

설계 노트:

**HFDN-34.0**

Rev. 1, 04/08

---

---

MAX3991 을 사용한  
10Gbps 광 수신기에서의 정밀 신호 손실 검출

---

---



*Maxim Integrated Products*

## MAX3991 을 사용한 10Gbps 광 수신기에서의 정밀 신호 손실 검출

### 1 소개

신호손실 (LOS) 모니터는 10Gbps XFP 광 모듈의 시스템 디지털 진단에 필요하다. 불충분한 광 전력에 대한 모니터링을 통해 과도한 비트 에러를 초래할 수 있는 시스템 오류가 검출된다. 리미팅 앰프 IC 가 내장된 MAX3991 클록 및 데이터 복구는 XFP 모듈의 10Gbps 수신기에 최적화되어 있다. 이 소자는 트랜스임피던스 증폭기(TIA)에서 발생하는 출력 신호를 모니터하는 정밀 LOS 검출기를 제공한다. 이 출력 신호 진폭은 TIA 선형 범위 내에서 수신기의 최대값 광 전력(광 모듈 진폭 또는 OMA 이라고 함)과 비례한다. 모듈 설계자는 특정 비트 에러율(BER)에 대한 신호손실 어서트 (assert) 임계값을 프로그래밍할 수 있다.

이 애플리케이션 노트에서는 MAX3991 LOS 검출기의 특성을 개략적으로 살펴보고, 지정된 BER 에 맞추어 10Gbps 수신기에서 광 어서트 전력을 설정하는 방법을 설명한다. 또한 낮은 전력 레벨에서 동작할 수 있도록 LOS 히스테리시스를 증가시키는 방법도 제공된다.

### 2 10Gbps 수신기

그림 1 은 XFP 모듈의 일반적인 10Gbps 광 수신기를 보여준다. 10Gbps 트랜스임피던스 증폭기는 광 전류를 전압으로 변환한다. MAX3991 은 신호 증폭과 타이밍을 복구한다.

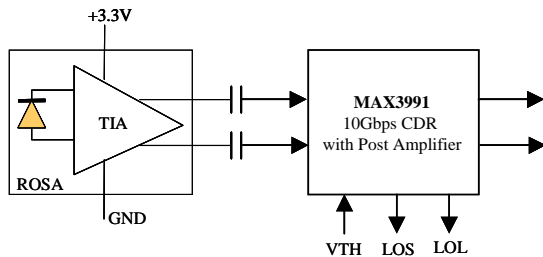


그림 1. 10Gbps XFP 광 수신기

신호 대 잡음비 및 BER 은 잡음 제한 광 수신기에서 직접적으로 관련이 있다. 입력 잡음 제한 수신기의 경우, BER 은 수신된 신호 전력의 기능을 한다. 따라서 BER 성능저하를 모니터링하는 정확한 솔루션은 리미팅 앰프의 입력에서 신호 진폭을 검출하는 것이다. 이 신호 증폭은 광 전력이 작은 레벨에서는 OMA 에 비례한다. 이러한 종류의 OMA 검출은 변조 제어를 할 수 없는 광 송신기가 그로 인해 온도와 노화에 대해 높은 소광비 (extinction ratio)를 유지할 수 없는 경우 매우 중요하다.

### 3 LOS 검출기 특성

MAX3991 LOS 검출기는 제곱 평균 제곱근 전력 검출기로 구현된다. 그림 2 는 LOS 검출 구조를 간략히 표시한 것이다.

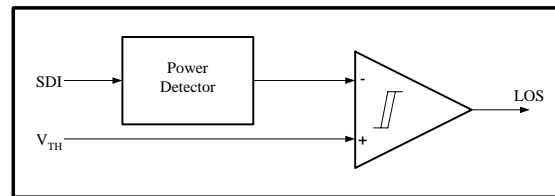


그림 2. MAX3991 LOS 검출 구조

Maxim 의 독자적인 설계로 구현된 MAX3991 LOS 검출기는 높은 정확도와 안정성을 제공하면서 동시에 소비전력은 최소화이다. 고정 제어 전압  $V_{TH}$  의 경우, 어서트 정확성은 프로세스, 온도, 전원에서  $\pm 1.5\text{dB}$  이상이며, 온도와 전원에 대한 어서트 안정성은  $\pm 10\%$ 를 넘는다. 이와 같이 높은 정확도와 안정성으로 모듈 설계자는 환경 변동에 대한 캘리브레이션을 다시 수행하지 않고도 광 어서트 임계값을 설정할 수 있다.

MAX3991 어서트 전압 범위는  $15\text{mVp-p} \sim 50\text{mVp-p}$  이다. 필요한 어서트 레벨의 10 배가 되는 제어 전압을 어서트 레벨을 설정하는

V<sub>TH</sub> 핀에 인가한다. 그림 3은 제어 전압 V<sub>TH</sub>에 대비한 LOS 어서트 (V<sub>assert</sub>) 및 디어서트 (V<sub>de-assert</sub>) 전압 특성을 보여준다.

