

TRASMISSIONI OTTICHE E LASER

Carlo Vignali, I4VIL

carlo.vignali@unipr.it

LED e LASER

La distribuzione di energia della radiazione di ricombinazione emessa da un diodo LED presenta uno stretto picco legato all'energia della gap tra le bande tipica del materiale che costituisce la giunzione. La radiazione emessa può essere nel vicino infrarosso, nel visibile in una grande varietà di colori o nel vicino ultravioletto.

I diodi ad emissione di luce (LED) sono costituiti da GaAs, GaP, GaN, o loro combinazioni (GaAsP, AlGaAs, AlGaInP, InGaN, ecc.); devono essere polarizzati direttamente con una tensione di circa 2 V e limitati ad una corrente di una decina di mA.



Alcune capsule LED contengono due diodi diversi (per esempio verde e rosso) collegati in parallelo, ma con polarità inversa; alimentati con onde quadre non simmetriche è possibile ottenere variazione continua di colore emesso.

Nella sua forma più semplice il diodo laser è un diodo LED con struttura limitata da due facce piane e parallele lavorate a specchio che costituiscono una cavità di Fabry-Perot.

Un altro tipo di struttura per diodo laser è indicata come DFB (distributed feedback). Dei due tipi di laser il tipo Fabry-Perot è il più economico, ma in genere è più rumoroso e più lento. Il tipo DFB è meno rumoroso, ha migliore purezza spettrale e più adatto ad essere modulato ad alta velocità.

Il tipo Fabry-Perot può essere accordato a frequenze discrete mentre il DFB ha una sua frequenza spettrale praticamente monocromatica.

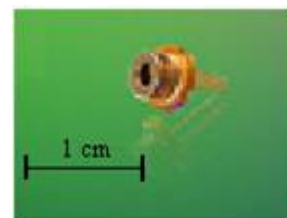
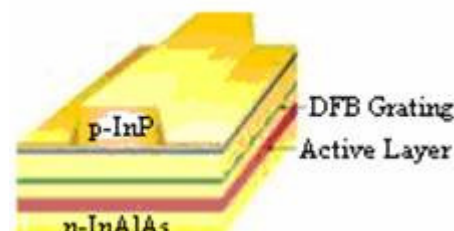
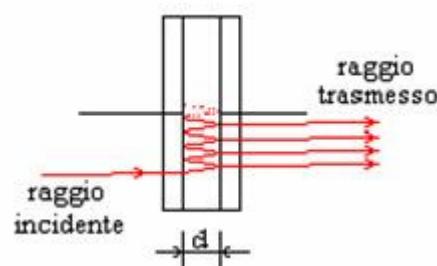


Fig. 1 - Distributed Feedback Laser (DFB) –
Il diodo laser ha un reticolo di riflessione
alla Bragg nella regione attiva al fine di
sopprimere i modi longitudinali
multipli ed
esaltare un singolo modo.



L'interferometro di Fabry-Perot utilizza le riflessioni multiple tra due superfici piane e parallele, argentate e solo parzialmente trasparenti. Una volta entrata nella cavità, solamente una piccola frazione della luce incidente la seconda superficie viene trasmessa all'esterno. La maggior parte viene riflessa all'interno; dopo una riflessione sulla superficie d'entrata si ripresenta ancora alla seconda superficie. Se la fase è la stessa si crea un'interferenza costruttiva con le onde precedenti, mentre per tutte le altre fasi si crea interferenza distruttiva. Un'onda monocromatica è quindi selezionata la cui lunghezza d'onda è legata alla lunghezza d della cella di Fabry-Perot. La differenza di fase tra le onde adiacenti uscenti è nulla se è rispettata la condizione $2d \cos \theta = k\lambda$, dove θ è l'angolo di incidenza, λ è la lunghezza d'onda del raggio incidente e k è un numero intero.



Per trasferire informazione al raggio luminoso dobbiamo trovare un modo di modulare l'emissione. Limitandoci ad una trasmissione audio i problemi da affrontare sono relativamente semplici.

Guardiamo se il comune diodo LED può essere utilizzato con la semplice modulazione di ampiezza utilizzando la sola tensione di alimentazione.

Ricerchiamo per prima cosa le curve caratteristiche del diodo.

