

研究ノート

1.3 μm 帯 LED を用いたアナログ動画画像光
送信回路の試作

青森職業訓練短期大学校 高井秀悦・鶴木祐史*

An Drive Circuitry for Analog Video Transmission

Using 1.3 μm Long-Wavelength LED

Shuetsu Takai, Masashi Unoki*

要旨 1.3 μm 帯の長波長 LED を用いて動画画像情報を 7 km アナログ伝送する光リンクの光送信回路について述べている。まず光伝送系のレベルダイヤグラムと光送信電力レベルについて検討し、次に LED の I-L 特性の非直線歪を関式解法し、半波整流波で近似して解析している。そしてこの歪を前もって打ち消す前置歪補償回路を付加した光送信回路を試作した結果、周波数帯域幅約 10 MHz、微分利得約 0.09%、微分位相約 7.4° であり、微分位相特性は更に改善を要するが、周波数特性と微分利得特性の良好な光送信回路が実現されたことを示している。

I まえがき

光ファイバ通信は、低損失で広帯域であるという特徴を最大限に発揮して、基幹伝送系や大陸間の海底伝送といった長距離・大容量の通信システムを中心に発展してきた⁽¹⁾。また個別に発達してきた電話を中心とする音声系の通信ネットワークと、データ系のそれをデジタル統合したサービス統合網 (ISDN: Integrated Service Digital Network) の商用化も進んでいる⁽²⁾。更に、動画画像情報もデジタル統合する広帯域 ISDN の研究開発も活発である⁽³⁾。

我々は、広帯域 ISDN における光加入者伝送系の試作を最終目標に設定して、動画画像情報の光伝送系の試作を行ってきた^{(4),(5)}。すなわち光源として LED、受光器としてピンホトダイオード (pin-PD)、光ファイバにはコア径 50 μm のグレーデッド・インデックス (GI) 形多モードファイバそして変調方式としてアナログ光強度変調方式を採用し、一次試作では、0.85 μm 帯の波長を使って 1 km の光ファイバ伝送を行い⁽⁴⁾、二次試作では、1.3 μm 帯の波長で 7 km の画像伝送を実現した⁽⁵⁾。1.3 μm 帯の LED は、0.85 μm 帯の LED ほど I-L 特性の直線性が良くないので、アナログ光強度変調すると、高

調波歪が発生する。特に画像伝送においては、輝度レベルにより色合いと彩度に変化するという問題が発生する⁽⁶⁾。

そこで本報告では、1.3 μm 帯 LED の非直線歪の補償法について検討し、歪補償回路を付加したアナログ光送信回路を設計し、評価した結果について述べる。まず 7 km の光伝送系における光電力のレベルダイヤグラムと光送信電力を検討する。次に I-L 特性の非直線性を関式解法により解析し、LED が発生する歪を前もって打ち消す前置歪補償法について考察する。そしてこの方法に従って試作した光送信回路について述べる。

II 光伝送系の構成

光リンクを設計するためには、まず光源、受光器および光ファイバの特性と伝送系の光電力レベルについて検討し、次に光送受信機各部の信号レベル配分を行う必要がある。

変調帯域幅が十分に広く、半導体レーザよりも変調が容易なので、光源には、FC 形光コネクタと嵌合するようにモジュール化された LED を用いた。また、受光器は、受光感度が大きく (約 1 A/W)、暗電流が小さく (約 0.2 nA) そしてアバランシェフォトダイオード (APD) よりも扱い易いので、モジュール化された InGaAs pin-PD とした。

* 職業訓練大学校情報工科学学生

論文受付日 1991. 1. 7

光ファイバは、コア径 $50\mu\text{m}$ のGI形多モードファイバ7 kmである。その内訳は、 $1.3\mu\text{m}$ 帯仕様(伝送損失1 dB/km以下、伝送帯域600MHz・km以上)で1 kmの長さの光ファイバが3本、 $0.85\mu\text{m}$ 帯仕様(伝送損失3.5dB/km以下、伝送帯域200MHz・km以上)で3 kmの長さの光ファイバが1本および1 kmのそれが1本である。それぞれの光ファイバの両端には、FC形光コネクタが取り付けられている。 $0.85\mu\text{m}$ 帯仕様の光ファイバの損失と帯域を $1.3\mu\text{m}$ 帯において測定した結果、それぞれ1 dB/km および400MHz・km程度であり、 $1.3\mu\text{m}$ 帯でも十分使用可能な特性であった。各光ファイバの損失を1 dB/kmとし、光コネクタ1個当りの損失を1dBとすれば、光伝送路の損失は11dBとなる。

