



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년09월19일
(11) 등록번호 10-1065180
(24) 등록일자 2011년09월08일

(51) Int. Cl.
G01R 27/08 (2006.01) G01R 27/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0047423
(22) 출원일자 2009년05월29일
심사청구일자 2009년05월29일
(65) 공개번호 10-2010-0021964
(43) 공개일자 2010년02월26일
(30) 우선권주장
1020080080542 2008년08월18일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
JP10293143 A*
KR1020070097623 A*
KR100448840 B1
KR1020100051414 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
승실대학교산학협력단
서울 동작구 상도동 511
(72) 발명자
최우진
서울특별시 동작구 상도동 421 삼성래미안2차
202-1504
이주형
서울특별시 성북구 정릉3동 684-8 장미그린빌라
302호
(74) 대리인
송인호, 민영준, 최관락

전체 청구항 수 : 총 7 항

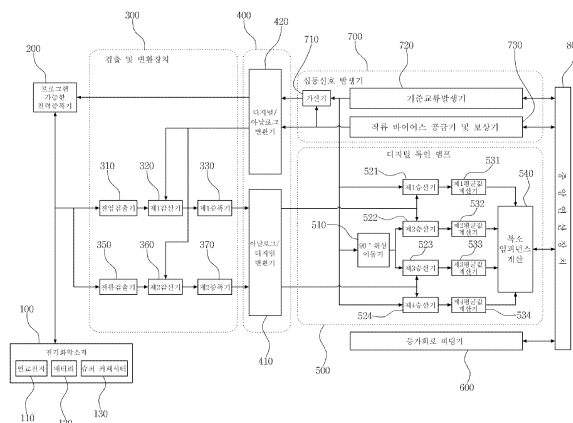
심사관 : 오경환

(54) 디지털 특인 애플를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법 및 측정 장치

(57) 요약

본 발명은 디지털 특인 애플를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법 및 측정 장치에 관한 것으로, 각종 전기적 회로, 선형 소자, 비선형 소자, 커패시터, 1차 전지, 2차 전지, 연료 전지 및 태양 전지와 같은 각종 전기 화학소자 등에 대하여 임피던스 스펙트럼을 측정하는 디지털 특인 애플를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법 및 측정 장치에 관한 것이다. 전기화학소자의 전압 및 전류 변화를 검출하는 검출 및 변환장치와; 상기 검출 및 변환장치에서 검출된 전압 및 전류를 원하는 표본 추출 속도로 디지털 신호로 변환하는 2채널의 아날로그/디지털 변환기와 2채널의 디지털/아날로그 변환기로 구성되는 DAQ 보드와; 상기 DAQ 보드에서 출력되는 주파수별 디지털 전압 및 전류값의 임피던스 스펙트럼을 계산하는 디지털 특인 애플와; 상기 디지털 특인 애플에서 연산된 결과값을 증가회로로 피팅시키는 증가회로 피팅기와; 상기 전기화학소자로 DC 성분에 섭동성분이 중첩된 전압 또는 전류를 얻어내기 위해 전력증폭기를 제어하는 섭동신호 발생기와; 상기 디지털 특인 애플와 증가회로 피팅기 및 섭동신호 발생기를 제어하는 중앙연산장치로 구성된다. 따라서, 본 발명은 디지털 특인 애플를 이용함으로써 FFT 방법에 비해 계산량을 줄였으며, 하드웨어 대신 소프트웨어로 작성하여 시스템의 경량화, 단순화 및 저가격화를 실현하고, 증가회로를 이용한 커브피팅에 있어, 연속재생기능을 이용하는 실시간 수동피팅기능을 제공함으로써 사용자에게 증가회로의 파라미터가 나이퀴스트 평면의 궤적에 어떠한 영향을 주는지 용이하게 알 수 있도록 하는 효과가 있다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 이용하여 전기화학소자(100)의 임피던스를 측정하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치에 있어서,

상기 전기화학소자(100)의 전압 및 전류 변화를 검출하는 검출 및 변환장치(300)와;

상기 검출 및 변환장치(300)에서 검출된 전압 및 전류를 원하는 표본 추출 속도로 디지털 신호로 변환하는 2채널의 아날로그/디지털 변환기(410)와 2채널의 디지털/아날로그 변환기(420)로 구성되는 DAQ 보드(400)와;

상기 DAQ 보드(400)에서 출력되는 주파수별 디지털 전압 및 전류값의 임피던스 스펙트럼을 계산하는 디지털 록인 앰프(500)와;

상기 디지털 록인 앰프(500)에서 연산된 결과값을 등가회로로 피팅시키는 등가회로 피팅기(600)와;

상기 전기화학소자(100)로부터 DC 성분에 섭동성분이 중첩된 전압 또는 전류를 얻어내기 위해 전력증폭기(200)를 제어하는 섭동신호 발생기(700)와;

상기 디지털 록인 앰프(500)와 등가회로 피팅기(600) 및 섭동신호 발생기(700)를 제어하는 중앙연산장치(800)로 구성되며,

상기 섭동신호 발생기(700)는 중앙연산장치(800)의 제어에 따라 섭동신호를 생성하는 기준교류발생기(720)와, 바이어스 신호 및 보상 신호의 생성을 위한 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)와, 상기 기준교류발생기(720)와 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)의 신호를 가산하는 가산기(710)로 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 검출 및 변환장치(300)는 전력증폭기(200)가 전기화학소자(100)로부터 유도한 전압 및 전류를 검출하는 전압검출기(310)와 전류검출기(350)가 구비되고, 상기 전압검출기(310)와 전류검출기(350) 및 디지털/아날로그 변환기(420)에서 출력되는 전압 및 전류에서 상기 디지털/아날로그 변환기(420)가 출력하는 바이어스 전압 및 전류를 각각 감산하는 제1,2감산기(320,360)와, 상기 제1,2감산기(320,360)의 출력신호를 증폭시켜 아날로그/디지털 변환기(410)로 입력시키는 제1,2증폭기(330,370)로 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 디지털 록인 앰프(500)는 상기 섭동신호 발생기(700)의 출력섭동신호와 아날로그/디지털 변환기(410)에서 출력된 검출 전압 및 전류를 곱하는 제1,4승산기(521,524)와, 상기 출력섭동신호를 90° 위상 이동시키기 위한 90° 위상 이동기(510)와, 상기 90° 위상 이동기(510)의 출력을 아날로그/디지털 변환기(410)에서 출력된 검출 전압 및 전류를 곱하는 제2,3승산기(522,523)와, 상기 제1~4승산기(521,522,523,524)의 출력 평균값을 계산하는 제1~4평균값 계산기(531,532,533,534)와, 상기 제1~4평균값 계산기(531,532,533,534)의 출력값으로부터 복소 임피던스를 계산하는 복소 임피던스 계산기(540)로 구성되는 것을 특징으로 하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치.

