

## Laser driver per fibre ottiche con controllo automatico della modulazione

Franco Contadini  
Maxim Integrated Products

I diodi laser per applicazioni di telecomunicazione sono caratterizzati da due parametri principali:

- La *corrente di soglia*,  $I_{th}$ , che è definita come il livello minimo di corrente in grado di stimolare l'emissione di fotoni. Livelli di corrente più bassi danno luogo ad una bassa emissione spontanea (Fig. 1).
- La *pendenza dell'efficienza*,  $S$ , rappresenta l'andamento della potenza ottica d'uscita rispetto alla corrente d'ingresso, superiore a quella di soglia, ed è definita dalla seguente equazione.

$$S = \frac{d(\text{potenza ottica di uscita})}{d(\text{corrente d'ingresso del laser})} \quad (1)$$

Nell'utilizzo reale, la corrente di pilotaggio massima e minima,  $I_{max}$  e  $I_{min}$ , deve essere scelta in modo che la potenza d'uscita ottica media,  $P_{av}$ , (equazione 2) sia adeguata per l'applicazione e il rapporto d'estinzione,  $r_e$ , (equazione 3) sia il più elevato possibile:

$$P_{av} = \frac{P_{max} + P_{min}}{2} \quad (2)$$

$$r_e = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad (3)$$

Il tentativo di ottenere un rapporto d'estinzione elevato ma controllato è fonte di molti problemi quando si utilizzano i laser driver. D'altro canto il laser non deve mai funzionare al di sotto della corrente di soglia, in quanto si possono verificare ritardi di start-up imprevedibili, forme d'onda mediocri, un aumento del rumore e un degrado delle proprietà spettrali del laser ("chirp").

Bisogna tener conto che le caratteristiche del laser variano da

laser a laser e in qualche caso anche con la temperatura e l'invecchiamento.

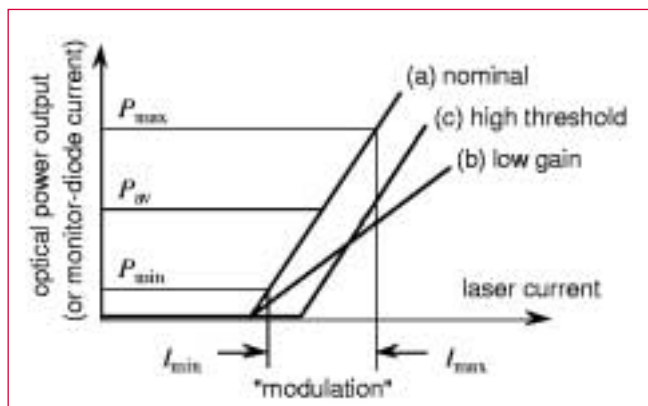


Fig. 1 - Caratteristica di un tipico diodo laser per comunicazioni accoppiato in dc. L'asse orizzontale rappresenta la corrente che scorre nel laser mentre l'asse verticale rappresenta la potenza ottica d'uscita

Supponiamo ad esempio di aver configurato il laser driver con i valori appropriati di  $I_{max}$  e  $I_{min}$  per ottenere i valori desiderati di  $P_{av}$  e  $r_e$  utilizzando la caratteristica nominale del laser (a) riportata in figura 1. Supponiamo ora che la caratteristica reale del laser differisca da quella nominale. Consideriamo due casi:

Caso 1. La pendenza dell'efficienza del laser è ridotta, ma la soglia è inalterata (questo può essere dovuto dalle tolleranze iniziali di costruzione, da un cambiamento di temperatura o da una variazione durante l'invecchiamento del laser). Con riferimento alla caratteristica (b) di figura 1, è ovvio che i livelli di potenza ottica massimi, minimi e medi sono più bassi di quelli configurati inizialmente. Il sistema probabilmente rimarrà sta-

bile, ma il rapporto segnale-rumore e il tasso d'errore saranno degradati.

Caso 2. La pendenza dell'efficienza rimane inalterata, ma la soglia di corrente è maggiore di quella nominale, come la caratteristica (c) di figura 1. Questa è la situazione più disastrosa, nella quale il funzionamento del laser scende al di sotto della soglia.

## Retroazione ottica attraverso il diodo di Monitor

Molti costruttori di laser, inseriscono nello stesso, un foto diodo di monitor. I foto diodi sono caratterizzati da una relazione lineare tra la potenza ottica d'ingresso e la corrente di polarizzazione inversa. I fotoni incidenti generano all'interno del diodo coppie lacuna-elettrone e aumentano la corrente di leakage inversa al di sopra del valore di "oscuramento".

