

アセチレン安定化半導体レーザー光源のオートロックシステムの開発

植田研究室 佐々木 幸一

1. はじめに

光ファイバー通信の光源における $1.5\ \mu\text{m}$ 帯の周波数標準として、アセチレンを用いた方法が長年の研究により確立されてきた。それがアセチレン安定化半導体レーザー光源である。周波数の安定化を行う従来の方法は、光学系からの信号を、アナログ制御回路を用いて制御し、周波数の安定化を手動で行うものであった。それにはアナログ回路の専門知識が必要で、且つ非常に敏感な信号を手動で制御しなければならない、という欠点があった。それを克服する本研究の目的は、H8マイコンを用いて、この光源をオートロック化することである。それによって、誰でも簡単に周波数安定化を実現できると考えられる。

2. 周波数安定化の原理

2.1 光学系

アセチレン安定化半導体レーザー光源の構成を図2.1に示す。

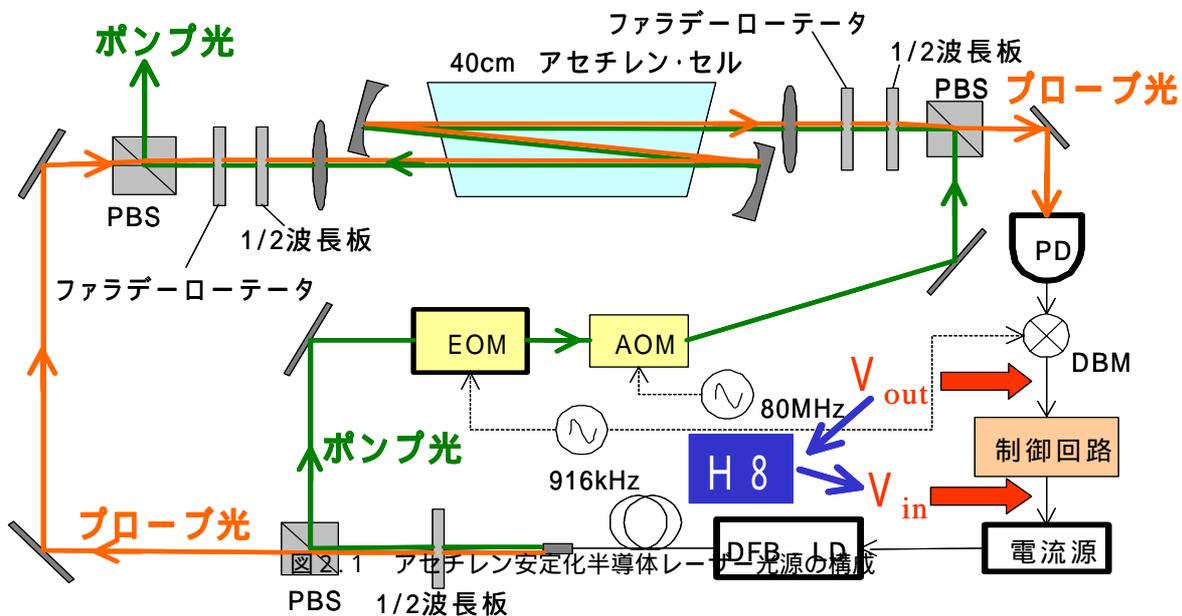


図2.1 アセチレン安定化半導体レーザー光源の構成

狭線幅で高出力レーザーを発振させるDFB(Distributed Feed Back)-LDから、任意の周波数 f の光を発振させ、PBS(偏光ビームスプリッター)でポンプ光とプローブ光に分ける。まずポンプ光は、EOM(電気光学素子)で 916kHz の位相変調を与えられ、AOM(音響光学素子)で光干渉による雑音を防ぐために周波数を 80MHz シフトし、アセチレン・セルを透過した後、PBSで外部に逃がしている。一方、プローブ光は、アセチレン・セルでポンプ光と対向するように透過して、位相変調を受け取った後、光検出器(PD)で電気信号に変換されて、DBM(Double Balanced Mixer)で復調されて、制御回路に入力されている。そこで電流源を介して、LDの発振周波数 f を制御することによって、アセチレン・セルからドップラーフリーの飽和吸収信号が得られるように、周波数を安定化している。