청구항 4

삭제

청구항 5

프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 이용하여 전기화학소자(100)의 임피던스를 측정하는 디지털 록인 앰프를 이

용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법에 있어서,

측정하고자 하는 전기화학소자(100)에 프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 이용하여 DC에 섭동성분이 중첩된 여기 전압(Excitation Voltage) 또는 여기 전류(Excitation Current)를 인가하는 제1단계(S10)와;

전기화학소자(100)에서 응답 신호인 전압 및 전류의 변화를 검출하여 중앙연산장치(800)의 제어에 따라 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)를 통해 출력하는 제2단계(S20)와;

상기 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)의 출력을 디지털/아날로그 변환기(420)에서 아날로그 신호로 변환시킨 전압 및 전류 바이어스를 제1,2감산기(320,360)에서 각각 감산하여 바이어스를 제거한 후 제1,2증폭기(330,370)에서 각각 증폭하여 출력하는 제3단계(S30)와;

상기 제1,2증폭기(330,370)에서 출력되는 전압 및 전류를 아날로그/디지털 변환기(410)에서 원하는 표본 추출 속도로 디지털 신호로 변환하고, 중앙연산장치(800)의 제어에 따라 기준교류발생기(720)에서 발생시킨 디지털 신호와 제1,4승산기(521,524)에서 각각 승산시킨 후 제1,4평균값 계산기(531,534)에서 평균값을 계산하여 복소 임피던스 계산기(540)로 출력하는 제4단계(S40)와;

상기 아날로그/디지털 변환기(410)에서 디지털 신호로 변환된 전압 및 전류는 기준교류발생기(720)에서 발생된 디지털 신호를 90° 위상 이동기(510)를 통해 90° 위상 이동시킨 디지털 기준 교류 신호와 제2,3승산기(522,523)에서 각각 승산시킨 후 제2,3평균값 계산기(532,533)에서 평균값을 계산하여 복소 임피던스 계산기(540)로 출력하는 제5단계(S50)와;

상기 복소 임피던스 계산기(540)는 제1,4평균값 계산기(531,534)와 제2,3평균값 계산기(532,533)의 출력값으로부터 주파수에서 전압 및 전류의 크기와 위상을 계산하여 임피던스를 계산하며, 지정된 측정 주파수 범위에서 반복 계산하여 임피던스를 측정하는 제6단계(S60)를 포함하는 것을 특징으로 하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 제6단계의 측정된 전압의 주파수 성분은 $Magnitude = \sqrt{Real^2 + Img^2}$ 를 이용하여 계산하는 것을 특징으로 하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법.

청구항 7

제 5항에 있어서,

$$Phase(\theta) = \arctan\left(\frac{Img}{Real}\right)$$

상기 제6단계의 위상은 $\frac{Img}{Real}$ 를 이용하여 계산하는 것을 특징으로하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법.

청구항 8

제 5항에 있어서,

$$Z'\theta_z = \frac{Vmagnitude}{Imagnitude} (\theta'_V - \theta'_I)$$

상기 제6단계의 임피던스는 $\frac{Vmagnitude}{Imagnitude} (\theta'_V - \theta'_I)$ 를 이용하여 계산된 측정 전압과 전류의 크기 및 위상을 이용하여 측정대상의 임피던스 값을 계산하는 것을 특징으로 하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법 및 측정 장치에 관한 것으로, 더욱 세부적으로는 각종 전기적 회로, 선형 소자, 비선형 소자, 커패시터, 1차 전지, 2차 전지, 연료 전지 및 태양 전지와 같은 각종 전기 화학소자 등에 대하여 임피던스 스펙트럼을 측정하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법 및 측정 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 종래의 임피던스 스펙트럼 측정 방법으로는 일정 주파수의 주기적 여기 신호를 인가하고, 주파수 응답 분석기(Frequency response analyzer)와 같은 위상 감지장치로 스펙트럼을 측정하는 것이 널리 사용되고 있다. 미국특허 US 4,196,475 및 US 3,634,760은 단일 주파수에서의 응답 특성에 대한 상세한 분석 방법을 제시하고 있다.

[0003] 그러나, 상기 미국특허 US 4,196,475 및 US 3,634,760의 측정방법은 신호 발생기 및 위상 감지기 등과 같은 복잡한 하드웨어를 포함하는 고가의 장치를 사용해야 되는 문제점이 있다. 정현파를 여기신호로 하여 응답신호를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform : 이하, 'FFT' 라고 약칭 함)하는 측정 방법(G. S. Popkirov and R. N. schindler, Rev. Sci. Instrum. 63, 5336 (1992) 참조)을 이용할 경우에는 위상 감지기를 사용하지 않으나, FFT 방법은 복잡한 형태의 신호 발생기와 대용량의 기억장치를 필요로 하는 문제점이 있다.

[0004] 또한, 현재까지 개발된 대부분의 장비는 그 측정 전압 및 전류영역이 수 볼트 및 수 암페어 정도이며, 이보다 큰 정격을 가진 대용량 소자를 측정하기 위해서는 부스터와 전압 분배회로를 별도로 설치하여야 하므로, 경제적 부담이 가중되고 시스템의 부피도 매우 커지며, 신뢰성도 낮아지는 단점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0005] 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명에서는 각종 전기적 회로, 선형 소자, 비선형 소자, 커패시터, 1차 전지, 2차 전지, 연료 전지 및 태양 전지와 같은 각종 전기화학소자의 임피던스 스펙트럼을 저가로 측정하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법 및 측정 장치를 제공하는데 목적이 있다.

[0006] 상기와 같은 목적은 센서로부터 측정된 주파수별 전압 및 전류 데이터로부터 디지털 록인 앰프(Digital Lock-in Amplifier)를 이용하여 측정대상의 주파수별 임피던스를 계산하므로, 요구되는 하드웨어의 크기를 최소화할 수 있어 시스템의 가격을 낮출 수 있고, 측정결과를 수동소자로 구성된 등가회로에 수동 피팅(Manual Fitting)하는 기능을 제공함으로써 수학적 방법을 통하여 등가회로의 파라미터만 계산하는 방식과 달리 주어지는 초기값에 따라 결과가 수렴하지 않는 문제가 없고, 등가회로의 파라미터가 임피던스 스펙트럼의 형태에 미치는 영향을 시각적으로 확인하면서 피팅을 수행할 수 있다.

과제 해결수단

[0007] 목적을 달성하기 위한 구성으로는 전기화학소자의 전압 및 전류 변화를 검출하는 검출 및 변환장치와; 상기 검출 및 변환장치에서 검출된 전압 및 전류를 원하는 표본 추출 속도로 디지털 신호로 변환하는 2채널의 아날로그/디지털 변환기와 2채널의 디지털/아날로그 변환기로 구성되는 DAQ 보드와; 상기 DAQ 보드에서 출력되는 주파수별 디지털 전압 및 전류값의 임피던스 스펙트럼을 계산하는 디지털 록인 앰프와; 상기 디지털 록인 앰프에서 연산된 결과값을 등가회로로 피팅시키는 등가회로 피팅기와; 상기 전기화학소자로부터 DC 성분에 섭동성분이 중첩된 전압 또는 전류를 얻어내기 위해 전력증폭기를 제어하는 섭동신호 발생기와; 상기 디지털 록인 앰프와 등가회로 피팅기 및 섭동신호 발생기를 제어하는 중앙연산장치로 구성된다.

[0008] 본 발명의 다른 특징으로서, 상기 검출 및 변환장치는 전력증폭기가 전기화학소자로부터 유도한 전압 및 전류를 검출하는 전압검출기와 전류검출기가 구비되고, 상기 전압검출기와 전류검출기 및 디지털/아날로그 변환기에서 출력되는 전압 및 전류에서 상기 디지털/아날로그 변환기가 출력하는 바이어스 전압 및 전류를 각각 감산하는 제1,2감산기와, 상기 제1,2감산기의 출력신호를 증폭시켜 아날로그/디지털 변환기로 입력시키는 제1,2증폭기로 구성된다.