Quindi, controllando la corrente si misura la potenza ottica d'uscita del laser. Integrando il laser e il circuito di monitor in un sistema di retroazione è possibile controllare l'uscita ottica. La figura 2 mostra, l'idea generale.

La forma d'onda desiderata dell'uscita ottica del laser è prima scalata di un fattore pari all'inverso del guadagno del monitor,

$A_{\text{monitor}}$  dove:

$$A_{\text{monitor}} = \frac{d(\text{monitor photocurrent})}{d(\text{laser optical power output})} \quad (4)$$

La forma d'onda scalata è utilizzata come ingresso di un clas-

diodi con una larghezza di banda maggiore, ma questo comporta un costo più elevato e origina altri problemi. Quando il data rate è basso (fino a 100Mps), il sistema è in grado di funzionare. Ci sono molte cose che possono provocare malfunzionamenti con velocità elevate:

- In generale, i problemi derivano dal fatto che per riprodurre correttamente la forma d'onda d'ingresso la larghezza di banda dell'anello deve essere dello stesso ordine della bit rate. Quindi una forma d'onda di 2.5Gbps, richiede una larghezza di banda di circa 2.5GHz. (2GHz o 1.5GHz possono essere sufficienti, dipende dalla fedeltà con cui deve essere riprodotto il segnale d'ingresso).

- Il diodo di monitor contribuisce a creare nell'anello di retroazione un polo dominante a 100MHz. Quindi, i requisiti sull'alto guadagno dell'amplificatore di corrente diventano estremi e risulta difficile stabilizzare l'anello di retroazione.

- Si rammenta che la risposta totale del sistema di retroazione ha uno zero in ciascun polo della rete di retroazione.

Quindi il guadagno totale della parte di retroazione di figura 2 sale al di sopra dei 100MHz e la sua uscita diventa estremamente rumorosa.

Visto in un altro modo, l'anello di retroazione diventa inefficace al di sopra dei 100MHz, quindi l'uscita del sistema comprende tutto il rumore dell'amplificatore ad alto guadagno che lavora senza retroazione.

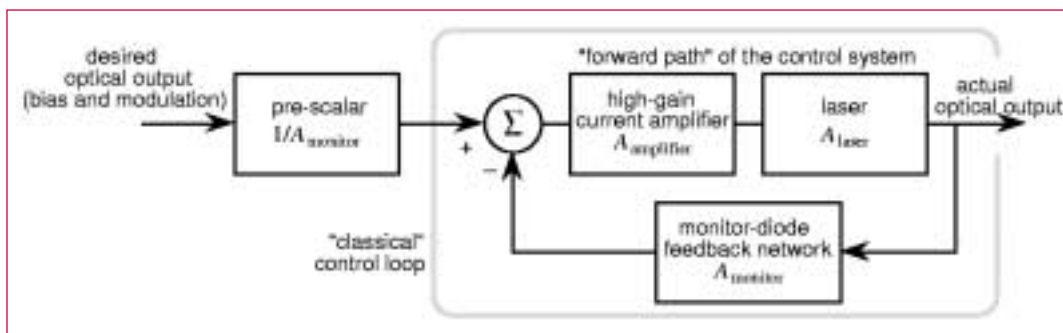


Fig. 2 - Controllo del laser con retroazione

sico sistema retro azionato, nel quale sul percorso diretto è presente un amplificatore di corrente ad alto guadagno e il laser, mentre la rete di retroazione è costituita dal diodo di monitor. Quindi, se il guadagno dell'anello è elevato a tutte le frequenze d'interesse, la forma d'onda reale dell'uscita ottica ricalca quella desiderata:

$$\text{loop gain} = A_{\text{amplifier}} \times A_{\text{laser}} \times A_{\text{monitor}} \quad (5)$$

$P_{\text{max}}$  e  $P_{\text{min}}$ ,  $P_{\text{av}}$  e  $r_e$  sono tutte controllate e mantenute costanti nonostante le variazioni delle caratteristiche del laser.

