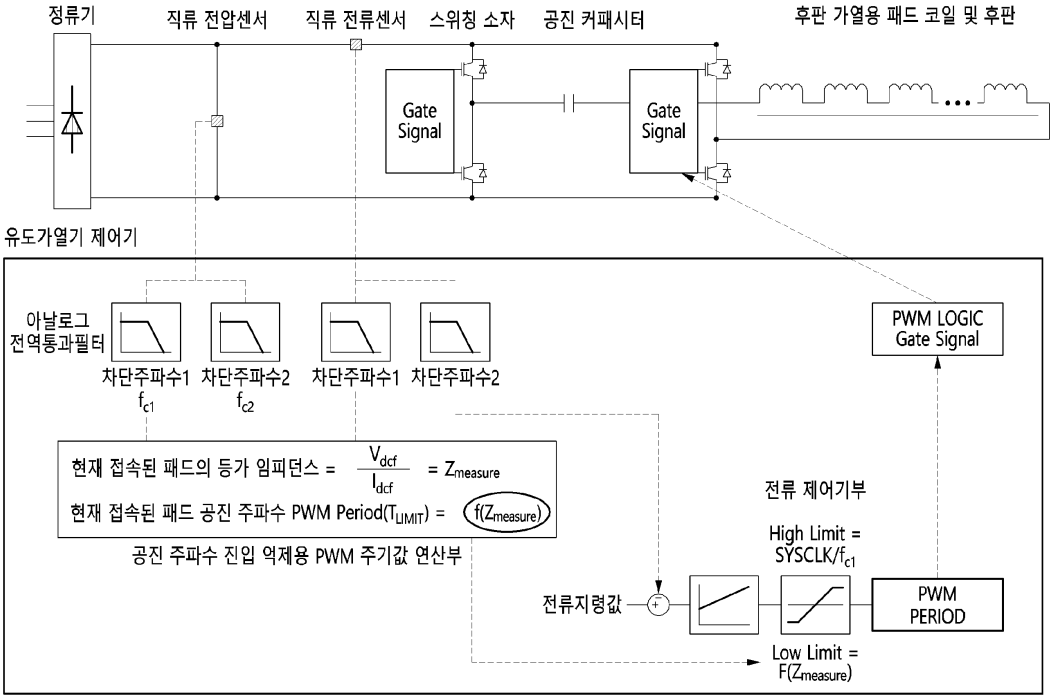
130 : 처리부

도면

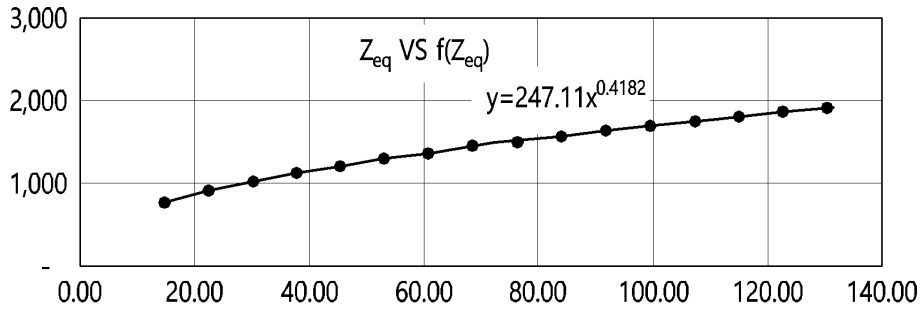
도면1



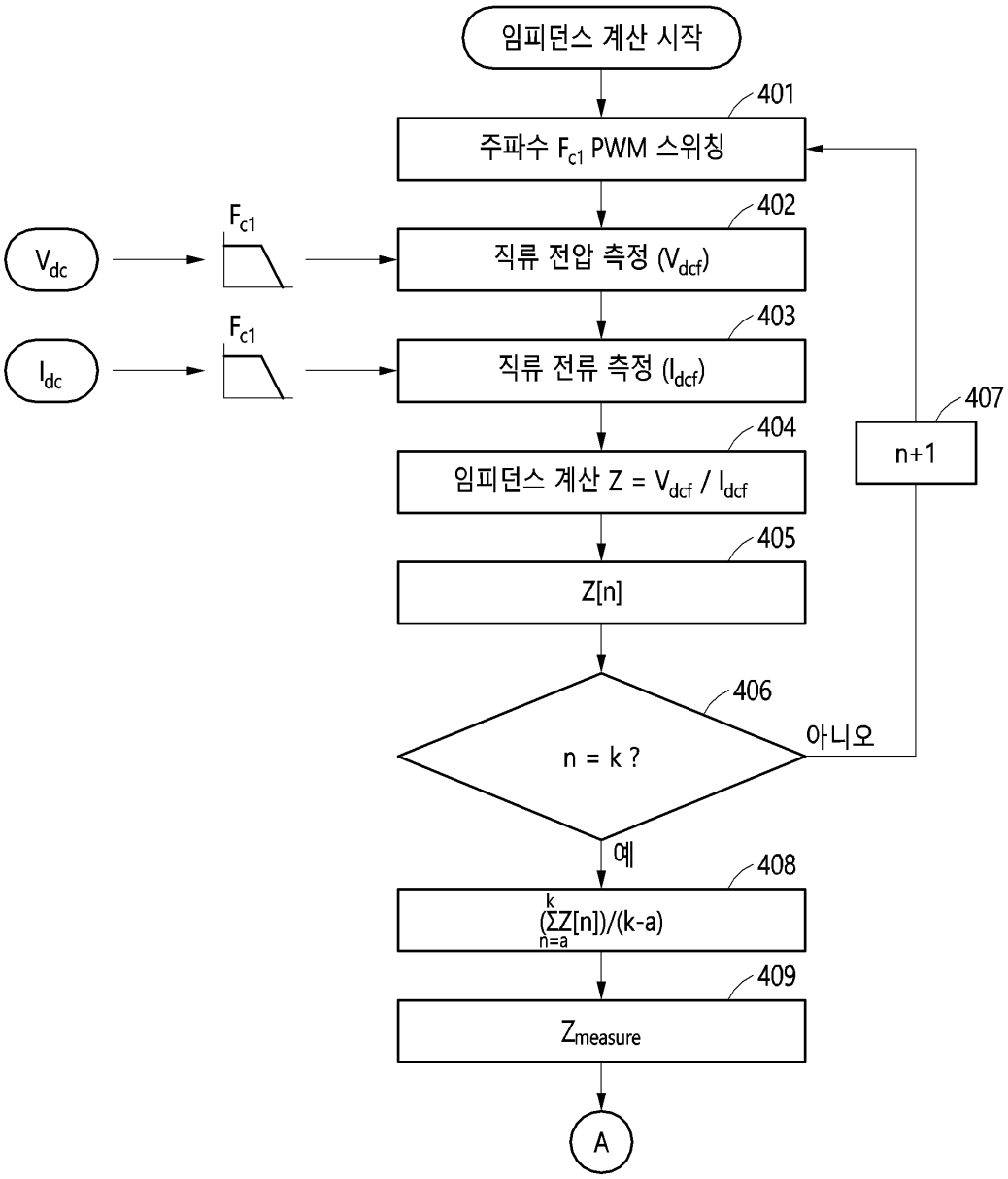
도면2


정류기
직류 전압센서
직류 전류센서
스위칭 소자
공진 커패시터
후판 가열용 패드 코일 및 후판
Gate Signal
Gate Signal
유도가열기 제어기
아날로그 전역통과필터
차단주파수1 f_{c1}
차단주파수2 f_{c2}
차단주파수1
차단주파수2
PWM LOGIC Gate Signal
현재 접속된 패드의 등가 임피던스 = $\frac{V_{dcf}}{I_{dcf}}$ = $Z_{measure}$