[0009] 본 발명의 또 다른 특징으로서, 상기 디지털 록인 앰프는 상기 섭동신호 발생기의 출력섭동신호와 아날로그/디

지털 변환기에서 출력된 검출 전압 및 전류를 곱하는 제1,4승산기와, 상기 출력섭동신호를 90° 위상 이동시키기 위한 90° 위상 이동기와, 상기 90° 위상 이동기의 출력을 아날로그/디지털 변환기에서 출력된 검출 전압 및 전류를 곱하는 제2,3승산기와, 상기 제1~4승산기의 출력 평균값을 계산하는 제1~4평균값 계산기와, 상기 제1~4평균값 계산기의 출력값으로부터 복소 임피던스를 계산하는 복소 임피던스 계산기로 구성된다.

[0010] 본 발명의 또 다른 특징으로서, 상기 섭동신호 발생기는 중앙연산장치의 제어에 따라 섭동신호를 생성하는 기준 교류발생기와, 바이어스 신호 및 보상 신호의 생성을 위한 직류 바이어스 공급기 및 보상기와, 상기 기준교류발생기와 직류 바이어스 공급기 및 보상기의 신호를 가산하는 가산기로 구성된다.

[0011] 목적을 달성하기 위한 방법으로는 측정하고자 하는 전기화학소자에 프로그램 가능한 전력증폭기를 이용하여 DC에 섭동성분이 중첩된 여기 전압(Excitation Voltage) 또는 여기 전류(Excitation Current)를 인가하는 제1단계와; 전기화학소자에서 응답 신호인 전압 및 전류의 변화를 검출하여 중앙연산장치의 제어에 따라 직류 바이어스 공급기 및 보상기를 통해 출력하는 제2단계와; 상기 직류 바이어스 공급기 및 보상기의 출력을 디지털/아날로그 변환기에서 아날로그 신호로 변환시킨 전압 및 전류 바이어스를 제1,2감산기에서 각각 감산하여 바이어스를 제거한 후 제1,2증폭기에서 각각 증폭하여 출력하는 제3단계와; 상기 제1,2증폭기에서 출력되는 전압 및 전류를 아날로그/디지털 변환기에서 원하는 표본 추출 속도로 디지털 신호로 변환하고, 중앙연산장치의 제어에 따라 기준교류발생기에서 발생시킨 디지털 신호와 제1,4승산기에서 각각 승산시킨 후 제1,4평균값 계산기에서 평균값을 계산하여 복소 임피던스 계산기로 출력하는 제4단계와; 상기 아날로그/디지털 변환기에서 디지털 신호로 변환된 전압 및 전류는 기준교류발생기에서 발생된 디지털 신호를 90° 위상 이동기를 통해 90° 위상 이동시킨 디지털 기준 교류 신호와 제2,3승산기에서 각각 승산시킨 후 제2,3평균값 계산기에서 평균값을 계산하여 복소 임피던스 계산기로 출력하는 제5단계와; 상기 복소 임피던스 계산기는 제1,4평균값 계산기와 제2,3평균값 계산기의 출력값으로부터 주파수에서 전압 및 전류의 크기와 위상을 계산하여 임피던스를 계산하며, 지정된 측정 주파수 범위에서 반복 계산하여 임피던스를 측정하는 제6단계를 포함한다.

효 과

[0012] 상기한 바와 같이, 본 발명은 디지털 록인 앰프를 이용함으로써 FFT 방법에 비해 계산량을 줄였으며, 하드웨어 대신 소프트웨어로 작성하여 시스템의 경량화, 단순화 및 저가격화를 실현하고, 등가회로를 이용한 커브피팅에 있어, 연속재생기능을 이용하는 실시간 수동피팅 기능을 제공함으로써 사용자에게 등가회로의 파라미터가 나이퀴스트 평면의 궤적에 어떠한 영향을 주는지 용이하게 알 수 있도록 하는 효과가 있다.

[0013] 또한, 대용량 소자의 측정에 있어서 부스터나 전압분배회로를 사용하지 않고 직접 임피던스의 스펙트럼을 측정할 수 있게 하므로 다수의 대용량 소자를 동시에 측정해야 하는 경우 매우 편리하고 경제적인 솔루션이 되는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0014] 도 1은 본 발명에 따른 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치의 구성을 나타낸 블럭도이고, 도 2는 본 발명에 따른 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치의 동작 상태도이고, 도 3은 본 발명에 따른 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정과정을 나타낸 흐름도이고, 도 4는 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 하드웨어 셋팅 및 실험조건 설정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면이고, 도 5는 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면이고, 도 6은 본 발명에 따른 등가회로를 이용한 측정결과와 수동 피팅의 바람직한 실시 예를 도시한 화면이고, 도 7은 본 발명에 따른 다수의 동작점에서 측정된 측정대상의 동작 점별 임피던스를 보간하여 나타낸 3차원 임피던스 그래프이고, 도 8은 본 발명과 상용장비를 이용하여 Ballard사의 Nexa 1.2kW 고분자 전해질 연료전지를 측정한 임피던스 비교 그래프이고, 도 9는 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 Ballard사의 Nexa 1.2kW 고분자 전해질 연료전지의 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면이고, 도 10은 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 Maxwell사의 2.7V 2600F Boostcap Supercapacitor의 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면이고, 도 11은 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 S-Energy사의 80W 태양전지의 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면이다.

[0015] 이하, 도면을 참고로 구성요소를 설명하면 다음과 같다.

[0016] 도 1은 본 발명의 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치의 구성을 나타낸 블럭도로서, 임피던스를 측정할 전기화학소자(100)는 도면에 도시되는 연료전지(110)와 배터리(120) 및 슈퍼 커패시

터(130) 외에도 전기적 회로, 선형 소자, 비선형 소자, 1차 전지, 2차 전지 및 태양 전지 등을 포함하며, 프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 이용하여 상기 전기화학소자(100)의 임피던스를 측정한다.