Il problema di questa soluzione è dato dalla larghezza di banda limitata dei foto diodi: in generale quest'ultimi si comportano come un filtro passa basso, con una frequenza di taglio di circa 100MHz. Naturalmente è possibile realizzare

## Controllo automatico della potenza

In qualche caso può essere utile rinunciare all'elevata larghezza di banda dell'anello e sostituire l'amplificatore ad alto guadagno con un integratore:

$$A_{\text{amplifier}} \Rightarrow \frac{1}{s\tau} \quad (6)$$

Dove

$$\frac{\text{uscita ottica reale}}{\text{uscita ottica desiderata}} = \frac{1}{1 + s\tau A_{\text{laser}} A_{\text{monitor}}} \quad (7)$$

Il sistema diventa un filtro passa basso. Se la costante di tempo dell'integratore  $\tau$  è scelta sufficientemente lunga, la potenza ottica d'uscita media  $P_{\text{av}}$  diventa uguale all'uscita desiderata, indipendentemente dal pattern dati utilizzato nella forma d'on-

da della modulazione. Comunque tutte le informazioni ad alta frequenza presenti su quest'ultima sono filtrate, quindi  $P_{max}$ ,  $P_{min}$  e la loro differenza non sono controllate. Si ottiene il controllo automatico della potenza (APC), ma non il controllo automatico della modulazione (AMC).

Sono comuni sistemi con laser driver che incorporano la funzione APC. L'utente può programmare la potenza ottica d'uscita media, che sarà mantenuta automaticamente a dispetto delle variazioni del laser. Comunque l'uscita ottica picco-picco e la velocità d'estinzione non sono controllate e devono essere configurate e calibrate per ciascun laser.

### Controllo automatico della modulazione attraverso un tono pilota

Il dispositivo MAX3865 di Maxim, permette il controllo automatico della modulazione, aggiungendo alla corrente del laser un piccolo tono pilota. Quest'ultimo è un'onda quadra con una frequenza di circa 1MHz, che è sufficientemente bassa per passare attraverso il diodo di monitor senza attenuazione. La figura 3 mostra lo schema a blocchi semplificato. Gli anelli di controllo per la corrente di polarizzazione (media) del laser e la corrente di modulazione (picco-picco) sono separati. L'anello di retroazione per il controllo automatico della potenza (APC), mantiene costante la corrente di polarizzazione media nel diodo di monitor e rispecchia essenzialmente il circuito di figura 2.

La corrente in DC proveniente dal diodo di monitor è sottratta dalla corrente di polarizzazione scalata (Fig. 3, lato sinistro). La differenza risultante o *errore di polarizzazione* è integrato e applicato al laser attraverso un opportuno stadio d'uscita ad alta corrente. Nello stato stabile, l'errore di polarizzazione deve essere uguale a zero. Quindi il segnale di polarizzazione retroazionato deve essere uguale alla corrente d'ingresso scalata. La corrente media del diodo di monitor è controllata, quindi la potenza d'uscita ottica media del laser è controllata. Per comprendere la funzione di controllo automatico della modulazione (AMC), supponiamo che inizialmente la corrente di modulazione  $I_{mod}$  sia conosciuta. Quindi il dato picco-picco della corrente di

modulazione del laser è conosciuto e la corrente del tono pilota è conosciuta. All'uscita del diodo di monitor, la componente di modulazione della corrente, a causa della larghezza di banda ristretta, è circa zero, ma la componente del tono pilota non subisce alcuna restrizione e fornisce un'indicazione reale dell'uscita ottica.

La corrente desiderata del tono pilota è riportata nella parte superiore sinistra di figura 3, da questa corrente è sottratta la corrente di retroazione del tono pilota. La differenza risultante o *errore del tono pilota* è integrata e diventa  $I_{mod}$ . Come per l'anello di controllo della polarizzazione, nello stato stabile la corrente di retroazione del tono pilota deve uguagliare il segnale d'ingresso.

### Descrizione dettagliata

La figura 4 riporta lo schema a blocchi del MAX3865, semplificato solo negli elementi che scalano la corrente, localizzati nei blocchi 4,8,13 e 16. La corrente massima su tutte le resistenze di programmazione esterne è di circa 200µA. Le correnti nei blocchi come i sommatatori, i moltiplicatori e gli integratori sono di pochi microampère. Solo nei blocchi che s'interfacciano