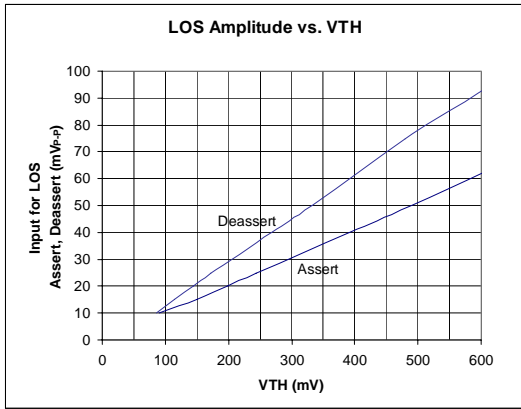


그림 3. LOS 어서트 vs. 제어 전압

임계값 V<sub>TH</sub>는 LOS가 어서트하는 검출 전력의 예상 값을 결정한다. 전력 검출기에 내재하는 잡음으로 인해 전력 검출기 출력은 평균 값으로부터 다양하게 나타날 수 있다. 이러한 편차는 가우스 분포를 가지며 LOS 어서트 레벨의 반복성에 영향을 미칠 수 있다. MAX3991의 경우, 가우스 분포를 보이는 전력 검출기 출력의 측정된 표준 편차 σ는 약 0.4mVrms이다. 예를 들어 예상되는 평균 어서트 전압이 20mVp-p 라면, 디바이스는 18.8mVp-p와 21.2mVp-p (±3σ) 사이에서 시간에 대해 99.8% 어서트할 것이다.

LOS 전력 검출기는 사용하지 않을 경우 V<sub>TH</sub> 핀을 VCC에 연결하여 디스에이블할 수 있다. 이렇게 하면 LOS 출력이 로우(low)로 떨어지므로 소비전력을 약 15mW 정도 줄일 수 있다.

#### 4 외부 저항기를 사용한 LOS 히스테리시스 증가

MAX3991은 디지털로 구현되므로, 최소 3.5dB에서 최대 3.9dB까지 엄격히 제어되는 내장 히스테리시스가 있다. 이 히스테리시스는 1.75dB ~ 1.95dB의 광 히스테리시스로 변환된다. 히스테리시스는 다음과 같이 정의한다.

$$Hysteresis = 20 \times \log\left(\frac{V_{de-assert}}{V_{assert}}\right) (dB) \quad (1)$$

그림 3은 어서트 및 디어서트에 대한 공칭 히스테리시스를 보여준다. 전력 검출기에 존재하는 잡음을 고려할 때, 필요한 입력 어서트 전압이 15mVp-p에 근접하거나 또는 미만인 경우, 간헐적인 채터가 발생할 수 있다. 입력이 작은 경우에 LOS 채터링을 방지하려면 그림 4와 같이 외부 저항기를 사용해 히스테리시스를 증가시킬 수 있다.

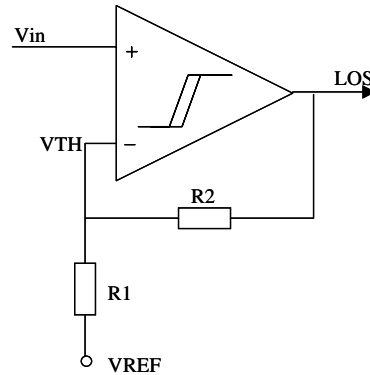


그림 4: 외부 저항기를 사용한 LOS 히스테리시스 증가

V<sub>REF</sub>(V)를 인가된 외부 전압으로 가정한다면, 임계 제어 전압 V<sub>TH</sub>는 다음과 같다.

$$V_{TH(Assert)} = V_{REF} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} + 0.2 \cdot \frac{R1}{R1 + R2} \quad (2)$$

$$V_{TH(de-assert)} = V_{REF} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} + 3.0 \cdot \frac{R1}{R1 + R2} \quad (3)$$

추가 히스테리시스는 다음과 같을 것이다.

$$Hysteresis_{Added} = 20 \log\left(\frac{R2 \times V_{REF} + 3.0 \times R1}{R2 \times V_{REF} + 0.2 \times R1}\right) (dB) \quad (4)$$

총 히스테리시스는 내부 히스테리시스와 수식 (4)에서 구한 추가 히스테리시스를 합한 값(단위 dB)이다.

LOS 핀의 로딩을 방지하려면 저항기 R2를 선택한다. 40kΩ보다 큰 값을 권장한다. 히스테리시스를 원하는 레벨로 증가시키려면 저항기 R1을 선택한다. 예를 들어 R2=44kΩ,

R1=1.5kΩ, V<sub>REF</sub>=0.3V 인 경우, 추가 히스테리시스는 2.4dB 가 되고 총 히스테리시스는 약 6dB 가 될 것이다.

## 5 LOS 및 LOL 출력 결합

에러 없는 수신을 위해서는 수신 광 신호가 충분한 전력과 적절한 데이터 레이트를 가져야 한다. LOS 검출기는 신호 전력만 모니터링한다. 따라서 보다 우수한 신호를 얻으려면 PLL LOL (loss-of-lock) 상태를 모니터링할 필요가 있다.