- [0017] 상기 프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 이용하여 전기화학소자(100)의 임피던스를 측정하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치의 구성은 검출 및 변환장치(300), DAQ 보드(400), 디지털 록인 앰프(Digital Lock-in Amplifier)(500), 등가회로 피팅기(600), 섭동신호 발생기(700) 및 중앙연산장치(800)로 구성된다.
- [0018] 상기 검출 및 변환장치(300)는 전기화학소자(100)의 전압 및 전류 변화를 검출하는 것으로, 전력증폭기(200)가 전기화학소자(100)로부터 유도한 전압 및 전류를 검출하는 전압검출기(310)와 전류검출기(350)가 구비되고, 상기 전압검출기(310)와 전류검출기(350) 및 디지털/아날로그 변환기(420)에서 출력되는 전압 및 전류에서 상기 디지털/아날로그 변환기(420)가 출력하는 바이어스 전압 및 전류를 각각 감산하는 제1,2감산기(320,360)와, 상기 제1,2감산기(320,360)의 출력신호를 증폭시켜 아날로그/디지털 변환기(410)로 입력시키는 제1,2증폭기(330,370)로 구성된다.
- [0019] 상기 DAQ 보드(400)는 상기 검출 및 변환장치(300)에서 검출된 전압 및 전류를 원하는 표본 추출 속도로 디지털 신호로 변환하는 2채널의 아날로그/디지털 변환기(410)와 2채널의 디지털/아날로그 변환기(420)로 구성된다.
- [0020] 상기 디지털 록인 앰프(500)는 상기 DAQ 보드(400)에서 출력되는 주파수별 디지털 전압 및 전류값의 임피던스 스펙트럼을 계산하는 것으로, 섭동신호 발생기(700)의 출력섭동신호와 아날로그/디지털 변환기(410)에서 출력된 검출 전압 및 전류를 곱하는 제1,4승산기(521,524)와, 상기 출력섭동신호를 90° 위상 이동시키기 위한 90° 위상 이동기(510)와, 상기 90° 위상 이동기(510)의 출력을 아날로그/디지털 변환기(410)에서 출력된 검출 전압 및 전류를 곱하는 제2,3승산기(522,523)와, 상기 제1~4승산기(521,522,523,524)의 출력 평균값을 계산하는 제1~4평균값 계산기(531,532,533,534)와, 상기 제1~4평균값 계산기(531,532,533,534)의 출력값으로부터 복소 임피던스를 계산하는 복소 임피던스 계산기(540)로 구성된다.
- [0021] 상기 등가회로 피팅기(600)는 상기 디지털 록인 앰프(500)에서 연산된 결과값을 등가회로로 피팅시킨다.
- [0022] 상기 섭동신호 발생기(700)는 전기화학소자(100)로부터 DC 성분에 섭동성분이 중첩된 전압 또는 전류를 얻어내기 위해 전력증폭기(200)를 제어하기 위한 전압신호이며, 중앙연산장치(800)의 제어에 따라 섭동신호를 생성하는 기준교류발생기(720)와, 바이어스 신호 및 보상 신호의 생성을 위한 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)와, 상기 기준교류발생기(720)와 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)의 신호를 가산하는 가산기(710)로 구성된다.
- [0023] 상기 중앙연산장치(800)는 상기 디지털 록인 앰프(500)와 등가회로 피팅기(600) 및 섭동신호 발생기(700)를 제어한다.
- [0024] 도 2는 본 발명의 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치의 동작 상태도로서, 측정할 전류 동작점과 섭동 크기 및 측정할 주파수 범위를 정하면 기준 정현파 신호가 만들어지고, 상기 기준 정현파 신호는 DAQ 보드를 통해 디지털/아날로그로 변환되어 전력증폭기(200)를 제어하게 되며, 제어가능한 전력증폭기(200)는 기준 정현파 신호와 같은 형태로 전기화학적 전력기기로부터 전류를 끌어낸다.
- [0025] 이때, 전기화학적 전력기기에서 제어가능한 전력증폭기(200)로 흐르는 전류는 센서를 이용하여 측정하고 DAQ 보드의 입력에 알맞게 신호를 변환하며, 전기화학적 전력기기에서 제어가능한 전력증폭기(200) 간의 전압은 전압을 분배하여 측정 및 DAQ 보드의 입력에 맞도록 신호를 변환한다.
- [0026] 이렇게 측정된 신호는 각 채널간 동시샘플링이 되는 DAQ 보드로 아날로그/디지털 변환되어 컴퓨터의 메모리에 적재되며, 상기와 같이 취득한 전압과 전류의 파형을 각각 기준 정현파신호와 곱하고 평균을 내어 실수 성분을 구하고, 90° 위상 이동된 파형과 곱하고 평균을 내어 허수 성분을 구하며, 이러한 계산과정을 통해 측정된 전류와 전압의 파형이 잡음에 묻혀 있어도 기준 정현파신호와 같은 주파수 성분의 실수 성분과 허수 성분을 정확히 추출할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 이용하여 연료전지(110)나 배터리(120) 또는 슈퍼 커패시터(130)와 같은 전기화학소자(100)의 임피던스를 측정하는 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0028] 측정하고자 하는 전기화학소자(100)에 프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 이용하여 DC에 섭동성분이 중첩된 여기 전압(Excitation Voltage) 또는 여기 전류(Excitation Current)를 인가하고(S10 단계), 전기화학소자(100)

에서 응답 신호인 전압 및 전류의 변화를 검출하여 중앙연산장치(800)의 제어에 따라 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)를 통해 출력한다(S20 단계).

[0029] 상기 직류 바이어스 공급기 및 보상기(730)의 출력을 디지털/아날로그 변환기(420)에서 아날로그 신호로 변환시킨 전압 및 전류 바이어스를 제1,2감산기(320,360)에서 각각 감산하여 바이어스를 제거한 후 제1,2증폭기(330,370)에서 각각 증폭하여 출력한다(S30 단계).

[0030] 상기 제1,2증폭기(330,370)에서 출력되는 전압 및 전류를 아날로그/디지털 변환기(410)에서 원하는 표본 추출 속도로 디지털 신호로 변환하고, 중앙연산장치(800)의 제어에 따라 기준교류발생기(720)에서 발생시킨 디지털 신호와 제1,4승산기(521,524)에서 각각 승산시킨 후 제1,4평균값 계산기(531,534)에서 평균값을 계산하여 복소 임피던스 계산기(540)로 출력한다(S40 단계).

[0031] 상기 아날로그/디지털 변환기(410)에서 디지털 신호로 변환된 전압 및 전류는 기준교류발생기(720)에서 발생된 디지털 신호를 90° 위상 이동기(510)를 통해 90° 위상 이동시킨 디지털 기준 교류 신호와 제2,3승산기(522,523)에서 각각 승산시킨 후 제2,3평균값 계산기(532,533)에서 평균값을 계산하여 복소 임피던스 계산기(540)로 출력한다(S50 단계).

[0032] 상기 복소 임피던스 계산기(540)는 제1,4평균값 계산기(531,534)와 제2,3평균값 계산기(532,533)의 출력값으로부터 주파수에서 전압 및 전류의 크기와 위상을 계산하여 임피던스를 계산하며, 지정된 측정 주파수 범위에서 반복 계산하여 임피던스를 측정한다(S60 단계).

[0033] 상기와 같이, 본 발명은 시간 영역에서의 여기 신호에 대하여 측정된 응답 특성을 디지털 록인 앰프(500)를 이용하여 해당 주파수의 성분을 정확히 추출하고, 해당 주파수에서의 임피던스를 계산하며, 지정된 주파수 영역에서 동일한 측정을 반복 실시함으로써 소정의 주파수 영역의 임피던스 스펙트럼을 제공한다.

[0034] 도 3은 본 발명의 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정과정을 나타낸 흐름도로서, 먼저 실행모드를 선택하는데, 선택한 실행모드가 측정실험 모드일 경우에 오프셋과 섭동의 크기, 주파수 범위 등을 포함하는 제어변수를 입력 및 세팅하고, 중앙연산장치(800)의 제어에 따라 섭동신호 발생기(700)에서 발생된 오프셋에 기준교류신호가 중첩된 신호를 디지털/아날로그 변환기(420)로 출력된 신호를 통해 프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 제어하여 전기화학소자(100)에 정전류 또는 정전압을 여기 신호로 인가(전기화학소자로부터 전류 또는 전압을 방생시킴)한다.

