I^2C Bus interface를 이용한 다채널 광원 제어시스템 설계/구현

염진수, 류광열, 허창우

Multi Channel Optical Source Controller Design Using I^2C Bus Interface

Jin-Su Yeom, Kwang-Ryol Ryu, Chang-Wu Hur

요 약

본 논문에서는 64채널 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)용 광원(Optical Source)을 구현하고, 이를 효율적으로 제어하기 위하여 I^2C Bus interface를 이용한 제어기를 설계하였다. 채널은 독립적으로 동작될 수 있도록 각각 Laser Diode 구동 회로와 마이크로프로세서, A/D 및 D/A 컨버터로 구성하였으며, 또한 각 채널들은 하나의 I^2C Bus를 통해 주 제어기와 연결된다. 주 제어기는 RS-232 및 LAN을 통해 들어오는 사용자의 명령을 I^2C Bus를 이용하여 각 채널에 전달하고, 채널로부터 들어오는 정보를 사용자에게 제공한다. RS-232C 및 LAN을 통한 PC와의 전송속도는 57600BPS로 구현하였다.

Ⅰ. 서 론

고정밀도 파장분할 다중전송(DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing) 시스템은 1개의 파이버에 복수의 광파장을 전송하는 시스템으로, 동화상 구현 서비스 등 앞으로 대용량, 고속 광통신을 지원하기 위해서 반드시 필요한 기술이다. 최근 몇 년 동안 많은 연구가 진행되고 있으며, 연구에 필요한 장비의 수요 또한 증가 하고 있다. 그 중에 하나가 다채널 광원으로 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier) 등 광 디바이스의 채널 별 특성 실험하고, WDM 시스템의 기능구현에 있어서 필요한 장비이다. 다채널 광원은 각 채널의 파장과 파워의 안정성이 중요하며, 다채널로 구성 되므로 사용자가 손쉽게 제어 할 수 있도록 해야 한다. 이에 본 논문에서는 64채널 광원의 구성에 있어서 채널 별 독립적 동작과 안정된 출력 그리고 I^2C Bus를 이용한 효율적인 데이터 전송 방법에 대하여 연구하였다.

Ⅱ. 채널 광원 구성

Laser Diode Module은 크게 두 부분으로 나뉜다. 바이어스를 인가하여 광을 출력하는 Laser Diode와 Module 내부의 온도를 제어하기 위한 TEC(Thermo Electric Cooler)로 구성된다. [그림 1]은 WDM용 DFB Laser Diode Module을 구동하기 위한 각 채널 회로의 구성도이다. 채널회로는 크게 정 전류 바이어스 회로와 온도 제어회로 그리고 이를 구동하고 제어하기 위한 디지털 제어회로 되어 있다. Laser Diode의 구동은 Laser Diode의 Anode를 접지 시키고 Cathode에 역 바이어스 전류를 인가하여 구동하였다.[1][2][3] 정 전류 바이어스 회로에서 Laser Diode에 인가되는 바이어스 전류를 ib라 하면 ib는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$i_b = \frac{(V_{is} - 0.1V_p)}{R_s} \qquad (1)$$

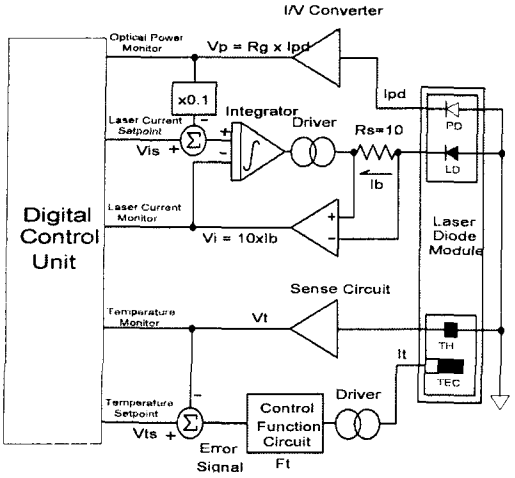
여기서 V_{is} : 전류 제어 전압

V_p : PD 전류/전압 변환 값

R_s : 전류 측정용 저항 값

이다.