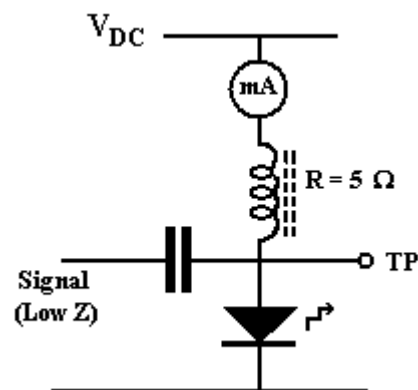
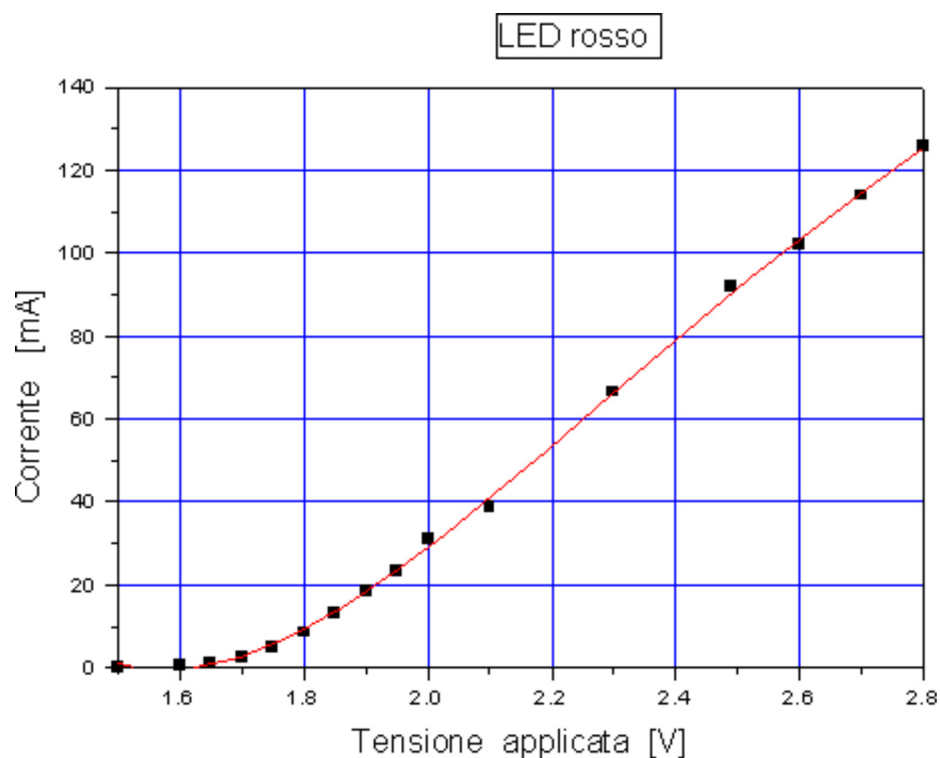


Fig. 2 –
Schema del circuito di misura.

Sperimentalmente si ottiene che il segnale modulato otticamente (a 1000 Hz) è massimo al ricevitore quando la tensione continua misurata al TP è di circa 2.0 V ; la distorsione è accettabile se il segnale di modulazione è di 0.4 Vpp max.

Fig. 3 - Curva
corrente-tensione
di un comune LED
rosso.



La curva corrente-tensione appare abbastanza lineare e sembrerebbe che il punto di lavoro possa essere posto anche a tensione (e corrente) più elevata di 2.0 V trovata sperimentalmente.

In realtà, non è tanto importante la linearità nella relazione I-V, ma siamo interessati alla intensità della radiazione emessa che deve essere proporzionale alla tensione applicata.

Si riscontra, invece, che, oltre i 2.3, 2.4 V, la intensità della luce emessa non aumenta più.

La corrente cresce, ma la intensità di radiazione emessa presenta saturazione (vedi figura seguente).

L'ulteriore corrente non fa altro che aumentare il calore dissipato, mettendo in grave pericolo la sopravvivenza del LED.