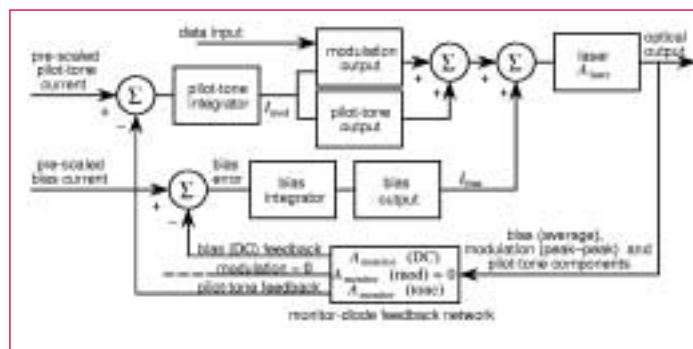


Fig. 3 - Schema a blocchi concettuale di un laser driver con APC e AMC

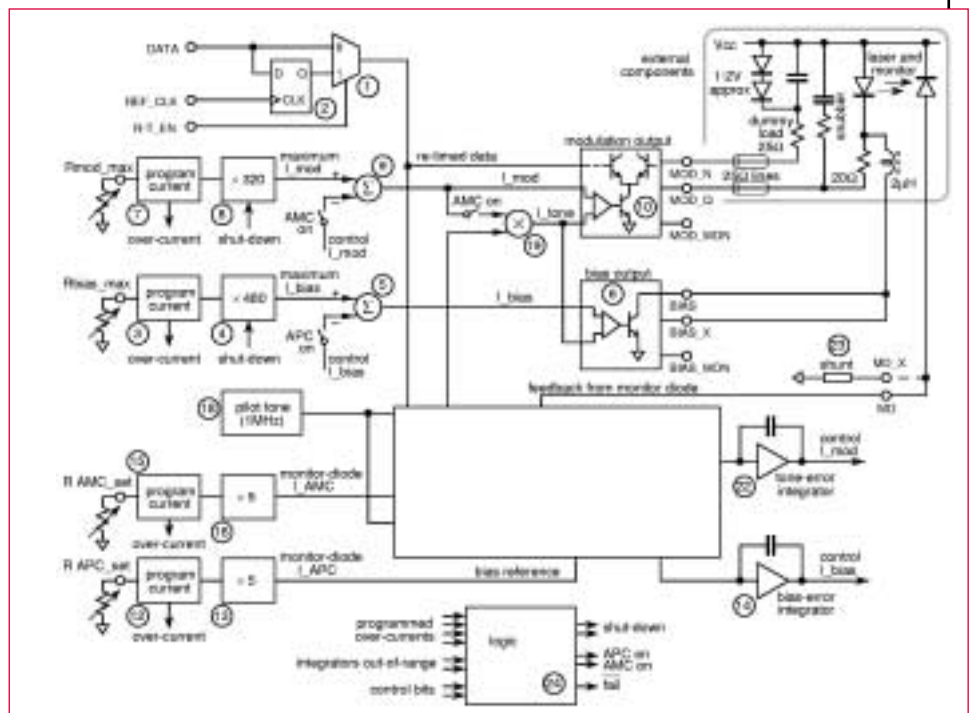


Fig. 4 - Schema a blocchi del laser driver MAX3865, che integra APC e AMC

con l'esterno vi sono correnti significative.

- Corrente massima per la polarizzazione del laser = 100mA
- Corrente massima per la modulazione del laser = 60mA picco-picco
- Corrente massima istantanea sul diodo di monitor = 1mA

I terminali di monitor BIAS\_MON e MOD\_MON permettono l'accesso alle reali correnti di polarizzazione e modulazione, scalate rispettivamente dei fattori 1/48 e 1/32.

Il circuito ha quattro modi di funzionamento, che sono programmati attraverso due bit di controllo, compatibili TTL:

- (0,0) = shut down,
- (0,1) = modo manuale,
- (1,0) = modo APC,
- (1,1) = modo AMC.

Nel modo shut-down, tutte le correnti del laser sono forzate a zero, ma il resto del circuito rimane operativo, in particolare i vari integratori sono pronti a partire una volta selezionato il modo operativo. Nelle condizioni di fault è attivata una segnalazione d'allarme FAIL (compatibile TTL e attiva a livello basso).

In tutti i modi di funzionamento, attraverso il multiplexer (1), il dato d'ingresso può essere instradato verso lo stadio di modulazione d'uscita (10) o direttamente o attraverso il latch di re-timing (2). Nell'ultimo caso il jitter presente sul dato può essere eliminato se è disponibile un segnale di clock di riferimento. Il re-timing è abilitato attraverso il segnale di controllo R-T\_EN (compatibile TTL e attivo a livello alto).