현재 접속된 패드 공진 주파수 PWM Period(T_{LIMIT}) = $f(Z_{measure})$
공진 주파수 진입 억제용 PWM 주기값 연산부
전류 제어기부
High Limit = SYSCLK/f_{c1}
전류지령값
PWM PERIOD
Low Limit = $F(Z_{measure})$

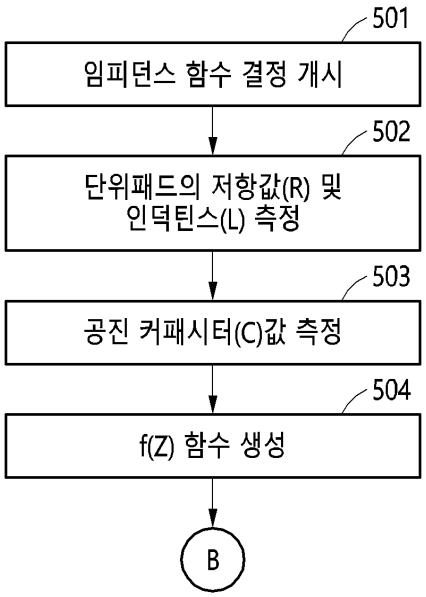
도면3


Z_{eq} VS $f(Z_{eq})$
$y=247.11x^{0.4182}$
3,000
2,000
1,000
-
0.00
20.00
40.00
60.00
80.00
100.00
120.00
140.00