本研究では、光学系からの復調信号をH8マイコンで監視し、LDにフィードバックさせる信号を制御することによって、周波数の安定化を実現させようと考えた。信号を制御するプログラムをH8マイコンに書き込み、それを動作させることによってオートロックシステムを構築した。

2.2 飽和吸収信号

飽和吸収信号を DBM で復調、つまり一回微分すると、周波数弁別曲線に変換することができる。この波形の概形を図 2.2 に示す。

この波形の特徴の一つに、信号の中央が 0 点に交わっていること、二つ目に 0 点付近で V_{out} と f が比例関係であることが挙げられる。この二つの特徴から、フィードバック制御を行うことによって、レーザーの周波数を 0 点に安定化することが可能になることが言える。

また、ロック範囲という、フィードバックゲインを上げたら、周波数が 0 点に自動制御される範囲を飽和吸収信号に設定した。

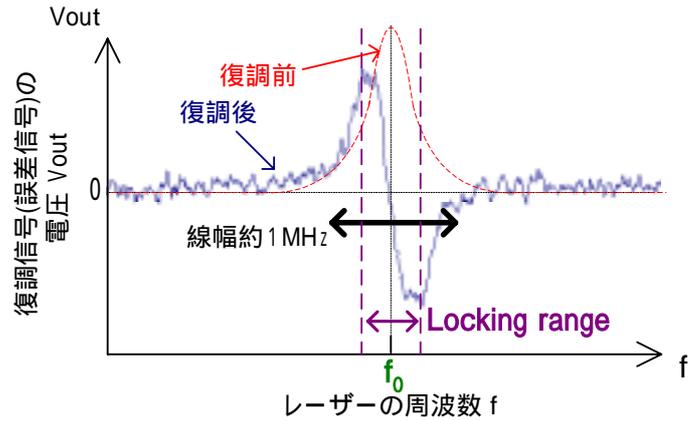


図 2.2 飽和吸収信号の様子

3. 周波数安定化の方法

3.1 周波数掃引

H 8 マイコンを用いて、周波数を掃引する様子を図 3.1 に示す。まず飽和吸収信号にロック範囲に入ったことを示す閾値電圧 $\pm V_{th}$ を設定した。

より、H 8 マイコンから LD の発振周波数 f を掃引した。の閾値電圧に達したら、で周波数掃引を止めて、のロック範囲に周波数が入るようにした。

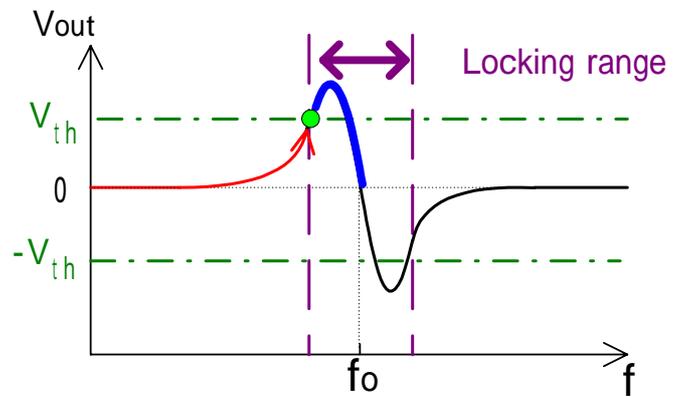


図 3.1 周波数掃引

3.2 ゲインと積分

周波数がロック範囲に入ったら、制御回路に搭載されているゲインを上げる回路と、積分制御の次数を上げる回路の両スイッチを ON にする信号を H 8 マイコンから送信した。

