



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2011년12월13일  
 (11) 등록번호 10-1093498  
 (24) 등록일자 2011년12월07일

(51) Int. Cl.

G21B 1/25 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0132166

(22) 출원일자 2009년12월28일

심사청구일자 2009년12월28일

(65) 공개번호 10-2011-0075659

(43) 공개일자 2011년07월06일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020090103545 A

KR1020090103544 A

JP09113671 A

KR1020090020396 A

전체 청구항 수 : 총 8 항

(73) 특허권자

한국기초과학지원연구원

대전광역시 유성구 어은동 52-9번지

(72) 발명자

박미경

대전광역시 유성구 신성동 149-2 태광빌라 302호

이태구

대전광역시 서구 만년동 1-1 초원아파트 102-903

이용렬

대전광역시 서구 월평2동 셋별아파트 103동 307호

(74) 대리인

공인복

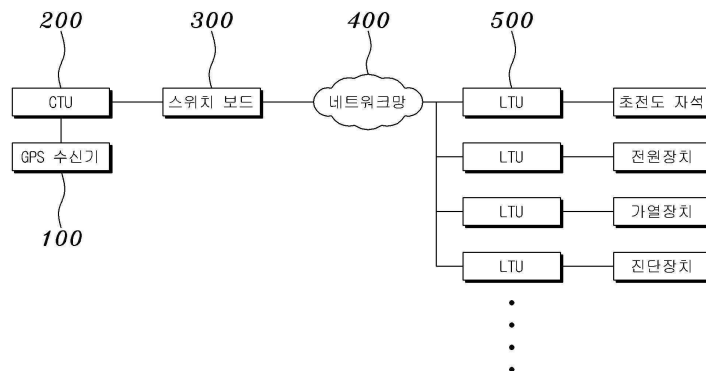
심사관 : 이용호

**(54) 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템**

**(57) 요약**

본 발명은 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템에 관한 것으로, 초전도 토카막 장치의 운전을 위한 다양한 시스템을 제어하는 시스템에 있어서, GPS 위성으로부터 세계 표준 시간을 전송받아 제공하는 GPS 수신기, 상기 GPS 수신기로부터 제공받은 기준 시간정보 및 토카막 운전 동기 신호를 생성하여 제공하는 중앙 타이밍 보드(CTU), 플라즈마 제어시스템, 초전도 코일 전원장치, 연료 주입 시스템, 가열 장치를 포함하는 초전도 토카막 장치의 각 장치들로 상기 중앙 타이밍 보드에서 제공받은 동기신호를 제공하는 다수의 지역 타이밍 보드(LTU), 상기 중앙 타이밍 보드에서 출력되는 동기신호를 다수의 상기 지역 타이밍 보드로 분배시키기 위한 스위치보드 및 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드를 전용 프로토콜로 연결시켜주기 위한 전용 네트워크망을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다. 이와 같이 구성되는 본 발명은 초전도 토카막 장치의 운전 안정성을 확보할 수 있는 이점이 있다.

**대표도 - 도1**



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

초전도 토카막 장치의 운전을 위한 다양한 시스템을 제어하는 시스템에 있어서,

GPS 위성으로부터 세계 표준 시간을 전송받아 제공하는 GPS 수신기;

상기 GPS 수신기로부터 제공받은 기준 시간정보 및 토카막 운전 동기 신호를 생성하여 제공하는 중앙 타이밍 보드(CTU);

플라즈마 제어시스템, 초전도 코일 전원장치, 연료 주입 시스템, 가열 장치, 진단 장치를 포함하는 초전도 토카막 장치의 각 장치들로 상기 중앙 타이밍 보드에서 제공받은 동기신호를 제공하는 다수의 지역 타이밍 보드(LTU);

상기 중앙 타이밍 보드에서 출력되는 동기신호를 다수의 상기 지역 타이밍 보드로 분배시키기 위한 스위치보드; 및

상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드를 전용 프로토콜로 연결시켜주기 위한 전용 네트워크망;을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**청구항 2**

제 1항에 있어서, 상기 지역 타이밍 보드는,

상기 GPS 수신기로부터 제공 받은 세계 표준 시간 정보 및 플라즈마 방전 실험 시작 동기 신호를 CTU가 데이터 프로세싱을 한 후 전용 타이밍 망을 통해 각 상기 지역 타이밍 보드로 전송하면 이 신호를 디코딩 한 후 64bit의 데이터로 변환하여 자신의 기준 시간 및 플라즈마 실험 시작 정보로 사용되는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**청구항 3**

제 1항에 있어서, 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드는,

하나의 보드에 일체로 구성되는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**청구항 4**

제 1항에 있어서, 상기 스위치보드는,

광 신호를 분배하는 광 신호 분배기에 해당하는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**청구항 5**