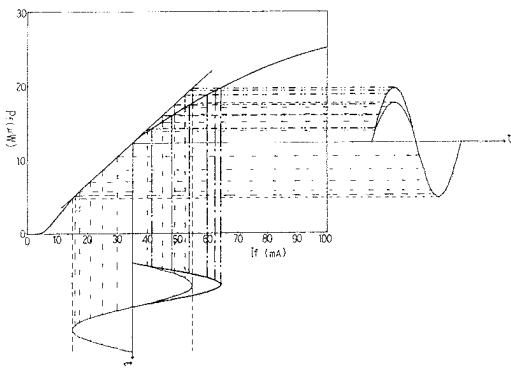


図1 長波長帯LEDのI-L特性とアナログ光強度変調

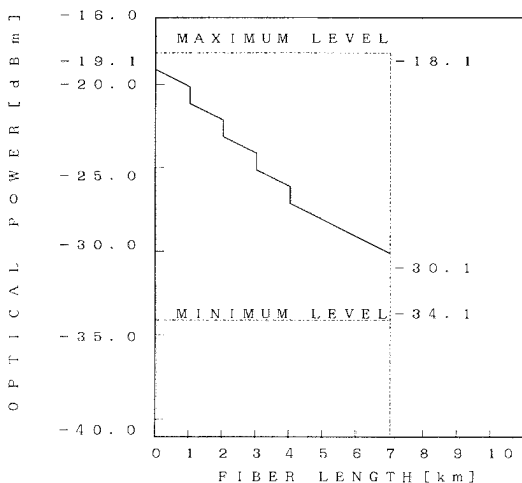


図2 光伝送系のレベルダイアグラム

図1にLEDのI-L特性の測定結果を示す。順方向電流 I_f が15mAから35mAの領域は比較的直線性が良いので、この領域を使ってアナログ光強度変調すれば、光送信回路の構成は簡単である。しかし光受信機のSN比を確保するためには、大きな振幅で光強度変調したほうが有利であり、非直線特性が発生する。従ってこのとき、LEDの非直線歪を補償した光送信回路を設計しなければならないことになる。

なお、伝送損失11dBの他に、LEDの温度特性による発光電力の変動 ± 1 dB、マージン3 dBを見込み、光送信電力の平均値を12.3mW ($I_f=35\text{mA}$)とすれば、光伝送系における平均光電力のレベルダイアグラムは図2となる。この報告には直接関係しないが、最大受光電力と最小受光電力のレベル差は光受信機のダイナミックレンジになる。

III 前置歪補償法

図1のI-L特性において、駆動電流が15mAから35mAの領域は直線性が良好である。駆動電流の直流値を35mAとし、信号電流を $\pm 20\text{mA}$ 変化すると、アナログ変調された光波形は正弦波とはならず、光電力が大きい側の振幅だけが歪んだ波形となる。従って光波形を正弦波にするためには、同図に示したように、電流の大きい側の振幅を歪んだ波形にすればよい。ここでこの歪をもつ電流波形から正弦波電流波形を差し引いた波形を付加信号と呼ぶことにする。

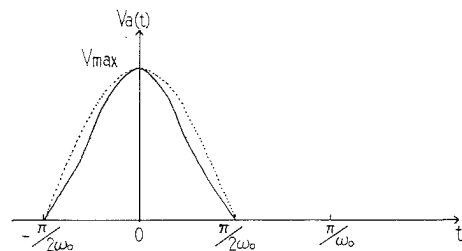


図3 図式解法により求めた付加信号波形(実線)と半波整流近似波形(点線)