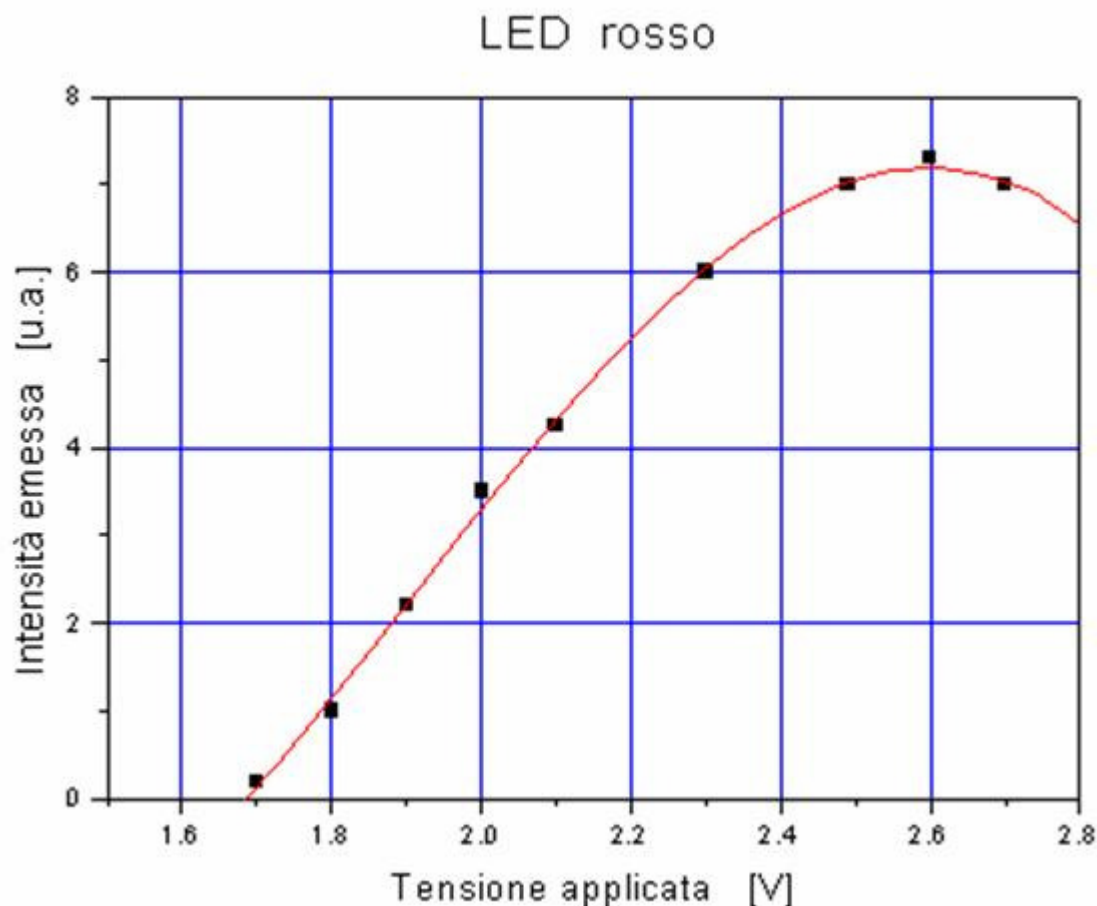


Fig. 4 – Intensità di radiazione emessa in funzione della tensione applicata.

Dalla figura precedente è facile giustificare il dato sperimentale : migliore punto di lavoro è ottenuto a circa 2.0 V con massima modulazione di ± 0.2 V.

Le condizioni sono, quindi, abbastanza critiche. La modulazione di ampiezza non può dare di più e occorre considerare altri tipi di modulazione.

La modulazione ad impulsi sembra più adatta sia per i LED sia per i diodi LASER che possono lavorare sempre alla loro tensione nominale di lavoro.

Alimentando il LED con onda quadra si osserva facilmente che la risposta luminosa tende a non essere più lineare quando la frequenza supera i 100, 200 kHz.