제 1항에 있어서, 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드는,

time skew 발생을 제거하기 위해 상기 중앙 타이밍 보드가 100MHz의 신호를 상기 네트워크망을 통해 상기 지역 타이밍 보드로 전송하고, 이 신호에 phase-locked 하여 자신의 clock 신호로 사용하는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**청구항 6**

제 1항에 있어서, 상기 중앙 타이밍 보드는,

상기 지역 타이밍 보드로 시간정보를 매 1초 마다 업데이트하는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**청구항 7**

제 1항에 있어서, 상기 초전도 토카막 장치는,

상기 운전 시간 동기화 시스템이 설치되지 않은 장치들에 대해서는 상용화된 NTP(Network Time Protocol)를 사용하여 모든 장치와 서버들의 기준 시간을 동기시키는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**청구항 8**

제 1항 또는 제 3항에 있어서, 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드는,

PCI 표준 버스를 사용하는 PMC type으로 구성되는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템에 관한 것으로, 좀 더 상세하게는 토카막 장치에서 플라즈마의 발생, 유지, 제어를 위해 구동되는 다양한 장치들을 운전 시나리오에 따라 정확한 시간에 안정적으로 운전하기 위한 타이밍 시스템에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 차세대 핵융합 연구 장치인 초전도 토카막 (tokamak) 장치의 주요 구성품으로는, 초전도 자석 (superconducting magnet), 초전도 자석 구조물(superconducting magnet structure), 진공용기 (vacuum vessel), 저온용기 (cryostat), 열차폐막 (thermal shield), 플라즈마 대향부품(PFC, Plasma Facing Component), 플라즈마 진단장치 (plasma diagnostics), 가열장치, 전원장치 등이 있다.

[0003] 이와 같이 구성되는 초전도 토카막 장치에서 플라즈마 발생 및 제어 실험을 수행하기 위해서는 초전도 자석 전원 장치, 가열 장치, 물리 현상의 측정을 위한 진단장치, 그리고 플라즈마 제어 장치 등 다수의 시스템들이 기 설계된 표준 운전 시나리오에 따라 순차적이고 유기적으로 운전되어야 한다.

[0004] 만약 초전도 토카막 장치 운전을 위한 여러 시스템들의 구동 시점 동기 시간이 정밀하지 않을 경우, 플라즈마 발생, 제어 및 물리 현상 진단은 실패하게 되고, 최악의 경우 토카막 장치에 심각한 장애를 야기할 수 있다.

[0005] 따라서 운전의 안정성 도모 및 실험의 성공을 위해서는 각 시스템들의 정밀 동기 운전을 제공하는 시간 동기화 시스템은 필수적인 요구조건이 되고 있다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

[0006] 따라서 본 발명은 초전도 토카막 장치의 플라즈마 발생을 위해 기 설계된 표준 운전 시나리오에 따라 초전도 자석 전원장치(MPS), 가열장치, 진단장치 및 플라즈마 제어장치 등이 순차적이고 유기적으로 작동하여 안정적인 운전을 달성할 수 있도록 정밀 동기 신호를 제공하고, 토카막 장치 내 모든 제어장치들이 동일 시간에 동일 시간 값을 가지도록 표준 시간 정보를 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

**과제 해결수단**

[0007] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 GPS 위성으로부터 세계 표준 시간을 전송받아 제공하는 GPS 수신기, 상기 GPS 수신기로부터 시간정보를 제공받아 기준 시간 정보 신호를 생성하고 플라즈마 shot 시작 트리거를

생성하여 제공하는 중앙 타이밍 보드(CTU), 상기 중앙 타이밍 보드에서 제공받은 타이밍 신호를 정밀 동기 운전이 필요한 여러 시스템들에게 제공하는 다수의 지역 타이밍 보드(LTU), 상기 중앙 타이밍 보드에서 출력되는 타이밍 신호를 다수의 상기 지역 타이밍 보드로 분배시키기 위한 스위치보드 및 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드를 전용 프로토콜로 연결시켜주기 위한 전용 네트워크망을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