その様子を図 3.2 に示す。まずゲインを上げることによって、のように周波数が 0 点に安定化した。次に積分制御の次数を上げることによって、つまり結果的にフィードバックゲインを上げることによって、のようにさらに安定度を増加させた。

この時点で、レーザーの周波数が安定化した状態であると言える。

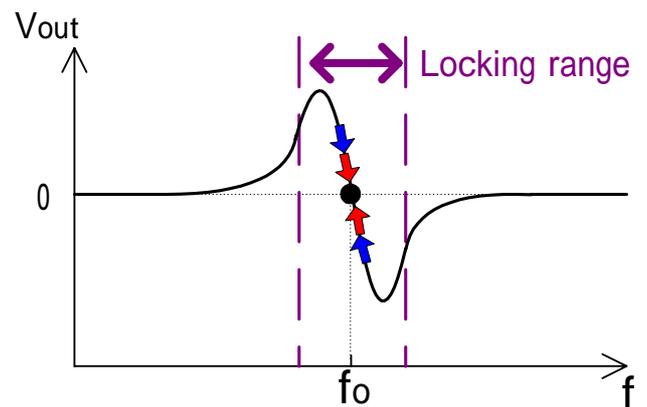


図 3.2 フィードバックゲインを上げる

3.3 ロック外れ検出

周波数安定状態を監視して、ロックが外れた場合、H 8 マイコンのプログラムを初期化して、再び周波数の掃引からやり直して、再度周波数を安定したい。

ロックが外れる様子を図 3.3 に示す。まずロックが外れたことを示す閾値を設け、その範囲を のように制御範囲と設定した。で周波数が閾値に達し、 で制御範囲を越えて、ロックが外れたことを検出したら、H 8 マイコンのプログラムを初期化して、同じような過程で再度周波数を安定化した。