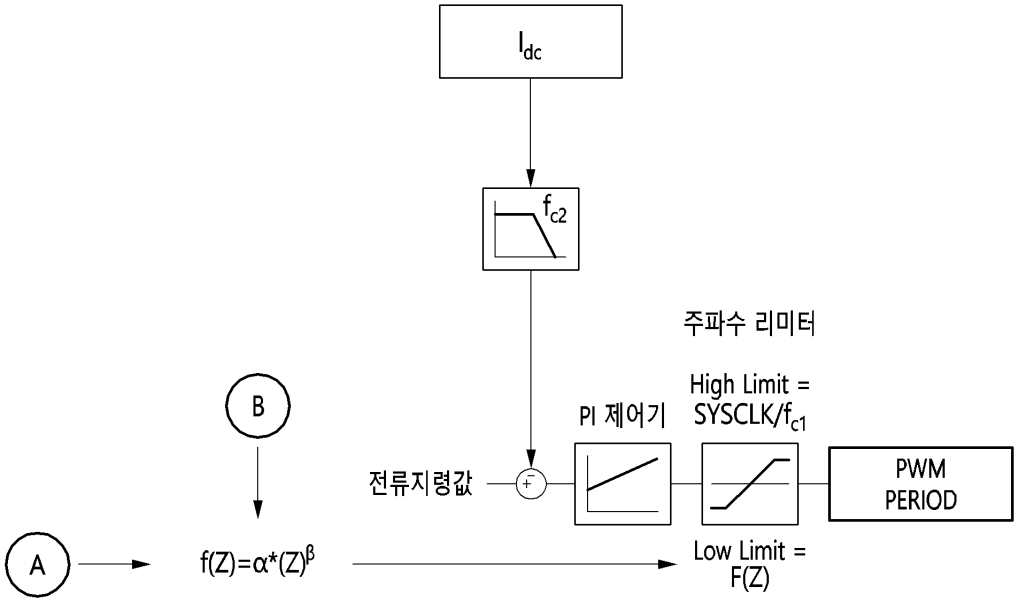
도면4


임피던스 계산 시작
401
주파수 F_{c1} PWM 스위칭
402
V_{dc}
F_{c1}
직류 전압 측정 (V_{dcf})
403
I_{dc}
F_{c1}
직류 전류 측정 (I_{dcf})
404
임피던스 계산 Z = V_{dcf} / I_{dcf}
405
Z[n]
406
n = k ?
아니오
407
n+1
예
408
$\frac{k}{n=a}(\Sigma Z[n])/(k-a)$
409
$Z_{measure}$
A

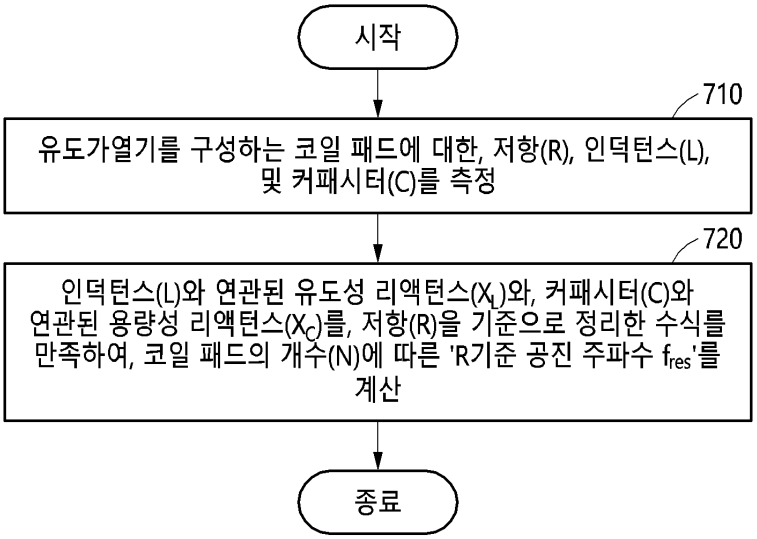
도면5


501
임피던스 함수 결정 개시
502
단위패드의 저항값(R) 및
인덕틴스(L) 측정
503
공진 커패시터(C)값 측정
504
f(Z) 함수 생성
B

도면6


I_{dc}
f_{c2}
주파수 리미터
High Limit =
SYSCLK/f_{c1}
PI 제어기
B
전류지령값
PWM
PERIOD
A
f(Z)=α*(Z)$^{\beta}$
Low Limit =
F(Z)

도면7


시작
710
유도가열기를 구성하는 코일 패드에 대한, 저항(R), 인덕턴스(L), 및 커패시터(C)를 측정
720
인덕턴스(L)와 연관된 유도성 리액턴스(X_L)와, 커패시터(C)와 연관된 용량성 리액턴스(X_C)를, 저항(R)을 기준으로 정리한 수식를 만족하여, 코일 패드의 개수(N)에 따른 'R기준 공진 주파수 f_{res}'를 계산
종료