[0035] 상기 인가된 여기 신호에 따른 전기화학소자(100)의 전압 V(t) 및 전류 I(t) 변화를 디지털 신호로 변환하여 디지털 록인 앰프(500)를 이용하여 측정 주파수 성분을 검출하고, 복소 임피던스를 계산하여 보드선도(Bode Plot) 또는 나이퀴스트선도(Nyquist Plot)를 그리며, 이러한 시험은 다수의 운전점(오프셋)에서 반복 실시될 경우 보간을 통한 전 운전점에 대한 임피던스의 3차원 그래프를 그린다.

[0036] 선택한 모드가 분석모드일 경우에 도 4와 같은 등가회로를 선택하고, 각 주파수에서 측정데이터와 등가회로의 임피던스간의 통계적인 측정의 오차는 하기의 수학적 식 2와 같은 최소자승법을 이용하여 카이스퀘어(Chi-Square)를 계산하고, 이 값이 적정한 범위에 들어오는 경우 선택된 등가회로는 측정값을 대변하는 회로가 된다. 이때 통계적인 측정의 오차는 하기의 수학적 식 2로부터 산출할 수 있다.

수학적 식 1

[0037]
$$V_T = \frac{RT}{F} (R=8.314[\text{J/mole-K}], T=\text{Temp}[\text{K}], F=96485[\text{C/equiv}])$$

수학적 식 2

[0038]
$$X^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Y_i - f(X_i)}{\sigma_i} \right]^2$$

[0039] 측정대상인 전기화학소자(100)에 중앙연산장치(800)를 이용하여 프로그램 가능한 전력증폭기(200)를 제어하여 원하는 동작점을 설정하고, 전류 또는 전압의 섭동 신호를 인가하는데 측정계의 선형성을 유지하기 위해서 섭동 전류에 의한 응답전압이나 섭동전압의 크기는 상기의 수학적 식 1에 표기된 범위 내에서 결정되어야 한다.

[0040] 표본 추출 주파수 f_s 는 하기의 수학식 3과 같이 측정하고자 하는 최대 주파수 f_{max} 로부터 선택된다.

수학식 3

$$f_s \geq 2f_{max}$$

[0041]

[0042] 아날로그/디지털 변환기(410)를 통해 디지털로 변환된 측정계의 전압 응답은 디지털 록인 앰프(500)로 전달되어, 기준교류발생기(720)에서 발생하는 섭동에 사용된 동일한 주파수의 기준신호와 디지털로 변환된 전압 응답이 제1승산기(521)에서 곱해져 제1평균값 계산기(531)에서 평균값이 계산된다.

[0043] 또한, 상기 디지털로 변환된 전압응답은 기준교류발생기(720)에서 발생되어 섭동에 사용된 동일한 주파수의 기준신호를 90° 위상 이동기(510)에서 90° 위상 이동시킨 신호와 제2승산기(522)에서 곱하여 제2평균값 계산기(532)에서 평균값을 계산한다.

[0044] 상기 제1,2평균값 계산기(531,532)의 출력은 하기의 수학식 4를 이용하여 측정된 전압의 해당 주파수 성분을 계산하고, 수학식 5를 이용하여 위상을 계산한다.

수학식 4

$$Magnitude = \sqrt{Real^2 + Img^2}$$

[0045]

수학식 5

$$Phase(\theta) = \arctan\left(\frac{Img}{Real}\right)$$

[0046]

[0047] 한편, 아날로그/디지털 변환기(410)를 통해 디지털로 변환된 측정계의 전류 응답은 디지털 록인 앰프(500)로 전달되어, 기준교류발생기(720)에서 발생하는 섭동에 사용된 동일한 주파수의 기준신호와 디지털로 변환된 전류응답은 제3승산기(523)에서 곱해져 제3평균값 계산기(533)에서 평균값이 계산된다.

[0048] 또한, 상기 디지털로 변환된 전류응답은 기준교류발생기(720)에서 발생되어 섭동에 사용된 동일한 주파수의 기준신호를 90° 위상 이동기(510)에서 90° 위상 이동시킨 신호와 제4승산기(524)에서 곱하여 제4평균값 계산기(534)에서 평균값을 계산한다.

[0049] 상기 제3,4평균값 계산기(533,534)의 출력은 상기의 수학식 4를 이용하여 측정된 전류의 해당 주파수 성분을 계산하고, 수학식 5를 이용하여 위상을 계산한다.

[0050] 해당 주파수에서의 측정대상 임피던스 값은 하기의 수학식 6에 의해 계산된 측정 전압과 전류의 크기 및 위상을 이용하여 계산한다.

수학식 6

$$Z'_{\theta_z} = \frac{Vmagnitude}{Imagnitude} (\theta'_V - \theta'_I)$$

[0051]

<실시 예>

[0052]

[0053] 도 1과 같은 시스템을 꾸미고 Ballard 사의 1.2kW PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, 이하 'PEMFC'라 함) 스택을 이용하여 25 암페어의 동작점에서 본 발명의 임피던스 측정 장치를 이용하여 임피던스 스펙트럼을 측정하였다.

[0054] 도 4의 측정모드의 초기화면으로 하드웨어의 초기화, 실험 주파수 범위 지정, 섭동신호의 크기 지정 등 실험 조건을 초기화하는 과정을 나타내며, 화면에는 기준교류신호 전압을 나타내고 있다.

[0055] 도 5에서는 운전 중인 상기 Ballard 사의 1.2kW PEMFC를 대상으로 록인 앰프를 이용하여 측정 주파수의 범위 20mHz ~ 1kHz에서 측정된 복소 임피던스 스펙트럼을 나타낸다.

- [0056] 도 6은 상기 Ballard 사의 1.2kW PEMFC를 이용하여 측정된 임피던스 스펙트럼을 나타낸 등가회로를 이용하여 피팅하는 화면으로, 각 파라미터에 해당하는 슬라이드 바를 조정하여 파라미터 값을 바꾸면 상기 수학적 2에 의해 계산된 측정결과와 등가회로간의 통계적 편차의 비율이 자동적으로 계산되어 수동 피팅을 가능하게 하며, 같은 방법으로 다수의 운전점에서 측정된 데이터를 보간하여 3차원 그래프로 표현한 그래프가 도 7에 도시되어 있으며, 도 8에는 본 발명의 측정 장치와 방법의 정확성을 상용 장비와 비교하여 나타낸 보드 플롯으로 측정이 정확히 이루어지고 있음을 나타낸다.
- [0057] 도 9에서는 운전 중인 상기 Ballard사의 1.2kW PEMFC를 대상으로 본 발명을 이용하여 측정 주파수의 범위 20mHz ~ 1kHz에서 측정한 복소 임피던스 스펙트럼을 나타내고, 도 10에서는 Maxwell사의 2.7V 2600F Boostcap Supercapacitor를 대상으로 본 발명을 이용하여 측정 주파수의 범위 1mHz ~ 1kHz에서 측정한 복소 임피던스 스펙트럼을 나타내고, 도 11에서는 S-Energy사의 80W 태양전지를 대상으로 본 발명을 이용하여 측정 주파수의 범위 10Hz ~ 25kHz에서 측정한 복소 임피던스 스펙트럼을 나타낸다.
- [0058] 따라서, 본 발명은 각종 전기적 회로, 선형 소자, 비선형 소자, 커패시터, 1차 전지, 2차 전지, 연료 전지 및 태양 전지와 같은 각종 전기화학소자의 임피던스 스펙트럼을 저가로 측정할 수 있으며, 전기적 또는 전기 화학적 장치의 임피던스 스펙트럼 측정 기술은 전자회로의 특성 진단, 재료의 평가, 부식 방지, 전지의 특성 평가, 품질 관리 및 용량 예측 등에 다양하게 적용될 수 있다.
- [0059] 본 발명은 특정의 실시 예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 첨부된 특허청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 개조 및 변화가 가능하다는 것을 당업계에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