## Modo Manuale

Nel modo manuale, le correnti di polarizzazione e modulazione sono programmate direttamente attraverso le resistenze esterne o piccoli DAC con uscita in corrente. Come sottolineato precedentemente la corrente massima sulla resistenza di programmazione è di circa 200µA.

La corrente di polarizzazione d'uscita è programmata nel blocco (3) collegando una resistenza verso massa:

$$I_{\text{bias}} = 480 \left[ \frac{1.2\text{V}}{R_{\text{bias\_max}} + 2\text{k}\Omega} \right] \quad (8)$$

$$= 480 \times I(R_{\text{bias\_max}})$$

Dove  $I(R_{\text{bias\_max}})$  è la corrente che attraversa  $R_{\text{bias\_max}}$ . La ragione della terminologia  $R_{\text{bias\_max}}$  è spiegata nella sezione "Modo APC". Il blocco (3) è protetto dalle condizioni di corto circuito verso massa o  $V_{\text{CC}}$  e l'intero chip se la corrente programmata è troppo alta va in shut down. Dal blocco (3), la corrente di polarizzazione passa, attraverso il sottrattore (5), all'amplificatore d'uscita per la polarizzazione (2). La corrente

fluisce quindi nel catodo del laser attraverso una piccola induttanza, che isola il laser dalla capacità d'uscita dell'amplificatore. Analogamente l'uscita per la corrente di modulazione o picco-picco è programmata nel blocco (7) collegando una resistenza verso massa:

$$I_{\text{mod}} = 320 \left[ \frac{1.2\text{V}}{R_{\text{mod\_max}} + 2\text{k}\Omega} \right] \quad (9)$$

$$= 320 \times I(R_{\text{mod\_max}})$$

Dove  $I(R_{\text{mod\_max}})$  è la corrente che scorre attraverso  $R_{\text{mod\_max}}$ . Dal blocco (7), la corrente passa, attraverso il sottrattore (9), allo stadio d'uscita per la modulazione (10) e quindi al laser. Essenzialmente, lo stadio d'uscita per la modulazione è costituito da un "differential pair", la cui base è pilotata dalla forma d'onda del dato ed è soggetto ad una corrente in DC uguale alla corrente di modulazione picco-picco programmata.

Con la composizione di figura 4, la corrispondenza tra le uscite in corrente del dispositivo  $I_{\text{bias}}$  e  $I_{\text{mod}}$  e le correnti del laser  $I_{\text{max}}$  e  $I_{\text{min}}$  di figura 1 è:

$$\text{laser } I_{\text{min}} = \text{chip } I_{\text{bias}} \quad (10)$$

$$\text{laser } I_{\text{max}} = \text{chip } I_{\text{bias}} + \text{chip } I_{\text{mod}} \quad (11)$$

## Layout: C e L parassite

I cambiamenti della tensione e della corrente nello stadio d'uscita di modulazione e nel laser sono estremamente veloci, circa  $10^{10}\text{V/sec}$  e  $10^9\text{A/sec}$ .

Quindi, correnti sostanziose fluiscono verso massa perfino attraverso le piccole capacità parassite e cali di tensioni sostanziose si presentano sulle induttanze parassite. Questo può degradare la forma d'onda dei dati.

$$I = C \frac{dV}{dt} \quad (12)$$

$$V = L \frac{dI}{dt} \quad (13)$$

Tutti gli sforzi devono essere quindi rivolti a minimizzare C e L parassite. Un buon layout è essenziale.

Come mostrato in figura 4, le due sezioni dell'uscita differenziale di modulazione (chiamate uscite DUMMY e LASER) sono ugualmente caricate.

Le correnti d'uscita sono instradate, utilizzando delle strip line da 25Ω d'uguale lunghezza, sul carico fittizio da 25Ω e sul laser.

L'impedenza del laser di 25Ω è costituita da una resistenza serie (di circa 20Ω) e da uno snubber RC. Il carico fittizio da 25Ω, il laser e lo snubber sono collegati all'alimentazione  $V_{\text{CC}}$ .