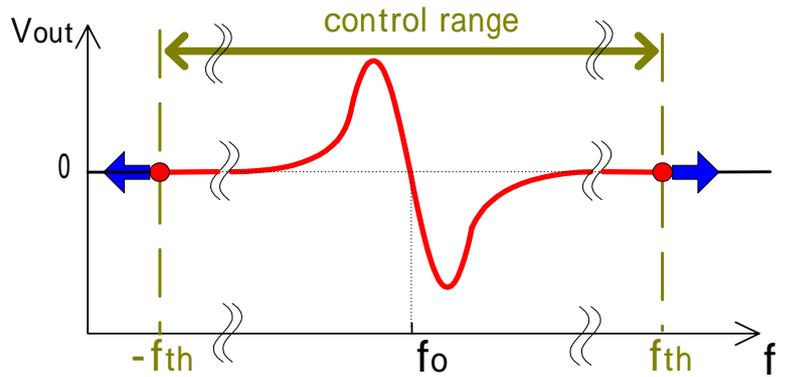


図3.3 ロック外れ検出

3.4 全体的な信号の流れ

以上のH 8 マイコンを用いた周波数安定化の方法を踏まえながら、全体的な信号の流れを図 3.4 に示す。

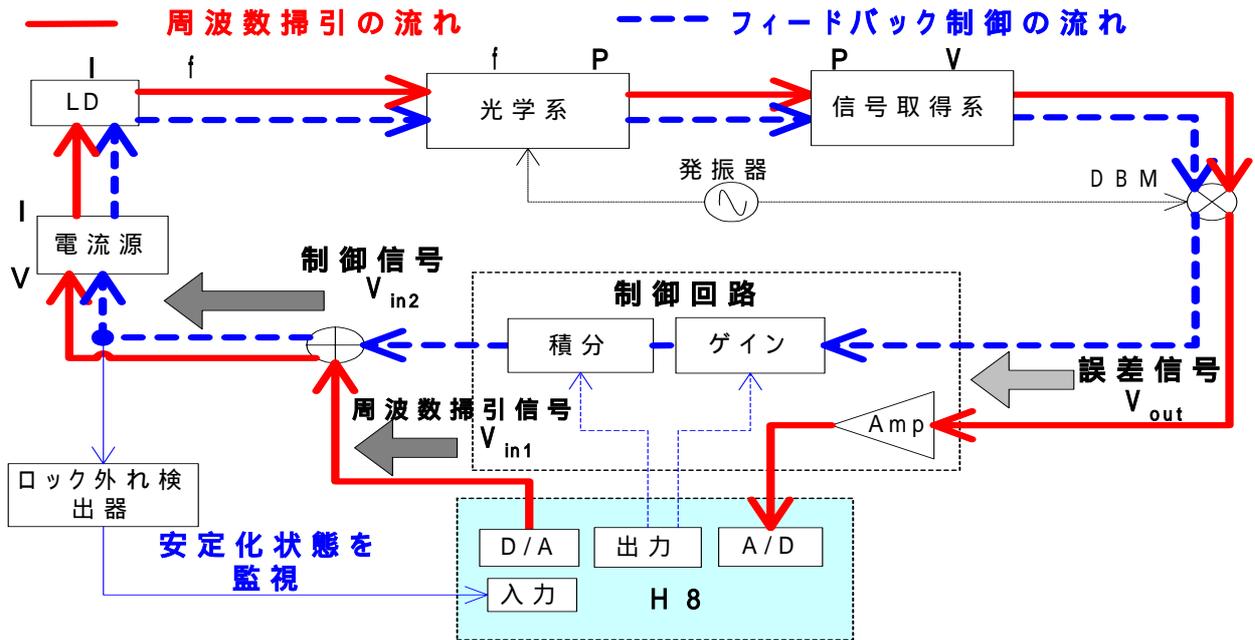


図 3.4 全体的な信号の流れ

LD から任意の周波数 f を発振させ、光学系でパワー P の光が得られ、信号取得系で電気信号 V に変換されて、H 8 マイコン内蔵の A/D 変換器でデジタル信号に変換されて、H 8 の CPU に読み込まれた。その信号を監視して、LD の発振周波数 f がロック範囲内かどうかを調べ、その範囲に入るまで、H 8 内蔵 D/A 変換器から電流源を介して、LD の発振周波数 f を掃引する信号を送信し続けた。

周波数 f がロック範囲に入ったら、ゲインと積分制御の次数を上げる信号を、H 8 マイコンから制御回路に送信して、誤差信号のフィードバックゲインを上げた。そこで、フィードバックによる自動制御によって、周波数が安定化された。

電流源にフィードバックする信号をロック外れ検出器に入力して、周波数安定化状態を監視した信号を H 8 マイコンに入力させた。そこでロックが外れたことを検出したら、ゲインと積分制御の次数を下げる信号を制御回路に送信し、H 8 マイコンのプログラムを初期化して、再び周波数掃引から行わせて、周波数の安定化を行った。