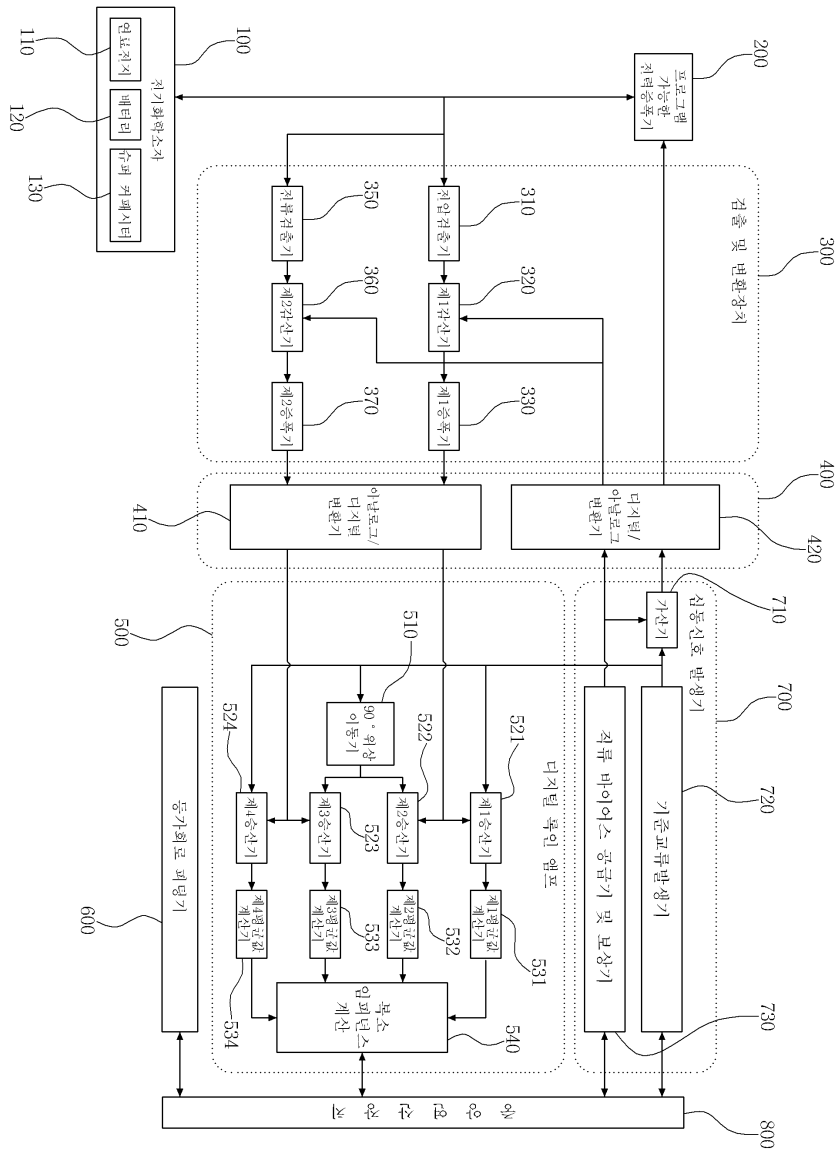
도면의 간단한 설명

- [0060] 도 1은 본 발명에 따른 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치의 구성을 나타낸 블럭도.
- [0061] 도 2는 본 발명에 따른 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정 장치의 동작 상태도.
- [0062] 도 3은 본 발명에 따른 디지털 록인 앰프를 이용한 대용량 전기화학기기의 임피던스 측정과정을 나타낸 흐름도.
- [0063] 도 4는 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 하드웨어 셋팅 및 실험조건 설정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면.
- [0064] 도 5는 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면.
- [0065] 도 6은 본 발명에 따른 등가회로를 이용한 측정결과와 수동 피팅의 바람직한 실시 예를 도시한 화면.
- [0066] 도 7은 본 발명에 따른 다수의 동작점에서 측정된 측정대상의 동작 점별 임피던스를 보간하여 나타낸 3차원 임피던스 그래프.
- [0067] 도 8은 본 발명과 상용장비를 이용하여 Ballard사의 Nexa 1.2kW 고분자 전해질 연료전지를 측정한 임피던스 비교 그래프.
- [0068] 도 9는 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 Ballard사의 Nexa 1.2kW 고분자 전해질 연료전지의 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면.
- [0069] 도 10은 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 Maxwell사의 2.7V 2600F Boostcap Supercapacitor의 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면.
- [0070] 도 11은 본 발명에 따른 데이터 수집모드에서 S-Energy사의 80W 태양전지의 임피던스 스펙트럼 측정의 바람직한 실시 예를 도시한 화면.
- [0071] <도면의 주요 부분에 대한 부호 설명>
- [0072] 100 : 전기화학소자 110 : 연료전지
- [0073] 120 : 배터리 130 : 슈퍼 커패시터
- [0074] 200 : 전력증폭기 300 : 검출 및 변환장치
- [0075] 310 : 전압검출기 320,360 : 제1,2감산기

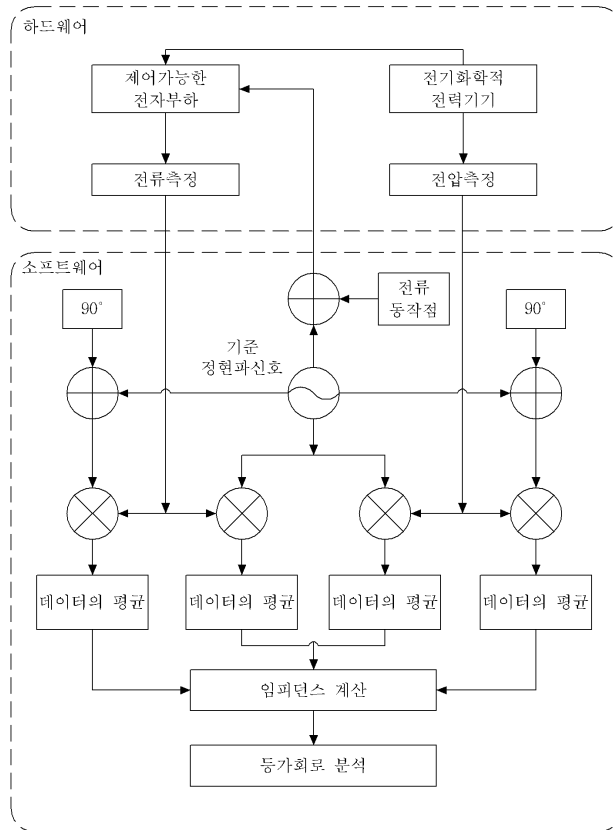
- [0076] 330, 370 : 제1, 2 증폭기 350 : 전류검출기
- [0077] 400 : DAQ 보드 410 : 아날로그/디지털 변환기
- [0078] 420 : 디지털/아날로그 변환기 500 : 디지털 복인 앰프
- [0079] 510 : 90° 위상 이동기 521, 522, 523, 524 : 제1~4 증산기
- [0080] 531, 532, 533, 534 : 제1~4 평균값 계산기 540 : 복소 임피던스 계산기
- [0081] 600 : 등가회로 피팅기 700 : 섭동신호 발생기
- [0082] 710 : 가산기 720 : 기준교류발생기
- [0083] 730 : 직류 바이어스 공급기 및 보상기 800 : 중앙연산장치