## Accoppiamento in AC e DC

I collettori dei transistor dell'uscita di modulazione, per lavorare correttamente, devono rimanere al di sopra di 1.8V. In figura 5:

$$V_{\text{modulation out}} = V_{CC} - V_{\text{laser}} - V_{\text{series R}} - V_{\text{parasitic L}} \quad (14)$$

La caduta di tensione sul laser, in corrispondenza ai picchi della corrente di modulazione è più di un volt, dello stesso ordine di grandezza è la caduta sulla resistenza serie. È estremamente difficile ottenere induttanze parassite minori di 1nH, questo corrisponde ad una pista di circa 1mm sul PCB, a meno che la linea di trasmissione non sia correttamente terminata. In base all'equazione 13, la caduta di tensione di picco sull'induttanza è ancora di un altro volt. La sostituzione di tutti questi valori nell'equazione 14, mostra che la tensione  $V_{CC}$  deve essere circa 5V, quindi la tensione standard di 3.3V non è sufficiente. Comunque il MAX3865 permette il funzionamento a 3.3V, accoppiando in AC le uscite di modulazione al laser. In figura 5, la tensione media sulle uscite di modulazione è  $+V_{CC}$ . L'escursione effettiva della tensione d'uscita è riferita a questa tensione media, sale al di sopra di  $V_{CC}$  quando la corrente di modulazione istantanea è piccola e scende al di sotto di questo valore in corrispondenza di una corrente elevata. Con riferimento alle correnti del laser in figura 1:

$$I_{\text{laser min}} = I_{\text{chip bias}} - \frac{1}{2} I_{\text{chip mod}} \quad (15)$$

$$I_{\text{laser max}} = I_{\text{chip bias}} + \frac{1}{2} I_{\text{chip mod}} \quad (16)$$

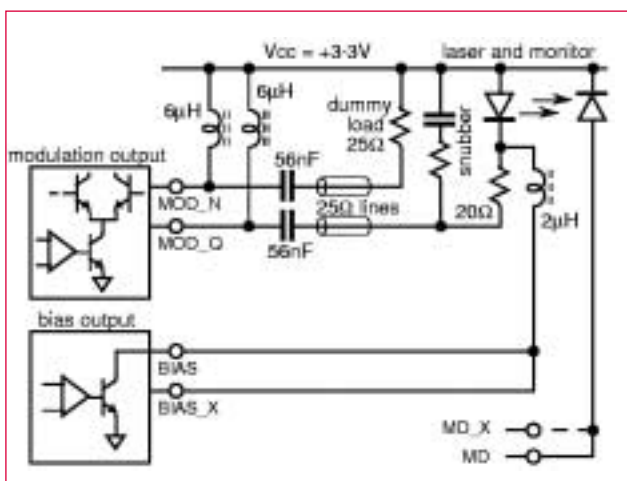


Fig. 5 - Accoppiamento in AC del MAX3865 al laser per il funzionamento con  $V_{CC} = 3.3V$ . La combinazione di  $6\mu H$  e  $56nF$  genera con  $25\Omega$  uno smorzamento critico e un tempo d'accoppiamento costante di 600nsec, che equivale a 1500 bit a 2.5 Gbps. Se è richiesta una costante di tempo più lunga sia i valori di L sia quelli di C possono essere aumentati proporzionalmente

## Modo APC

Nel modo APC, è abilitato il secondo ingresso del sottrattore (5). Il segnale che va allo stadio d'uscita di polarizzazione non è la corrente programmata nei blocchi (3) e (4), ma la differenza tra questa e l'uscita dell'integratore di polarizzazione (14).

La corrente di controllo  $I_{\text{bias}}$  sottratta da quella programmata  $I_{\text{bias massima}}$ , fornisce la corrente  $I_{\text{bias}}$  effettiva sul laser, che non può superare la corrente programmata. Quindi, la terminologia  $R_{\text{bias_max}}$  è appropriata per questo modo di funzionamento.

Questa configurazione fornisce una funzione di sicurezza automatica contro il sovrappilotaggio e la distruzione del laser in condizioni di guasto.

Quando l'anello APC ha raggiunto l'equilibrio, le componenti medie o DC della corrente di retroazione proveniente dal diodo di monitor, che fluiscono nel blocco (20), devono uguagliare la somma delle componenti medie delle altre tre correnti.

Se, per esempio, la corrente di retroazione, proveniente dal diodo monitor, è momentaneamente troppo elevata, l'uscita dell'integratore (14) diventa positiva e sul blocco (5) questo riduce la corrente di polarizzazione verso il laser.

Ma le medie del tono di riferimento e la densità degli impulsi delle correnti di compensazione deve essere zero, in quanto sono originate nei moltiplicatori (vedi sezione 4.2.1).