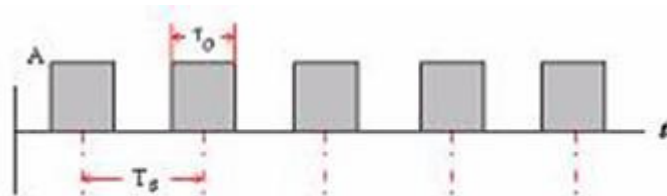
Una frequenza di lavoro di 50 kHz mi è sembrata adatta (molto più alta della frequenza massima di modulazione audio)

PDM

Cenni teorici

La modulazione PDM (Pulse Duration Modulation) o PWM (Pulse Width Modulation) – le due sigle sono equivalenti, anche se è preferita la prima - consiste nel variare la durata degli impulsi di una sequenza costante proporzionalmente ai valori istantanei del segnale modulante, mantenendo costante l'ampiezza degli impulsi ed il periodo.

Fig. 5 - Sequenza di impulsi in assenza di modulazione



Questa variazione può essere ottenuta spostando in sensi opposti gli istanti relativi al fronte di salita e di discesa degli impulsi.

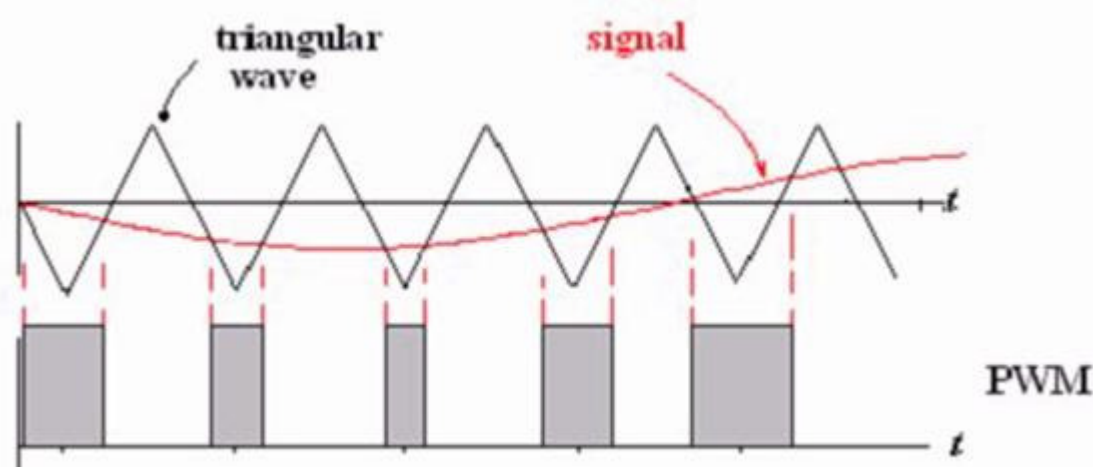


Fig. 6
Generazione di una PWM con distanza degli impulsi costante.

Il modo più semplice di generare una PDM (Pulse-Duration Modulation = modulazione di durata dell'impulso) consiste nel confrontare il segnale analogico con un'onda di tipo triangolare per mezzo di un comparatore.

Il segnale in uscita del comparatore salta ad "alto" quando l'ampiezza del segnale è più grande del valore dell'onda triangolare.

E' utile anche PPM (Pulse Position Modulation), facilmente dal segnale PDM; è sufficiente utilizzare la salita dell'impulso PDM per triggerare un impulso di ampiezza e durata costante.

Entrambi questi tipi di modulazione offrono sensibili vantaggi di riduzione del rumore nei sistemi di comunicazione; dato che gli impulsi sono tutti della stessa altezza può essere utilizzato un amplificatore sino alla saturazione, come avviene per la FM e con gli stessi vantaggi.

Oltre alla "limitazione" del segnale, è possibile provvedere anche ad introdurre una soglia inferiore, sotto la quale non si ha alcun segnale in uscita; questo porta a benefici effetti di riduzione del rumore.

La presenza di questi limiti permette di avere in uscita una serie di impulsi di ampiezza costante, relativamente "puliti", adatti ad essere convertiti in segnali AM audio. Il segnale AM audio è ottenuto facilmente con un semplice filtro passa-basso.

Il segnale PDM contiene il segnale di modulazione insieme ad una componente continua ed altri n termini, di ampiezza decrescente con n, a frequenze armoniche della frequenza di campionamento, le cui

fasi sono modulate dal segnale di modulazione .

Con un semplice rivelatore a fotodiode è sufficiente, quindi, inserire un semplice filtro per isolare il segnale modulante dalla componente continua e dalle armoniche .