- [0008] 기준 시간 정보 제공을 위해서, 상기 중앙 타이밍 보드는 GPS 수신기로부터 세계 표준 시간을 제공 받고, 데이터 프로세싱을 거쳐 64-bit의 데이터로 변환한 후 전용 타이밍 네트워크망을 이용하여 상기 지역 타이밍 보드로 전송하게 되고, 지역 타이밍 보드는 이 신호를 디코딩하여 자신의 기준 시간으로 사용하게 된다.
- [0009] 또한 이 기준 시간 정보는 상기 중앙 타이밍 보드에서 상기 지역 타이밍 보드로 매 1초 마다 업데이트하는 것을 특징으로 한다.
- [0010] 또한, 상기 초전도 토카막 장치는, 상기 운전 시간 동기화 시스템이 설치되지 않은 장치들에 대해서는 상용화된 NTP(Network Time Protocol)를 사용하여 모든 장치와 서버들의 기준 시간을 동기시키는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 또한 운전 동기 신호의 제공을 위해서는, 상기 모든 지역 타이밍 보드는 플라즈마 shot 시작 전 운전 시나리오를 수신하게 되고, 상기 중앙 타이밍 보드로부터 플라즈마 shot 시작 트리거 신호를 상기 스위치보드, 타이밍 네트워크망을 통해 제공 받게 된다. 또한 지역 타이밍 보드는 이 shot 시작 트리거를 기준으로 이미 수신한 운전 시나리오에 따라 운전 동기 신호를 제공하게 된다.
- [0012] 또한, 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드는, time skew 발생을 제거하기 위해 상기 중앙 타이밍 보드가 100MHz 의 신호를 상기 네트워크망을 통해 상기 지역 타이밍 보드로 전송하고, 지역 타이밍 보드는 이 신호에 phase-locked 하여 자신의 clock 신호로 사용하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드는, 하나의 보드에 일체로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한, 상기 스위치보드는, 광 신호를 분배하는 광 신호 분배기에 해당하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드는, PCI 표준 버스를 사용하는 PMC type으로 구성되는 것을 특징으로 한다.

**효 과**

- [0016] 상기와 같이 구성되고 작용되는 본 발명은 초전도 자석 전원장치, 가열장치, 진단 장치, 플라즈마 제어 장치 등 다수의 시스템들을 기 설계된 표준 운전 시나리오에 따라 순차적이고 유기적으로 운전하도록 시간 동기화 시스템을 제공하여 초전도 토카막 장치의 안정적인 운전 및 정밀 플라즈마 실험을 도모할 수 있는 장점이 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

- [0017] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템의 바람직한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0018] 도 1은 본 발명에 따른 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템의 개략적인 구성도, 도 2는 본 발명에 따른 동기 운전을 위한 타이밍 시퀀스를 나타낸 도면, 도 3a 내지 도 3c는 본 발명에 따른 동기 운전 신호 발생 과정을 나타낸 순서도, 도 4는 본 발명에 따른 동기 운전용 파라미터 입력 화면을 나타낸 도면이다.
- [0019] 본 발명에 따른 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템은 초전도 토카막 장치의 운전을 위한 다양한 시스템을 제어하는 시스템에 있어서, GPS 위성으로부터 세계 표준 시간을 전송받아 제공하는 GPS 수신기(100), 상기 GPS 수신기로부터 시간정보를 제공받아 동기신호를 생성하여 제공하는 중앙 타이밍 보드(CTU ; 200), 플라즈마 제어시스템, 초전도 코일 전원장치, 연료 주입 시스템, 진단 장치, 가열 장치를 포함하는 초전도 토카막 장치의 각 장치들로 상기 중앙 타이밍 보드에서 제공받은 동기신호를 제공하는 다수의 지역 타이밍 보드(LTU ; 500), 상기 중앙 타이밍 보드에서 출력되는 동기신호를 다수의 상기 지역 타이밍 보드로 분배시키기 위한 스위치보드(300) 및 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드를 전용 프로토콜로 연결시켜주기 위한 전용 네트워크망(400)을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