図1から図式解法により求めた付加信号波形を電圧換算した結果を図3に示す。付加信号の振幅 V_{max} と同じ振幅の半波整流波形も同図に点線で示す。厳密には半波整流波形とは異なるが、解析を簡単にするために、付加信号を半波整流波形 $v_a(t)$ で近似すれば

$$v_a(t) = \begin{cases} V_{\text{max}} \cos \omega_0 t & |\omega_0 t| \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & \frac{\pi}{2} \leq |\omega_0 t| \leq \pi \end{cases} \quad (1)$$

となる。これをフーリエ級数に展開すれば

$$v_a(t) = \frac{V_{\max}}{\pi} + \frac{V_{\max}}{2} \cos \omega_0 t - \frac{2V_{\max}}{\pi} \times \left(\frac{1}{3} \cos 2\omega_0 t - \frac{1}{15} \cos 4\omega_0 t + \frac{1}{35} \cos 6\omega_0 t - \dots \right) \quad (2)$$

が得られる。非直線性を補償した LED ドライブ電流に対応する電圧信号 $v_p(t)$ は、 $\cos \omega_0 t$ と式(2)を加算して求められる

$$v_p(t) = \frac{V_{\max}}{\pi} + \frac{V_{\max} + 2}{2} \cos \omega_0 t - \frac{2V_{\max}}{\pi} \times \left(\frac{1}{3} \cos 2\omega_0 t - \frac{1}{15} \cos 4\omega_0 t + \frac{1}{35} \cos 6\omega_0 t - \dots \right) \quad (3)$$

となる。近似表現ではあるが、式(3)は LED の非直線性を補償するための目安である。

IV 光送信回路の構成とその特性

1 光送信回路の構成

Ⅲの歪補償法の考え方に従って構成した光送信回路のブロック図を図4に示す。まず入力信号をエミッタ接地増幅回路で増幅する。次にその出力の一部を歪補償回路で半波整流波に変換する。次に増幅回路の出力と半波整流波を平均値回路で加算する。そして加算回路の出力を LED 駆動回路に入力してアナログ光強度変調する。

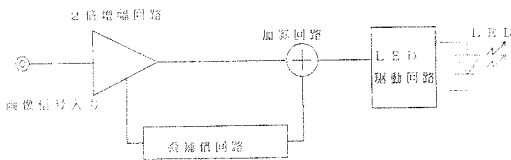


図4 光送信回路の構成ブロック図

入力は NTSC 方式の動画画像信号でその振幅は $1 V_{P.P}$ である。後段の加算回路を平均値回路としたため、最初に信号を 6 dB 増幅する必要がある。LED 駆動回路は標準的なエミッタ接地のトランスコンダクタンス形とし、その電圧-電流変換コンダクタンスは約 0.04S とした。

歪補償回路はショットキーバリアダイオードを2個用いて実現した。この回路ブロックの入力は $1.25V_{P.P}$ とし、出力すなわち半波整流波のピーク値は $V_{\max} = 0.25V$ であるが、回路定数は実験的に決めた部分もある。

2 特性

本構成の光送信回路の特性はほぼ歪補償回路の特性で決まる。そこでまず、入力信号を $1 V_{P.P}$ の正弦波としたとき、増幅回路の出力と歪補償回路の出力を加算した信号の周波数成分を測定し、式(3)の理論的な近似式と比較した。入力周波数を 1 MHz としたとき、基本波の振幅を基準とした高調波の振幅レベルを表1に示す。第2高調波と第4高調波の振幅はそれぞれ理論値よりも約 10dB 大きくなっている。また近似理論波形には存在しない第3高調波も観測された。これらは歪補償回路が理想的な半波整流特性を示していないことによると考えられる。なお表1では、入力周波数が 1 MHz の場合を示したが、高調波の周波数が光送信回路の周波数帯域幅内にあれば、ほぼ同様な振幅レベルになる。また信号発生器から出力される正弦波の高調波レベルは、第2高調波が -40dB 以下、それ以上の高調波レベルは測定不可能であった。