도면

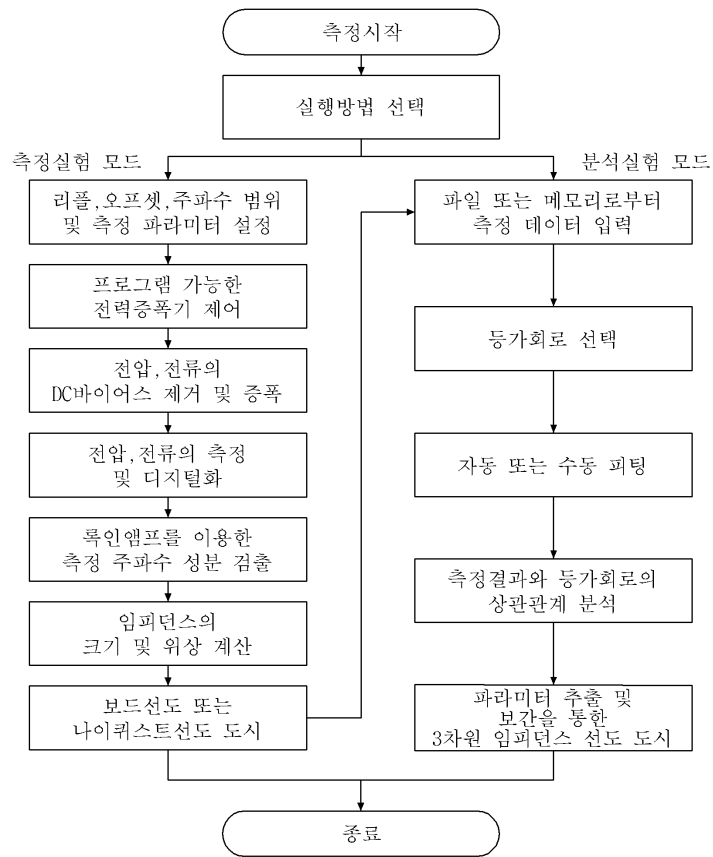
도면1



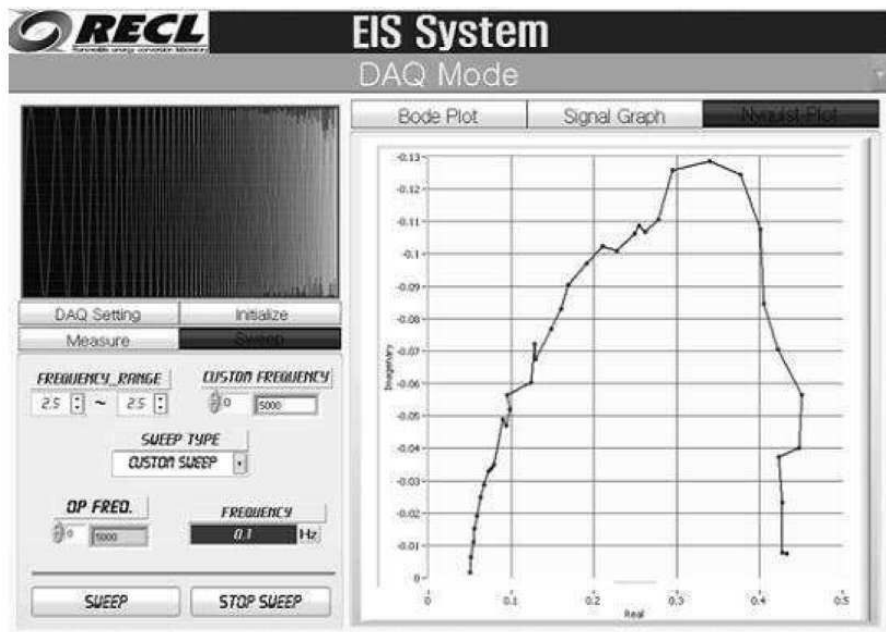
도면2



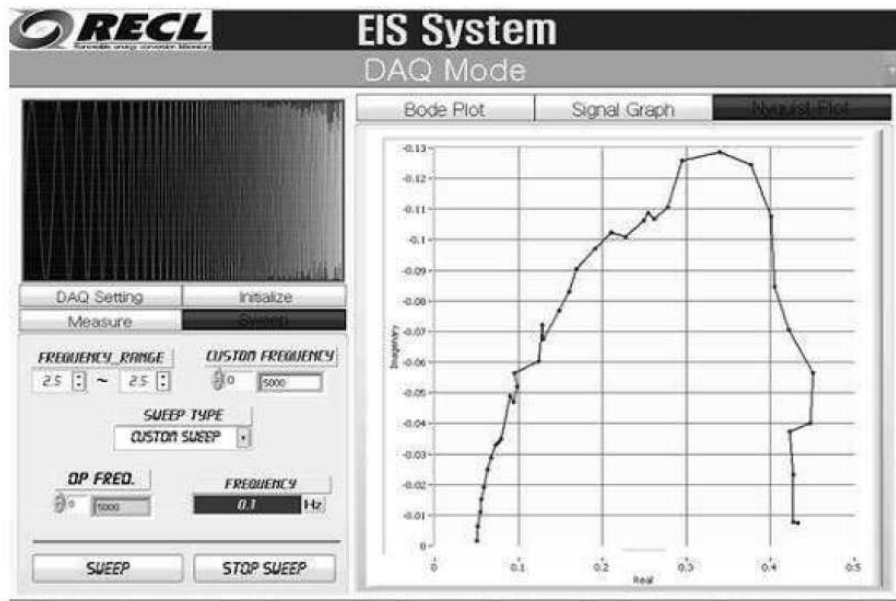
도면3



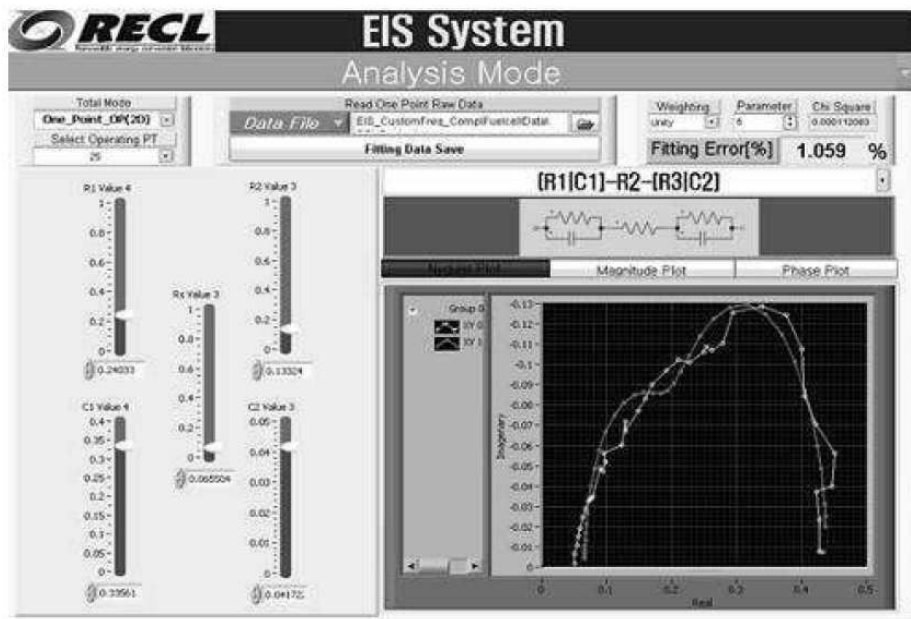
도면4