- [0020] 본 발명에 따른 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템(Time Synchronization System, TSS)은 토카막 장치를 운전하기 위한 다양한 시스템을 고 시간 정밀도를 가지고 순차적이고 유기적으로 운전하여 운전 안정성을 확보하고 신뢰성 있는 정밀 플라즈마 실험을 수행하는데 그 목적이 있다.
- [0021] 기본적으로 시간 동기화 시스템은 중앙 타이밍 시스템과, 지역 타이밍 시스템으로 크게 구분할 수 있으며, 이들 간의 통신을 위한 전용 타이밍 네트워크로 구성되는 것이 바람직하다.
- [0022] 중앙 타이밍 시스템은 GPS 수신기(100), 중앙 타이밍 보드(CTU ; 200), 그리고 스위치보드(300)로 구성된다. 이러한 구성을 통해 하나의 랙(Rack)에 설치된다. 여기서 상기 중앙 타이밍 보드는 PMC(PCI Mezzanine Cards)로 개발된다. 상기 중앙 타이밍 시스템은 초전도 토카막 장치 전체의 시퀀스 운전 및 감시를 담당하는 주제어기와 연결된다.
- [0023] 지역 타이밍 시스템은 정밀 동기 신호가 필요한 지역장치들의 제어시스템에 지역 타이밍 보드(LTU ; 500)를 설치하고 네트워크망(400)을 이용하여 CTU와 LTU를 연결한다.
- [0024] 이때, 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드는 서로 다른 보드(board)로 구성할 수 있으나, 두 기능을 하나의 PMC 보드에 구성함으로써 확장성 및 활용성을 늘릴 수 있고, PMC라는 작은 공간적 크기를 가지는 표준화 보드로 구성함으로써 일반적인 제어 보드 위에 함께 장착될 수 있는 장점을 가진다.
- [0025] 또한 PCI 표준 버스를 사용하는 PMC foam-factor를 이용하여 타이밍 보드를 구성함으로써, 거의 모든 종류의 하드웨어 플랫폼으로 개발되어있는 다양한 지역 장치에 표준 PCI버스만 있으면 모두 설치 가능하게 되어 적용성 면에서 뚜렷한 특징을 가진다.
- [0026] 이하, 본 발명에서는 상기 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드를 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드로 설명하기로 한다.
- [0027] GPS 수신기(100)는 GPS 위성으로부터 정확한 현재 시간 정보를 획득하기 위한 것으로, 여기서 획득한 시간을 통해 초전도 토카막 장치 내 모든 제어시스템의 기준 시간을 동기화시킬 때 적용된다.
- [0028] 중앙 타이밍 보드는 운전 시간 동기화를 위한 중앙 제어부에 해당하는 것으로, 상기 GPS수신기로부터 제공받은 표준 시간 정보를 데이터 프로세싱을 한 후에 64-bit의 데이터로 변환하여 토카막 장치 내 모든 제어시스템의 기준 시간 정보로 사용하게 된다. 또한 동기 운전이 필요한 장치들의 정밀 구동 시간 동기를 위해 플라즈마 shot의 시작 트리거를 발생하게 된다.
- [0029] 여기서 프로세싱된 기준 시간 및 동기 트리거를 다수의 각 장치로 제공하기 위하여 상기 중앙 타이밍 보드에서 출력되는 신호는 스위치보드(300)를 통해 다수의 지역 타이밍 보드(500)로 연결된다. 이때, 본 발명에서는 출력되는 신호를 광신호로 제공하기 때문에 상기 스위치보드는 광신호 분배기를 사용하는 것이 바람직하다.
- [0030] 상기 스위치보드(300)를 통해 분배되는 동기화된 신호는 전용 프로토콜이 적용된 전용 네트워크망(타이밍 전용 광 전송망 ; 400)을 통해 전송된다.
- [0031] 지역 타이밍 보드(500)는 초전도 자석 전원장치, 가열장치, 진단장치, 플라즈마 제어 장치, 연료주입장치 등에 각각 설치되어 상기 중앙 타이밍 보드에서 제공하는 기준 시간 정보 및 shot start 신호를 전달받아 운전 시간이 정확한 타이밍으로 운전되도록 한다.
- [0032] 한편, 상기 지역 타이밍 보드(500)가 설치되어 있지 않은 시스템을 위해서는 상용화된 NTP(Network Time Protocol)를 사용하는데, NTP서버를 구성하고 이더넷(ethernet) 기반의 Control/Machine network에 연결하여 이 네트워크에 연결되어 있는 모든 제어기와 서버들의 기준 시간을 동기 시키게 된다.
- [0033] 시간 동기화 시스템의 운전 동기를 구현하는 방법에는 그 용도에 따라 두 가지로 나눌 수 있다. 시간 정밀도가 낮은 장치에 제공되는 소프트웨어 트리거링 방법과 정밀 동기 운전이 필요한 장치에 제공하는 하드웨어 트리거링 방법으로, 소프트웨어 트리거링은 msec의 시간 정밀도를 가지고 EPICS(Experimental Physics and Industrial Control System) Channel Access(CA)를 이용하여 전송되며, 하드웨어 트리거링은 중앙 타이밍 보드에서 동기 신호를 발생하고 전용 광 통신망과 지역 타이밍 보드를 통해 전기적 신호로 제공된다. 하드웨어 트리거링의 시간 정밀도는 5 $\mu$ sec로 측정되었다.
- [0034] 도 2를 참조하여 설명하면, 플라즈마 방전 실험은 플라즈마의 생성에서 소멸까지를 하나의 shot으로 구분하며, 모든 플라즈마 진단 데이터는 이 shot number를 기준으로 획득된다. 플라즈마 방전 shot을 수행할 때 서로 동기되어 운전되어야 하는 각 장치들의 순서를 나타낸 것으로, 각 장치의 구동 시간 정보는 shot 시작 전

CA/machine network을 통해 각 LTU에 전달되며, CTU로 부터 상기 그림의 shot start 신호가 전송되어 오면 이 시점을 '0' 으로 하여 각 장치들이 유기적으로 구동되도록 LTU가 동기 신호를 제공하게 된다.