表1 歪補償した信号の高周波成分

測定値の基本周波数は $f_0 = 1$ MHz である。

周波数	振幅の理論値	振幅の測定値
第2高周波	-26.5dB	-15.9dB
第3高周波	—	-38.0dB
第4高周波	-40.5dB	-30.3dB

次に歪補償回路を設けたことにより、LED が発生する非直線歪がどの程度改善されているかを測定するために、LED から出射される光送信波形を O/E 変換器で電気信号に変換して、周波数分析した。比較のため、歪補償回路を分離した光送信回路において、LED のバイアスレベルと変調レベルを同一条件にした場合の光送信波形の周波数分析も行った。その結果を表2に示す。歪補償回路を付加したことにより、第2高調波と第4高調波は共に 10dB 程度改善されている。第3高調波はレベルが低く、測定不可能であった。画像伝送系の評価に通常用いられる微分利得 (DG) と微分位相 (DP) の測定結果も表2に示す。歪補償回路を付加したことによる DP と DG の改善量はそれぞれ 3° 及び 0.5% 程度であった。画像伝送系における DP と DG の規格値はそれぞれ DP

$\leq \pm 5^\circ$ 、 $DG \leq 10\%$ と考えられるので、DP 特性を更に改善する必要がある。

表2 光送信波形における非直線歪の比較

高周波歪測定の基本周波数は $f_0 = 1$ MHz である。

周波数	歪補償回路付加	歪補償回路なし
第2高周波	-29.1dB	-19.8dB
第4高周波	-32.1dB	-21.2dB
微分利得	0.09%	0.57%
微分位相	7.44°	10.47°

最後に試作した光送信回路のベースバンド周波数特性の測定結果を図5に示す。3 dB 周波数帯域幅は約10MHz であり、動画像信号の周波数帯域幅より少し広いが、良好な特性である。

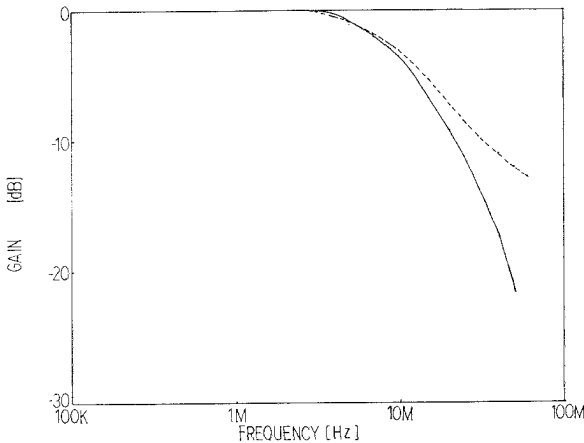


図5 光送信回路の周波数特性(実線は自作 O/E 変換器、破線は市販のそれによる測定結果)

V むすび

長波長帯 LED の非直線歪の補償法について検討し、アナログ動画像の光送信回路を試作した。すなわち I-L 特性を図式解法して歪量を求め、半波整流波近似して解析した。そして本手法の前置歪補償回路を付加した光送信回路を試作した。その結果、DP 特性は更に改善する必要があるが、良好な DG および周波数帯域特性の光送信回路が実現できた。

今後の課題は、本近似の理論値および厳密な付加信号波形に近い波形の歪補償回路の構成法を検討し、DP 特

性を改善することである。またそれと同時にデジタル伝送系の検討を進めることである。

なお本報告では述べなかったが、光受信回路の試作も同時に行い、7 km のアナログ動画像の光伝送を実現した。最後に本試作の一部は平成元年度の指定研究によった。関係各位に感謝する。

参考文献

- (1) P. S. Henry: IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-21, p.1862(Dec. 1985).
- (2) S. N. バンドイ: スペクトラム, vol.1, p.14, 丸善(1988-02).
- (3) 竹内他: 信学誌, vol.73, p.193(March 1989).
- (4) 山ノ内, 野上: 青短内部資料(1988-02).
- (5) 高井, 鶴木: 第3回実践教育研究発表会講演予稿集, p.154(1990-09).
- (6) H. Kressel ed.: Semiconductor Devices for Optical Communication, p.189, Springer-Verlag(1980).