Perciò, la corrente media nel diodo di monitor deve uguagliare la corrente di polarizzazione di riferimento programmata, originata nel blocco (12):

$$I_{\text{av (monitor diode)}} = 5 \left[ \frac{1.2V}{R_{\text{APC set}} + 2k\Omega} \right] \quad (17)$$

$$= 5 \times I(R_{\text{APC set}})$$

Dove  $I(R_{\text{APC set}})$  è la corrente che scorre su  $R_{\text{APC set}}$ . In questo modo è controllata la potenza ottica d'uscita del laser.

La stabilità dell'anello di retroazione APC dipende da una combinazione della costante di tempo dell'integratore di polarizzazione e dagli altri guadagni e poli circostanti l'anello di retroazione. In particolare, dipende dal guadagno di corrente laser-monitor.

Lo shunt di corrente (23) permette di ridurre il guadagno dell'anello quando il guadagno di corrente laser-monitor è troppo alto.

Per guadagni del laser minori di 0.005, si può collegare MD\_X a massa o lasciarlo scollegato; per guadagni del laser maggiori di 0.02, bisogna collegare MD\_X a MD; per guadagni del laser compresi tra 0.005 e 0.02 si possono usare entrambe le configurazioni.

## Compensazione della densità degli impulsi

Nel lungo termine, il dato d'ingresso contiene un ugual

numero di "0" e "1" e la potenza ottica d'uscita media è la media delle potenze corrispondenti al dato 0 e al dato 1. Comunque nel breve termine ci può essere un eccesso locale o di "0" o di "1".

Detto diversamente, la densità degli impulsi nel lungo termine è il 50% ma nel breve termine non è del 50%.

Ogni anello APC tenta di mantenere la potenza media costante e quindi regola le potenze che corrispondono al dato 0 e al dato 1, su e giù in base alla densità degli impulsi locale.

La velocità con cui è eseguita questa regolazione è determinata dalla costante di tempo dell'anello APC. Una soluzione comune per ridurre quest'effetto non desiderato è quella di rendere questa costante molto lunga, ma questo comporta come svantaggio il rallentamento della risposta verso altri cambiamenti.

Il MAX3865 usa una tecnica diversa per la compensazione della densità degli impulsi.

Quando la densità locale degli impulsi del dato è il 50%, l'uscita media dal moltiplicatore per la densità degli impulsi è zero.

Comunque quando il dato è costituito localmente da un eccesso di "1", l'uscita del moltiplicatore sopraccitato diventa positiva e si somma alla corrente di riferimento di polarizzazione.

I dettagli numerici in figura 4 sono che questo aumento nella corrente di riferimento effettiva compensa esattamente l'aumento locale della corrente di retroazione proveniente dal diodo di monitor, fornendo la corrente *monitor-diode*  $I_{AMC}$ , che originata nel blocco (15), è programmata uguale alla differenza tra le correnti relative al dato 0 e al dato 1 nel diodo di monitor.

(Questo richiede che la corrente  $I_{AMC}$  sia programmata uguale alla corrente di modulazione del diodo di monitor).

Non vi è quindi nessun'uscita d'errore applicata all'ingresso dell'integratore (14) e nessun cambiamento nella corrente di polarizzazione del laser.

## Modo AMC

Nel modo AMC, è abilitato il secondo ingresso del sottrattore (9) e anche quello del moltiplicatore (19).

La corrente programmata  $I_{mod}$  massima nel blocco (7) prende il significato d'estremo superiore dell'uscita della corrente di modulazione picco-picco, esattamente come la configurazione per la corrente di polarizzazione descritta nella sezione "Modo APC".

La corrente di controllo  $I_{mod}$  sottratta da quella massima maximum  $I_{mod}$  dà la corrente effettiva del laser  $I_{mod}$ .

Il moltiplicatore (19) genera la corrente per il tono pilota e la somma sia all'uscita per la modulazione che a quella per la polarizzazione.

C'è quindi una componente del tono pilota nel diodo di monitor.

Quando l'anello AMC ha raggiunto l'equilibrio, la componente del tono pilota della corrente di retroazione proveniente dal diodo di monitor deve essere uguale alla corrente di riferimento del tono pilota, che è originata nei blocchi (15), (16) e (20).

Se, per esempio la corrente di retroazione del diodo di monitor è momentaneamente troppo alta, la differenza risultante riduce la corrente di modulazione (e quindi la corrente del tono pilota) nel laser.