- [0035] - shot start : 하나의 방전 shot을 시작하는 신호로, 운전 화면에서 주 운전자가 상기 button을 누르면 이 신호를 CTU가 받아 타이밍 망을 통해 각 LTU로 전송하게 됨.
- [0036] - PCS start : 플라즈마의 실시간 feedback 제어를 위하여 PCS가 구동되는 시점.
- [0037] - MD start : 플라즈마 진단 장치의 기본이 되는 자기 진단 장치 데이터 획득 시스템이 구동되는 시점.
- [0038] - PFPS charging : PF 초전도 코일 전원장치에서 전류가 PF coil로 charging을 시작하는 시점.
- [0039] - MMWI, ECER, VSS, FS, FAM, Fuel 등의 DAQ start : 앞에서 언급된 각 진단 장치들 및 연료주입계 용 데이터 획득 시스템이 기동되는 시점.
- [0040] - PEV ON : Piezo-Electric valve on, 플라즈마 발생에 필요한 연료를 공급하기 위하여 valve를 open 하는 시점. 여기서 공급되는 연료의 양은 valve 가 열리는 정도에 따르며, 이 값은 PCS에 의해 제어됨.
- [0041] - TV 1,2,3 ON : 플라즈마 이미지를 촬영하기 위한 진단 용 CCD camera가 켜지는 시점으로, 이미지 데이터의 용량이 크므로 플라즈마가 발생되기 직전에 on을 하게 됨.
- [0042] - ECH RF On : 플라즈마의 발생을 돕기 위한 전 이온화(pre-ionization)의 목적과 플라즈마 가열 목적의 ECH 가열 장치로부터 RF 신호를 플라즈마로 공급하는 시점.
- [0043] - Blip on : PF coil에 charging 되어 있는 전류를 급속히 떨어뜨려 급속한 자속 변화를 만들고 이로부터 loop voltage를 얻어 플라즈마 breakdown 이 일어나도록 하는 시점. 이 시점 후부터 플라즈마 전류가 build-up 되게 되고, PCS에 의한 플라즈마 feedback 제어가 이루어 짐.
- [0044] 본 발명의 또 하나의 특징은 대형 실험 장치 제어시스템의 통신 프로토콜 및 software framework으로서 open-source로 개발된 EPICS를 통해 제어가 가능하다는 점으로, 이는 여러 장치가 분산 설치되어 있는 대형 실험 용 facility에서 필수적으로 필요한 시간 동기화 시스템의 설정, 운전, 제어에서 큰 장점을 가지게 된다는 것이다.
- [0045] 아래 <표 1>은 운전 동기화 시스템을 통한 동기 운전에 참여되는 초전도 토카막 내 장치의 목록이다.

[0046] <표 1>

장치명	Platform	기능	보드명	출력	용도
주제어기	VME	CTU	CTU	3	CTU 기능 진단 TV1 &2 동기 운전
MPS1 (PF1~3)	VME	LTU	MLTU1	3	PF1 ~ PF3 전원장치 동기 운전
MPS 2 (PF4~7)	VME	LTU	MLTU2	4	PF4 ~ PF7 전원장치 동기 운전
PCS	cPCI	LTU	PLTU	2	플라즈마 정밀 제어
ECH	PCI	LTU	HLTU1	2	ECH 동기 운전 및 DAQ 기동
ICRH	PCI	LTU	HLTU2	1	ICRH 동기 운전 및 DAQ 기동
DDS#1	VME	LTU	DLTU1	5	자기 진단 DAQ 동기 운전
DDS#2	cPCI	LTU	DLTU2	3	MMWI, ECER, HAM, FS, VSS 진단장치 DAQ 동기 운전
RBA	PXI/PCI	LTU	DLTU3	2	RBA, SXR 진단장치 동기운전
ER	PXI	LTU	DLTU4	2	간접계 진단장치 동기운전
XICS	PCI	LTU	DLTU5	3	XICS, Probe, HXR 진단장치 동기 운전
MC	VXI/PCI	LTU	DLTU6	1	MC 진단장치 동기 운전
FBM	PCI	LTU	BLTU	3	FBM, ICS, VCS 동기 운전
연료주입	PCI	LTU	FLTU1	5	연료 주입계 및 DAQ 동기 운전 GCDS 동기 운전 진단 TV 동기 운전

[0048] 여기서 상기 표에 기재된 각 명칭에 대한 설명은 아래와 같다.