Laser Diode 의 바이어스 전류 제어는 기본적으로 ACC(Auto Current Constant) 모드로 동작하도록 되어있으며, 부가적으로 Laser Diode Module 자체의 모니터 PD를 이용하여 출력 Optical Power를 안정화 시켰다. 이는 Laser Diode Module 내부의 온도를 제어할 수 있도록 설계되어 있어 온도에 따른 출력



[그림 1] 채널 회로 구성도

Optical Power의 변화를 최소화 할 수 있기 때문이다. 출력 Optical Power에 의한 모니터 PD에 흐르는 전류를 전류/전압 변환 회로로 측정하였으며, 이 값은 V_p로 표현하였다. 온도 제어 회로는 TEC에 인가되는 전류의 양과 방향으로 Module 내부를 가열시키거나 냉각시켜 온도를 안정화 시킨다.[4] 이 때에 TEC에 인가하는 전류를 i_t라 하면 아래와 같다.

$$i_t = \frac{(V_{ts} - V_t) \cdot F_t}{R_{tec}} \qquad (2)$$

여기서 V_{ts} : 온도 제어 전압
V_t : 온도 측정 전압
R_{tec} : TEC 내부 저항 값
F_t : 제어 함수
이다.

F_t 제어함수는 PI(Proportional-Integral) 제어기를 사용하였다. 즉, 온도제어전압과 온도측정전압의 차를 제어함수에 입력하고 그 출력 값으로 Driver의 출력전압을 제어하여 TEC에 인가되는 전류를 제어한다. TEC에 인가되는 전류는 최대 ±1.5A까지로 구성하였다.

III. 디지털 제어 회로

[그림 2]는 디지털 제어회로를 구성한 것이다. 디지털 제어회로는 A/D 및 D/A Convertor를 이용하여 Micro processor로 Laser Diode Module을 제어하도록 구성되어 있다. D/A Convertor로 Laser Diode Module의 바이어스 전류 및 온도를 제어하며, A/D Convertor로는 Laser Diode의 바이어스 전류, 온도, 출력 파워를 계측한다.

전류 제어 방법에 있어서 제어 전압 (V_{is})은

$$V_{is}(i) = I \cdot R_s - V_i(i) \qquad (3)$$

$$V_{is} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{V_{is}(i)}{f_a} \qquad (4)$$

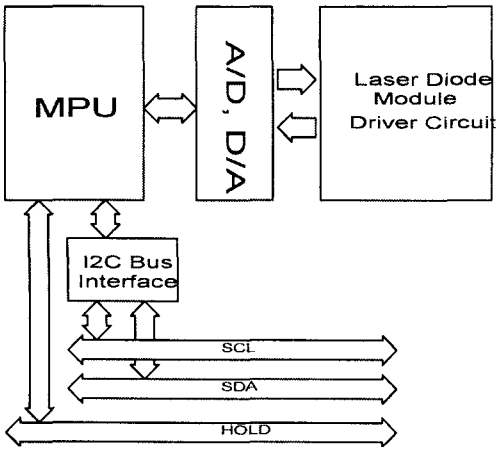
이고, 여기서
I : 사용자의 전류 제어 값
R_s : 전류 측정용 저항 값
$V_i(i)$: 전류 측정 값
f_a : 제어 속도 factor
를 나타낸다.