La corrente del tono pilota nel diodo di monitor e quindi la corrente di modulazione picco-picco sono controllate:

$$I_{p-p(\text{monitor diode})} = 5 \left[ \frac{1.2V}{R_{AMC\_set} + 2k\Omega} \right] \quad (18)$$

$$= 5 \times I(R_{AMC\_set})$$

Dove  $I(R_{AMC\_set})$  è la corrente che scorre attraverso  $R_{AMC\_set}$ .

La potenza ottica d'uscita picco-picco del laser è controllata. Ricapitolando, la potenza ottica media d'uscita e i rapporti d'estinzione nel modo AMC sono dati da:

$$P_{av} = \frac{I_{av(\text{monitor diode})}}{A_{\text{monitor}}}$$

$$= \frac{6V}{(R_{APC\_set} + 2k\Omega) A_{\text{monitor}}}$$

$$= \frac{5 \times I(R_{APC\_set})}{A_{\text{monitor}}} \quad (19)$$

$$r_e = \frac{I_{av(\text{monitor diode})} + \frac{1}{2} I_{p-p(\text{monitor diode})}}{I_{av(\text{monitor diode})} - \frac{1}{2} I_{p-p(\text{monitor diode})}}$$

$$= \frac{R_{AMC\_set} + \frac{1}{2} R_{APC\_set} + 3k\Omega}{R_{AMC\_set} - \frac{1}{2} R_{APC\_set} + 1k\Omega}$$

$$= \frac{I(R_{APC\_set}) + \frac{1}{2} I(R_{AMC\_set})}{I(R_{APC\_set}) - \frac{1}{2} I(R_{AMC\_set})} \quad (20)$$

Dove  $A_{\text{monitor}}$  è il guadagno del diodo di monitor definito dall'equazione 4.

Il MAX3865 può essere accoppiato in DC se si utilizza una  $V_{CC} = 5V$  o accoppiato in AC se si utilizza una  $V_{CC} = 3.3V$ .

Le resistenze di programmazione  $R_{APC\_set}$  e  $R_{AMC\_set}$  non sono influenzate, la compensazione della densità degli impulsi è automatica in entrambi i casi.

### Fine della vita del Laser

Quando il laser si approssima alla fine della sua vita utile, le correnti di modulazione e polarizzazione richieste per mantenere la sua potenza ottica diventano più elevate.

Il MAX3865 aumenta automaticamente le sue correnti d'uscita in base a quanto richiesto.

La segnalazione d'allarme FAIL, è attivata quando una delle uscite di corrente supera l'estremo superiore del valore programmato attraverso  $R_{bias\_max}$  o  $R_{mod\_max}$ , equazioni (8) e (9).

Alternativamente l'avvicinarsi alla fine della vita del laser può essere rilevato osservando le versioni scalate di  $I_{bias}$  e  $I_{mod}$  sui terminali d'uscita BIAS\_MON e MOD\_MON, e accorgendosi quando questi si avvicinano ai valori limite.

$$I_{bias\_mon} = \frac{I_{bias}}{48}, \quad (21)$$

$$I_{mod\_mon} = \frac{I_{mod}}{32} \quad (22)$$

Se le uscite BIAS\_MON e MOD\_MON non sono usate devono essere collegate a  $V_{CC}$ .

### Retroazione attraverso il diodo di monitor

È riconosciuto che, per un qualsiasi sistema con retroazione la funzione di trasferimento ad anello chiuso totale, si avvicina all'inverso della funzione di trasferimento della rete di retroazione.

Quindi, se (per esempio) le resistenze di retroazione attorno all'amplificatore operazionale cambiano valore, il guadagno totale deve cambiare.

Il MAX3865 non si comporta diversamente. In un qualsiasi sistema, che usa la retroazione, attraverso il diodo di monitor, per controllare la potenza ottica d'uscita del laser, il diodo di monitor costituisce la rete di retroazione. Quindi, se la caratteristica del monitor cambia, l'uscita ottica deve cambiare.

Quello che il MAX3865 controlla e mantiene costante, a dispetto dei cambiamenti nella combinazione laser/monitor-diodo, sono le correnti medie e picco-picco nel diodo di monitor IAPC e IAMC.

Se si modifica la caratteristica del laser, cambiando la sua temperatura, si deve cambiare il diodo di monitor. Quindi ogni cambiamento osservato sull'uscita ottica del sistema può essere associata a quest'ultima, non a un guasto del MAX3865.