- [0049] - MPS(Magnet Power Supply) : 초전도 코일 전원 공급 장치
- [0050] - PF1-7 (Poloidal Field coil) : poloidal 방향의 자장을 만드는 초전도 코일
- [0051] - PCS(Plasma Control System) : 플라즈마의 전류, 위치, 모양 등에 대한 실시간 피드백 제어 시스템
- [0052] - ECH(Electron Cyclotron Heating) : 플라즈마 전이온화 및 플라즈마의 온도를 높이는 가열 장치
- [0053] - ICRH(Ion Cyclotron Radio Frequency Heating) : RF파를 이용하여 플라즈마의 온도를 올리는 가열 장치
- [0054] - MD(Magnetic Diagnostics) : 플라즈마 전류, 자장, 일주 전압, eddy 전류 등을 측정하는 자기 진단 장치
- [0055] - MMWI(Millimeter-wave Interferometer) : 밀리미터파를 이용하여 전자의 선 적분 밀도를 측정하는 진단 장치
- [0056] - ECER(Electron Cyclotron Emission Radiometer) : 밀리미터파를 이용하여 전자의 radial 방향의 온도 profile을 측정하는 진단 장치
- [0057] - HAM(H-alpha Monitor) : 토카막 wall 특성을 측정하는 진단 장치
- [0058] - FS(Filter Scope) : 플라즈마의 impurity를 측정하는 진단 장치
- [0059] - VSS(Visible Survey Spectrometer) : 플라즈마의 impurity를 측정하는 진단 장치
- [0060] - RBA(Resistive Bolometer Array) ; 플라즈마에서 발생하는 radiation power를 측정하는 진단 장치
- [0061] - SXR(Soft X-ray) : Soft x-ray를 이용하여 MagnetoHydroDynamic 및 thermal heat transport를 연구하는 진단 장치
- [0062] - HXR(Hard X-ray) : 플라즈마 소멸 시 발생하는 고 강도의 x-ray radiation을 측정하는 진단 장치
- [0063] - XICS(X-ray Imaging Crystal Spectroscopy) : X-ray 이미지를 이용하여 플라즈마의 core 및 edge에서 전자와 이온의 온도를 측정하는 진단 장치
- [0064] - MC(Mirnov Coil) : poloidal plane에서 y-방향의 자장을 빠른 속도로 측정하는 진단 장치
- [0065] - FBM(Fast B-Measurement System) : Hall 센서를 이용하여 토카막 내 초전도 코일에 의해 생성되는 자장을 빠른 속도로 측정하는 장치
- [0066] - VCS : 초전도 코일 양단에 인가되는 전압을 측정하는 장치
- [0067] - ICS : 초전도 코일에 흐르는 전류를 측정하는 장치
- [0068] - GCDS (Ground Current Detection System) : 플라즈마의 소멸 시 토카막 장치 구조물로 흐르는 전류를 측정하는 장치
- [0069] - 진단 TV : 플라즈마의 모양, 위치, 거동 등의 이미지 측정 장치
- [0070] - 연료주입계 : 플라즈마의 발생에 필요한 연료를 주입하는 장치로 PCS에 의해 제어됨.
  
- [0071] 시간 동기화 시스템에서 공급하는 신호, 정보 및 이벤트는 아래 <표 2>와 같다.
- [0072] '운전 시간 정보' 란 다음 방전 실험 시 동기 운전이 필요한 각 장치들의 구동 시작 시간 정보를 의미하며, 매 shot 시작 전 EPICS CA를 이용하여 giga-bit machine network을 통해 각 필요 제어기로 전송된다. 실제 운전에서 사용되는 각 장치의 운전 시간 정보는 도 4에 있는 운전 화면을 이용하여 입력하며, 전송 명령을 내리면 전체 설정 값이 CA/machine network을 통해 각 장치로 전달이 된다.
- [0073] '기준 시간 정보' 란 본 발명에 따른 운전 시간 동기화 시스템을 이용한 전용 네트워크망을 통해 중앙 타이밍 보드가 제공하는 GPS 기준 시간과 Machine network을 통해 NTP server에서 제공하는 기준 시간 정보를 의미하며, 매 1초 마다 update가 되고 있다. 'Master clock'은 물리적으로 떨어져 설치, 운전되고 있는 중앙 타이밍 보드와 지역 타이밍 보드 사이의 time skew 발생을 제거하기 위해서 사용되고 있으며, 시스템의 전원이 인가되면 바로 CTU가 100MHz 의 신호를 상기 네트워크망(400)을 통해 LTU로 전송하고 LTU는 이 신호에 phase-locked 하여 자신의 clock 신호로 사용한다.

[0074] 아래 <표 2>는 시간 동기화 시스템 제공 정보를 나타낸다.