CIRCUITO ELETTRICO

Il modulatore presenta un amplificatore audio con controllo di guadagno ; tramite un emitter follower il segnale con una componente continua viene applicato all'amplificatore operazionale LM301 che è il cuore di tutto il modulatore.

Questo operazionale presenta una rampa triangolare , a frequenza di circa 50 kHz, all'ingresso invertente

. In presenza di modulazione il livello all'ingresso non invertente cambia e così cambierà il punto della rampa dove si ha cambiamento di stato. L'uscita varierà sempre da un livello massimo ad uno minimo, ma non sarà più un'onda quadra simmetrica ; il punto di transizione varierà , infatti, proporzionalmente al segnale di modulazione. Limitandosi ad osservare la parte positiva, questa sarà costituita da impulsi di durata variabile proporzionalmente all'ampiezza del segnale modulante.

Attraverso un emitter follower 2N1711, dotato di abbondante radiatore termico, il segnale è applicato all'elemento ottico trasmittente (LED o LASER).

Usando diodi LED è necessario anteporre una lente in modo da raccogliere l'emissione luminosa e convogliarla il più possibile in un'onda piana. Per i diodi-LASER , ovviamente, questo non è necessario.

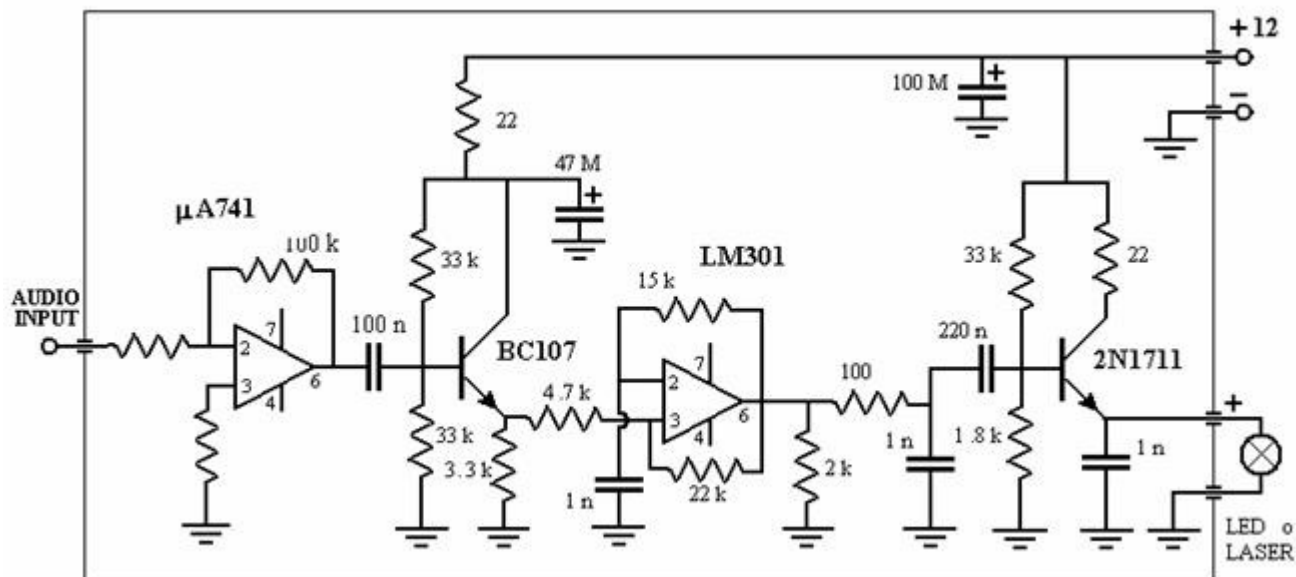


Fig. 7 – Schema elettrico del trasmettitore.

Il ricevitore comprende il rivelatore a fotodiode al silicio con risposta spettrale utile nel visibile

(anche se presenta la massima sensibilità a 850 nm). Ho scelto un tipo con superficie attiva di 15 mm². Dato che avevo a disposizione una lente piano-convessa di 3 cm di diametro la ho utilizzata sistemandola davanti al fotodiodo ad una distanza di $f = 10$ cm. Non è essenziale, non aumenta il segnale ricevuto, anzi aumenta la luce disturbatrice; permette, però, un più facile allineamento. Provando diodi LED di vari colori che avevo nel cassetto ho trovato che il fotodiodo impiegato è molto più sensibile a LED nell'infrarosso.