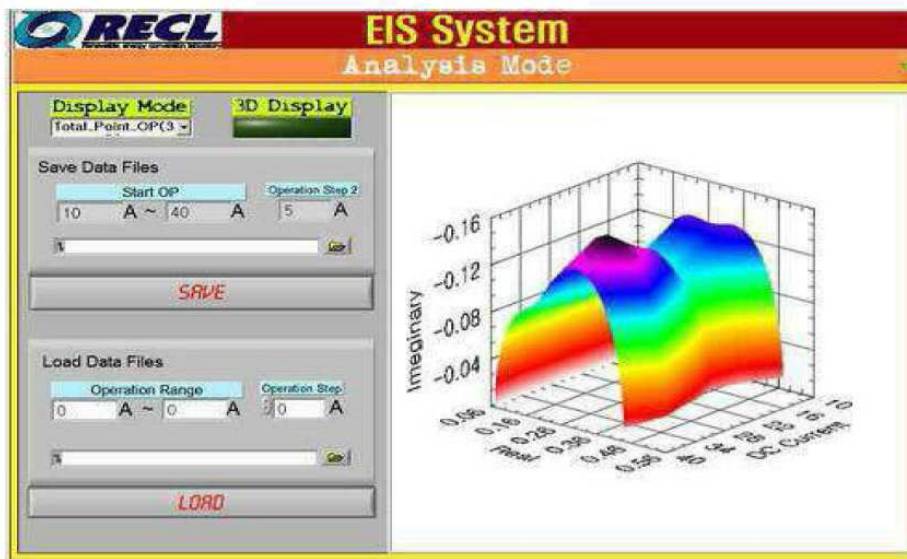
도면5



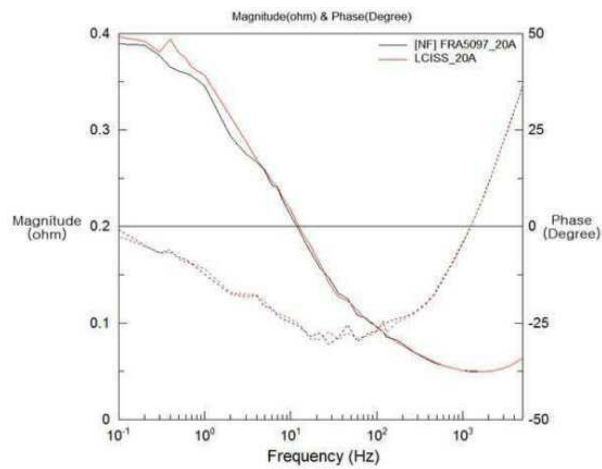
도면6



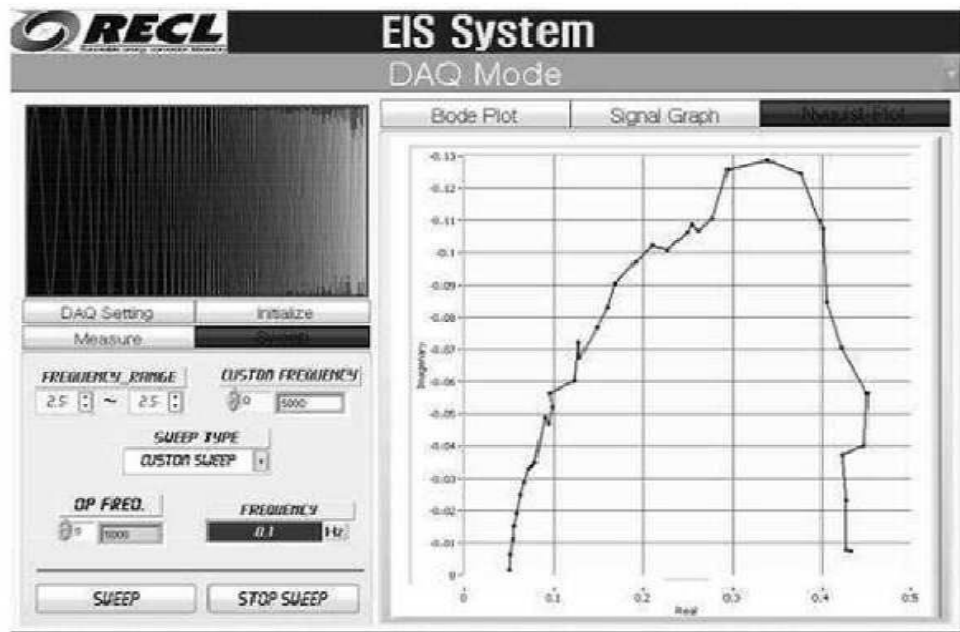
도면7



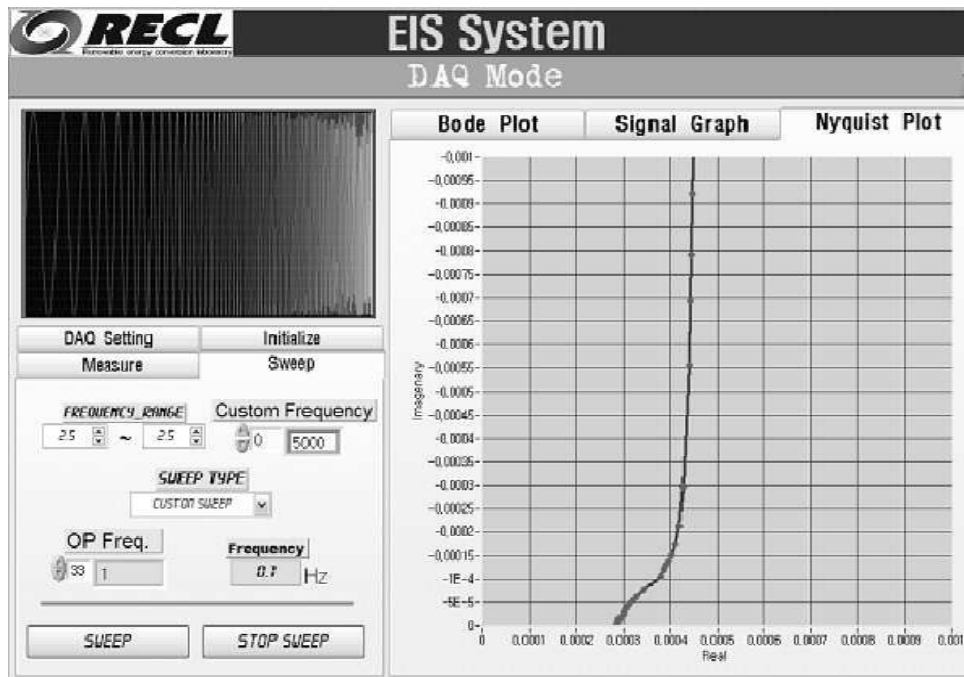
도면8



도면9



도면10



도면11