[0075] <표 2>

[0076]

신호종류	전송 시점	전송 매체	타
운전 시간 정보	매 shot 전 1회	Giga-bit machine 망	
기준 시간 정보	매 1초	타이밍 전용 광 전송 망	LTU이용
		Giga-bit machine 망	NTP이용
마스터 클럭	시스템 power-on 후 계속 전송	마스터 클럭	
shot start 신호	shot 시작 시	타이밍 전용 광 전송 망	

[0077] 참고로 하나의 지역 타이밍 보드(LTU)는 5개의 트리거 출력과 5개의 clock 신호 출력을 가지고 있으며, 도 4에 나타낸 바와 같이 각각의 출력 채널에 대해 동기 운전 시간을 입력할 수 있다. 특히 이 중 다섯 번째 출력 신호는 한번의 shot 동안 3번의 트리거 신호 및 clock 신호를 발생할 수 있도록 동기 운전 pattern을 입력할 수 있다. 이러한 특성은 long-pulse 플라즈마 방전 실험의 수행 시 플라즈마의 효율적 제어 및 정밀한 데이터의 측정에 큰 장점을 가진다.

[0078] 또한 화면에서 입력된 start와 stop 시간은 LTU가 CTU로부터 'shot start' 신호를 수신한 후 입력된 start 시간 후에 트리거 신호를 발생해서 stop 시간에 종료하라는 의미이다.

[0079] 이와 같이 구성되는 본 발명은 핵융합로인 초전도 토카막 장치의 운전을 위해 필요한 초전도 자석 전원장치, 가열장치, 진단 장치, 플라즈마 제어 장치 등 다수의 시스템들을 표준 운전 시나리오에 따라 순차적이고 유기적으로 운전하도록 시간 동기화 시스템을 제공하여 초전도 토카막 장치의 안정적인 운전을 도모하고 플라즈마의 발생, 유지, 제어를 할 수 있는 장점이 있다.

[0080] 이상, 본 발명의 원리를 예시하기 위한 바람직한 실시 예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 그와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용으로 한정되는 것이 아니다.

[0081] 오히려, 첨부된 청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0082] 도 1은 본 발명에 따른 초전도 토카막 장치의 운전 시간 동기화 시스템의 개략적인 구성도,

[0083] 도 2는 본 발명에 따른 동기 운전을 위한 타이밍 시퀀스 (예)를 나타낸 도면,

[0084] 도 3a 내지 도 3c는 본 발명에 따른 동기 운전 신호 발생 과정을 나타낸 순서도,

[0085] 도 4는 본 발명에 따른 동기 운전용 파라미터 입력 화면을 나타낸 도면.