4. 実験データ

図 4.1 のように、それぞれの信号と別のアセチレン安定化光源とのビート周波数の時系列を測定するこ

とによって、周波数安定化の評価を行った。

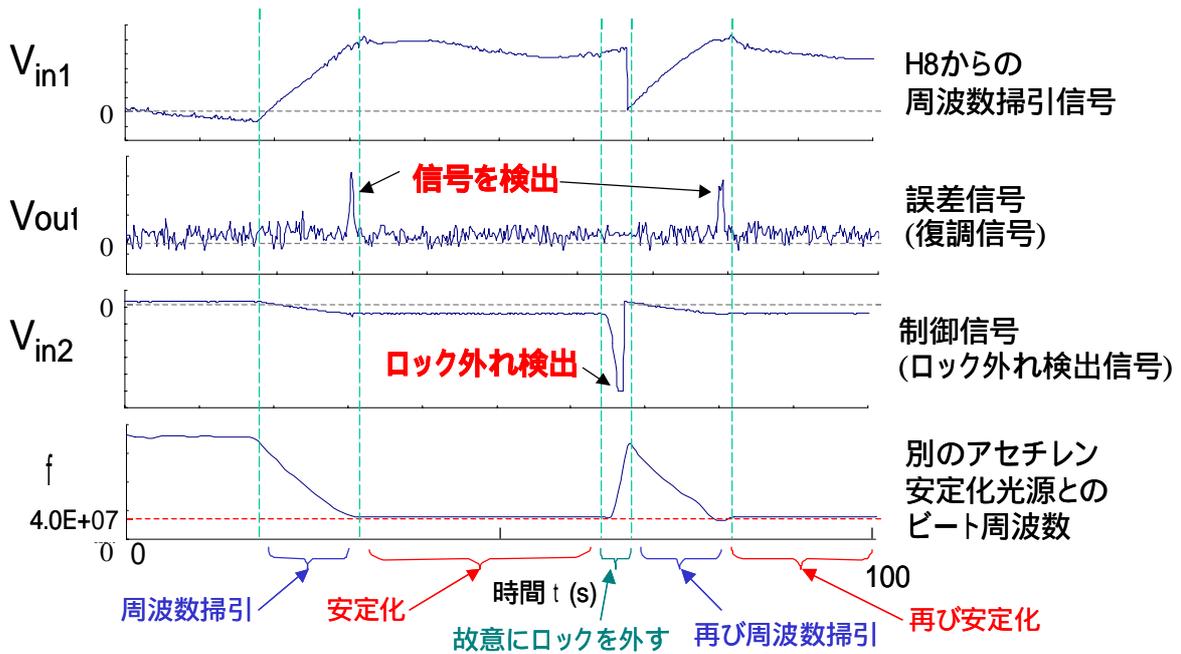


図4.1 時系列

5 . 考察

H8マイコンの電源スイッチを入れていないフリーランの状態から、測定を開始し、約18秒経過したところでスイッチをONにした。そこから周波数掃引が掃引され、約29秒の時点で飽和吸収信号を感知して、周波数がロック範囲に入ったことが V_{in1} 、 V_{out} より確認できる。周波数掃引を止めて、誤差信号のフィードバックゲインを上げたら、ビート周波数が一定になって、レーザーの周波数が安定化されたことが V_{in1} 、 f より確認できる。また約66秒の時点で、光学系のプローブ光を故意に遮って、ロックを外したところ、ロック外れ検出器で制御信号が急激に変動し、ロックが外れたことが V_{in2} より確認できる。その後、H8マイコンのプログラムを初期化して、再び周波数の掃引を行って、飽和吸収信号を感知したら、フィードバックゲインを上げて、再度レーザーの周波数が自動で安定化されたことが確認できる。

6 . 結論

H8マイコンを用いて、それにプログラムを書き込むことによって、周波数の安定化を自動で行うオートロックシステムを構築した。周波数を安定化する様子を、それぞれの信号の時系列を測定した結果、ビート周波数の評価により、自動で周波数の安定化を実現することができた。またロックが外れても、自動的に周波数安定化が復元できた。よってスイッチ1つで簡単に周波数安定化が実現できたと言える。

7 . 今後の展望

今後の課題は、サーボフィルター部のDSP (Digital Signal Processor) 化により、制御系の全デジタル化を構築することである。それによってフィードバックの特性をプログラムで調整でき、パラメータを変更してもシステム最適化がし易くなり、その結果、系全体が柔軟になると考えられる。またアナログ回路が削減されて、系全体がシンプルになるだけでなく、ノイズの影響が減少することも期待できる。DSP化によって、アナログ回路の専門知識をあまり必要とせず、周波数安定化の制御が自在に行えるようになるであろう。