Il preamplificatore è sistemato a ridosso del fotodiodo, all'interno di un tubo in PVC che accoglie anche la lente frontale.

Una scatola metallica separata contiene un amplificatore BF con filtro passa-basso in banda audio.

Il segnale audio è infatti recuperabile con la sola integrazione degli impulsi ricevuti; l'amplificazione è sufficiente per alimentare le cuffie.

Non ho riscontrato problemi di saturazione del fotodiodo, neanche alla luce diurna. Ho trovato, però, che la luce delle lampade fluorescenti introduce un segnale fastidioso alla frequenza di rete e multipli.

Con un filtro ottico, di colore opportuno tale da filtrare solo la frequenza dell'onda modulata del LED o del LASER, sarebbe possibile migliorare le prestazioni.

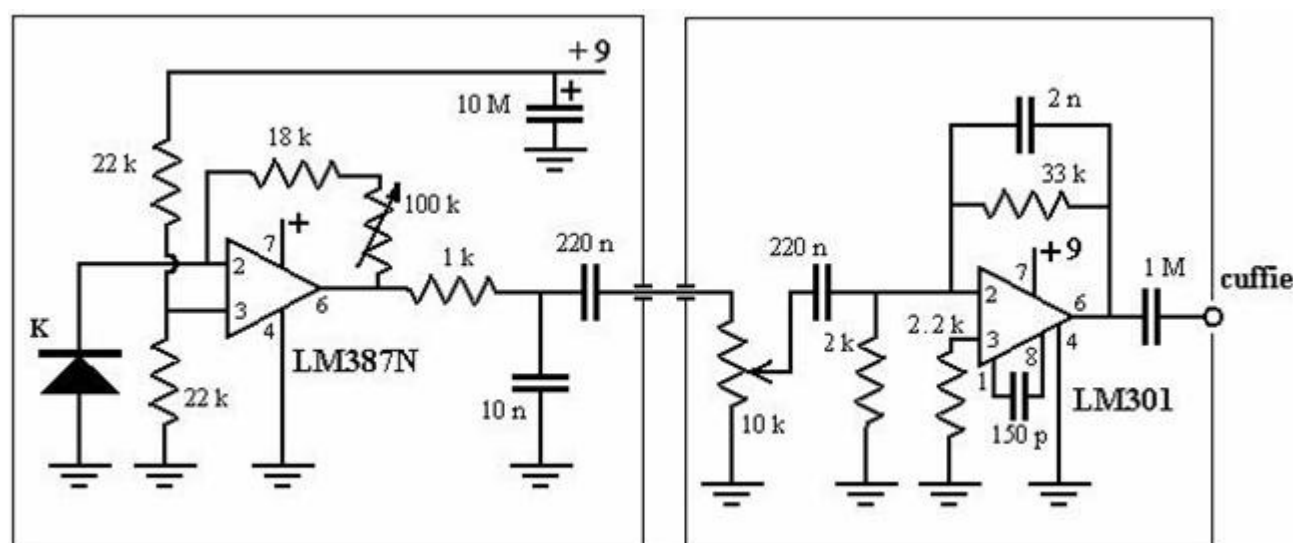


Fig. 8– Schema elettrico del ricevitore .

Un modo alternativo è quello di prelevare il segnale dopo il solo preamplificatore; qui è presente anche la portante a 50 kHz modulata in fase dal nostro segnale modulante.

Occorre un rivelatore FM con “curva ad S” facilmente ottenibile, anche a queste basse frequenze, con due circuiti accordati.

Con questo sistema i disturbi legati alla frequenza di rete sono completamente assenti.

Conclusione.

Tutti questi progetti sono molto “conservativi” – Si sono utilizzati componenti di recupero sempre presenti nel cassetto del radioamatore. Non si sono volutamente ricercate le condizioni estreme di utilizzo, ma, al contrario si è cercato di non manomettere il laser ed il suo astuccio comprato per pochi euro al mercatino. Il diodo laser ha, di per sé, capacità di lavorare a frequenze molto più elevate. C'è ampio margine di sperimentazione per trasmissione dati a frequenze dell'ordine del GHz.