[0086] <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

[0087] 100 : GPS 수신기

[0088] 200 : 중앙 타이밍 보드

[0089] 300 : 스위치보드

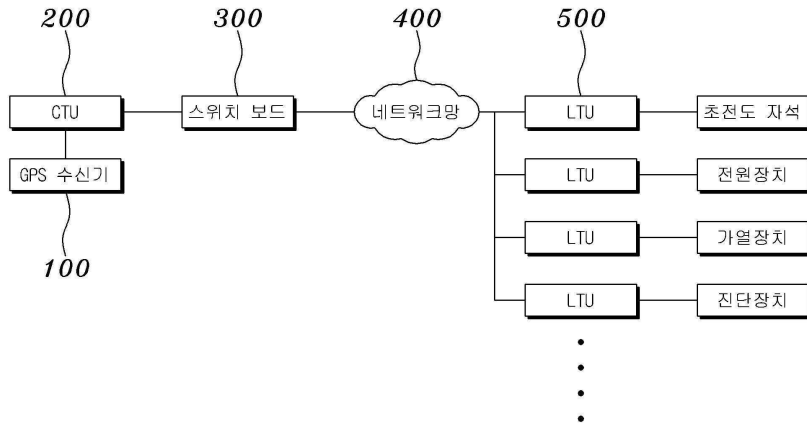
[0090] 400 : 지역 타이밍 보드



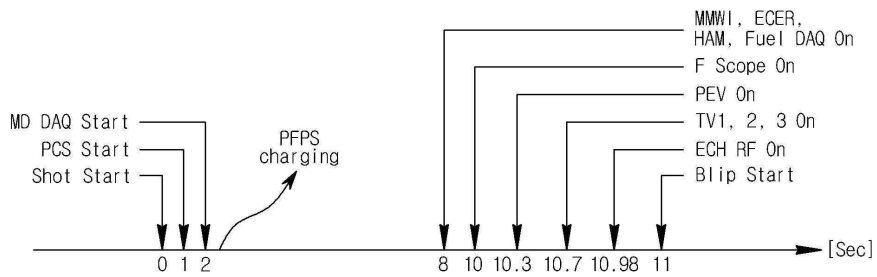
[0091] 500 : 네트워크망

도면

도면1

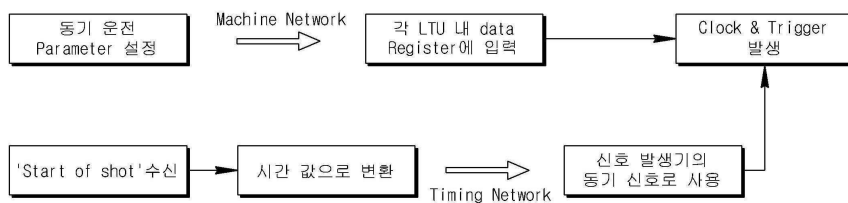


도면2

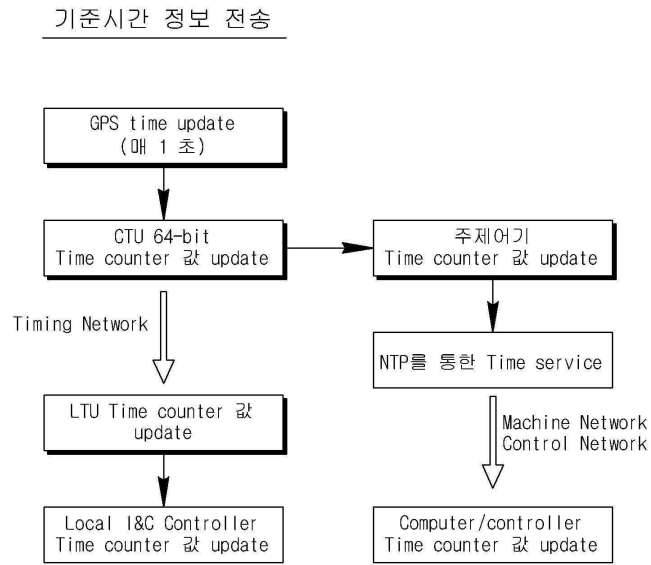


도면3a

운전시간 정보 전송

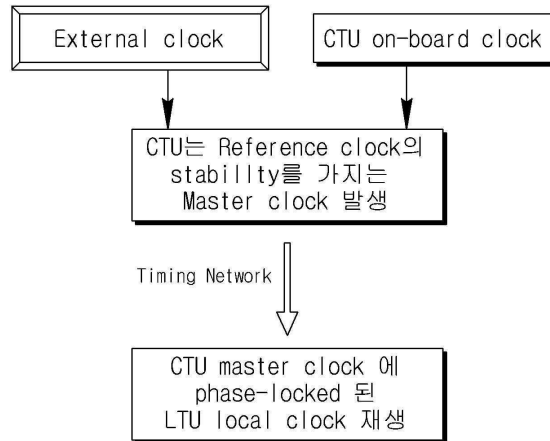


도면3b



도면3c

Master Clock 신호 전송



도면4

The screenshot shows a software interface for KSTAR operations. The main window is titled 'Timing Set' and contains a table with the following columns: H/S, System, Signal, CH, Pol., Sec1.start, Sec1.stop, Sec1.freq, Sec2.start, Sec2.stop, Sec2.freq, Sec3.start, Sec3.stop, and Sec3.freq. The table lists various signals and their timing parameters across three sections.

H/S	System	Signal	CH	Pol.	Sec1.start	Sec1.stop	Sec1.freq	Sec2.start	Sec2.stop	Sec2.freq	Sec3.start	Sec3.stop	Sec3.freq
3	H	DDS1	DDS1 DAQ	1	R	2	22	10					
4	H	PCS	PCS Start	4	R	0.99	1	0					
5	H	CCS	TV1	1	R	10.7	10.8	0					
6	H	MPS1	PF1 Blp	1	F	11	11.05	0					
7	H	MPS1	PF2 Blp	2	F	11	11.05	0					
8	H	MPS1	PF3 Blp	3	F	11	11.05	0					
9	H	MPS2	PF4 Blp	1	F	11	11.05	0					
10	H	MPS2	PF5 Blp	2	F	11	11.05	0					
11	H	MPS2	PF6 Blp	3	F	11	11.05	0					
12	H	DDS2	DDS2 DAQ	1	R	8	13	10					
13	H	FUEL	TV3	4	R	10.7	10.8	0					
14	H	FUEL	Fuel Trig	2	R	10.5	12	0					
15	H	DDS2	V.spect	2	R	10	10.1	0					
16	H	DDS2	F.scpPie	3	R	8	8.01	0					
17	H	DDS2	F.scpTrig	4	R	10	10.01	0					
18	H	PCS	Int Reset	2	R	0.5	0.51	0					
19	H	PCS	Int Reset	3	R	0.5	0.51	0					

At the bottom of the interface, there is a status bar with the text: pv: " CCS\_TSS\_CONFIRM " set 1. A 'Time to Next Shot' indicator is also present on the left side of the main window.