실제 프로그램 시에는 $V_i(i)$가 4㎷ 이하일 때는 전류 제어를 하지 않는다. 그 이유는 A/D Convertor 오차 및 계산 오차가 있기 때문이다. 제어 속도 factor(f_a)는 어느 제어 값까지 도달하는 시간을 결정하는 것으로 큰 값을 설정할수록 제어 속도가 느려진다. 이는 시스템 특성으로 인한 Laser Diode에 과전류를 인가하는 것을 방지하기 위한 것이다. factor를 결정하는데 있어서 고정된 값을 사용하는 것과 현재 값과 목표 값과의 차이 값으로 능동적으로 사용하는 방법을 생각할 수 있다. 식(3), (4)의 방법은 Laser Diode의 바이어스 전류를 일정하게 유지하기 위한 방법이며, 출력 Optical Power를 일정하게 유지하기 위해서는 다음과 같은 방법을 이용한다.

$$V_{is}(i) = P \cdot P_{cf} - V_p(i) \qquad (5)$$

여기서
P : 사용자의 Optical Power 값
P_{cf} : Power Calibration factor 값
$V_p(i)$: Optical Power 측정 값

이고, 식(5)의 값을 식(4)에 대입하면 된다. 사용자의 Optical Power 값은 ㎽ 단위로 입력을 받게 되며, Calibration factor 값은 이를 측정 값 $V_p(i)$에 대응하도록 환산하기 위한 것이다. 온도 제어도 전류 제어 방법과 동일하며, 온도 제어 값(V_{ts})은 아래와 같이 표현된다.



[그림 2] 디지털 제어 회로 구성도

$$V_{ts}(i) = T \cdot T_{cf} - V_t(i) \qquad (6)$$

$$V_{ts} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{V_{ts}(i)}{f_b} \qquad (7)$$

여기서

T : 사용자의 온도 제어 값

T_{cf} : 온도 Calibration factor 값

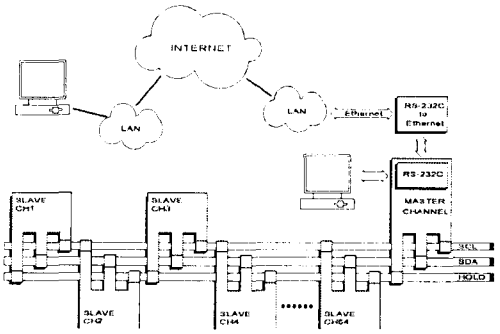
$V_t(i)$: 온도 측정 값

f_b : 제어 속도 factor

이다.