LOL 검출기는 복구된 클록과 기준 클록 간의 주파수 차를 비교한다. 입력 신호가 없는 경우 PLL 록 실패(lock failure)를 표시하는데 걸리는 시간은 내부 VCO 드리프트 레이트(drift rate)에 따라 달라지므로 예측하기 어렵다. 입력 신호에 천이가 없을 때 LOL 어서트 시간에 대한 불확실성을 방지하려면 표 1 과 같이 LOS 및 LOL 출력을 외부에서 결합한다.

표 1. LOL 및 LOS 기능 결합

| 상태                           | LOL | LOS | LOL+LOS |
|------------------------------|-----|-----|---------|
| 입력 신호 전력이 임계값 초과, PLL 은 록 상태 | 0   | 0   | 0       |
| 입력 신호 전력이 임계값 초과, PLL 은 록 해제 | 1   | 0   | 1       |
| 입력 신호 전력이 임계값 미만, PLL 은 록 상태 | 0   | 1   | 1       |
| 입력 신호에 천이 없음, PLL 은 결국 록 해제  | 0→1 | 1   | 1       |

## 6 특정 BER 에 맞추는 MAX3991 LOS 설정

다음의 예는 아래와 같은 수신기 파라미터를 가정할 때 MAX3991 LOS 표시기의 광 어서트 전력 설정 방법을 보여준다.

1. 광 감도: BER≤10<sup>-12</sup>에서 P<sub>ave</sub>= -18dBm
2. 소광비: r<sub>c</sub>=6.6
3. PIN 다이오드 응답성: 0.85A/W
4. TIA 트랜스임피던스 이득: 3.0kΩ

평균 광 전력과 OMA 의 관계는 아래의 수식 (5)와 같다.

$$P_{ave} \text{ (dBm)} = 10 \log\left(\frac{OMA}{2} \times \frac{r_c + 1}{r_c - 1} \times 1000\right) \text{ (5)}$$

표 2는 수신기 감도가 수신기 입력 기준 잡음에 의해 결정된다고 가정할 경우, 수신기의 다양한 지점에서 BER 과 신호 레벨의 관계를 보여준다.

예를 들어, LOS 를 BER=10<sup>-3</sup>에서 어서트하고자 한다면, MAX3991 어서트 임계값을 26mVp-p 로 설정해야 한다. 이 값은 -21.6dBm 의 광 평균 어서트 전력, -19.85dBm 의 디어서트 전력 및 1.75dB 의 광 히스테리시스에 대응한다. 그림 5 를 참조한다.

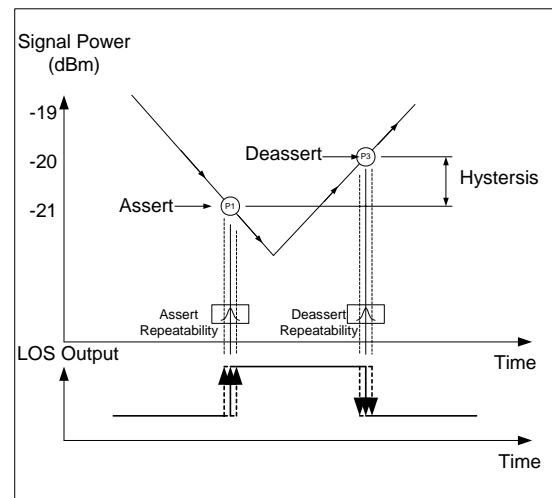


그림 5. 신호 손실 함수

표 2. 일반적인 수신기 비트 에러율과 신호 레벨

| BER        | $S_{p-p}/N_{rms}$ | Pave (dBm) | OMA ( $\mu W_{p-p}$ ) | TIA 입력 ( $\mu A_{p-p}$ ) | MAX3991 입력 (mVpp) |
|------------|-------------------|------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| $10^{-3}$  | 6.18              | -21.6      | 10.3                  | 8.7                      | 26                |
| $10^{-4}$  | 7.438             | -20.8      | 12.4                  | 10.5                     | 31                |
| $10^{-6}$  | 9.507             | -19.7      | 15.8                  | 13.4                     | 40                |
| $10^{-8}$  | 11.224            | -19.0      | 18.6                  | 15.8                     | 48                |
| $10^{-9}$  | 11.996            | -18.7      | 19.9                  | 16.9                     | 51                |
| $10^{-10}$ | 12.7              | -18.4      | 21.1                  | 17.9                     | 54                |
| $10^{-12}$ | 14.069            | -18        | 23.3                  | 19.9                     | 59                |

## 7 결론

MAX3991은 10Gbps 수신기에서 낮은 OMA를 정확히 검출하는 솔루션을 제공한다. 사용자는 특정 BER에 따라 LOS 어서트 표시기를 설정할 수 있다. 입력 신호가 작을 때 신뢰할 수 있는 LOS 검출을 얻고자 한다면 추가적인 히스테리시스를 추가할 수 있다.