Ⅳ. I²C Bus interface 구성

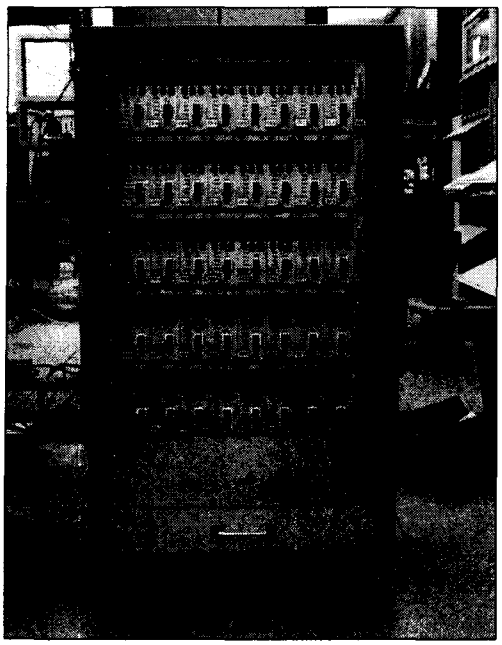
각 채널은 독립적으로 동작할 수 있도록 구성되어 있지만 64채널의 광원을 구성해야 하며, 이는 또한 한 곳에서 제어될 수 있어야 한다. 기존에 Address Bus와 Data Bus를 이용한 방법이 있지만 이는 추가적인 부품을 요구하며, 회로를 구성함에 있어 넓은 면적을 차지한다. 이에 본 논문에서는 I²C Bus Interface를 이용한 방법을 생각하였다.[5] I²C Bus는 SDA(Serial Data Line), SCL(Serial Clock Line) 단지 두 개의 양방향 시리얼 버스만으로 구성되어있다. 또한 Master와 Slave로 동작되며, Master는 Clock을 발생시키고 7bit 어드레스로 Slave를 호출한다. Slave는 Master에서 전송된 어드레스가 자기의 어드레스일 때만 데이터를 전송하도록 되어있다. 최근에는 거의 대부분의 Micro-processor가 이 기능을 내장하고 있기 때문에 추가적인 하드웨어를 구성할 필요 없이 쉽게 사용할 수 있다. 본 논문에서 64개의 채널을 Slave로 설정하고 하나의 Master 채널을 따로 구성하였다. Master 채널은 RS-232C 포트를 통해서 PC와 연결되어 사용자의 명령을 전달받고 데이터를 전송한다. I2C Bus는 IC간의 통신을 위하여 고안된 것이다. 그러므로 각 채널이 독립적인 전원을 가지고 동작되는 현 시스템에 바로 적용하기에 약간의 문제점이 있었다. 즉, Master 채널이 각 채널이 Bus에 연결되어 있는지를 알기 위해 모든 어드레스를 매번 주기적으로 호출해야 것이다. 이에 Slave 채널에서 Master 채널에 준비 상태를 알리기 위하여 하나의 Line (HOLD)을 추가하고, 어드레스 #00을 채널 설정을 위한 어드레스로 할당하였다. [그림 3]에 채널 연결 구성도를 표시하였다. Slave 채널은 전원이 켜지면 이 Line이 High 상태인가를 확인하고 High 상태이면 자기 어드레스(ADD) x 주기(T) 동안 기다린 후 Line을 다시 검사하여 High 상태이면 이 Line을 Low 상태로 만들고, Master 채널로부터 호출을 기다린다. Master 채널에서 어드레스 #00을 호출하면 자기 어드레스를 데이터에 실어 보낸다. Master 채널은 HOLD Line이 Low 상태로 되면 현재 작업을 멈춘 후 어드레스 #00을 호출하고 이 데이터를 PC로 전송한다. 전송할 때 이 데이터가 채널의 어드레스임을 알려준다. PC는 이 채널을 읽어 올 채널 리스트에 추가한다. [사진 1]에 구현된 64채널 광원을 보였다.



[그림 3] 연결 구성도

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 DWDM 시스템의 개발 및 연구에 필요한 64채널 광원의 구현에 있어서 안정된 Laser Diode Module의 구동 및 제어 방법과 I²C Bus를 이용한 효율적인 데이터 전송 방법에 관하여 연구하였다. 그 결과 만족 할만한 출력 특성을 얻을 수 있었으며 PC를 통하여 64채널의 광원을 모니터하고 제어할 수 있었다. 하지만 Laser Diode Module의 구동 방법에 있어서 보나 안정된 회로설계가 요구되었으며,



[사진 1] 구현된 64채널 광원

노이즈에 대한 대책 또한 필요하였다. I^2C Bus를 이용한 데이터 전송에 있어서도 빠른 속도에서는 순간적인 데이터 오류가 발생하였으며, 어드레스 충돌현상도 발생하였다. 앞으로 이를 해결하기 위한 보다 나은 알고리즘도 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] Lattice Semi.Co., "Using the ispPAC 30 in a DWDM Laser Power Control Loop", *Application Note AN6028*, 2001

[2] Przemyslaw Otomanski, "Semiconductor laser controller-selected problems of design", *Proc. SPIE* vol. 4237, pp. 126-130, 2000

[3] Eric P. Rudd, "Laser Diode Driver with 5-Decade Range", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, NO. 1, pp. 2-4, 2000

[4] Lattice Semi.Co., "Thermoelectric Temperature Control Using the ispPAC20", *Application Note AN6029*, 2001

[5] Philips Semi.Co., " The I^2C-Bus Specification ver2.0", 1998