

電波科学

昭和53年11月1日発行（毎月1回1日発行）11月号
通巻 555号 昭和21年12月27日第三種郵便物認可
昭和39年1月14日国鉄東局特別扱承認雑誌第1732号

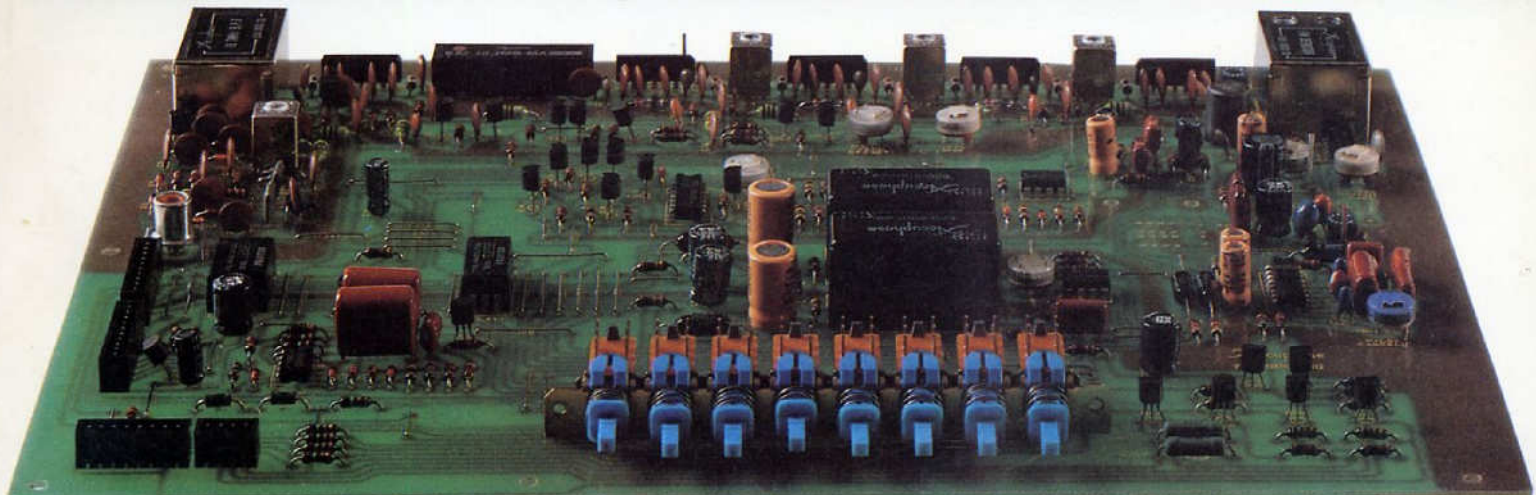
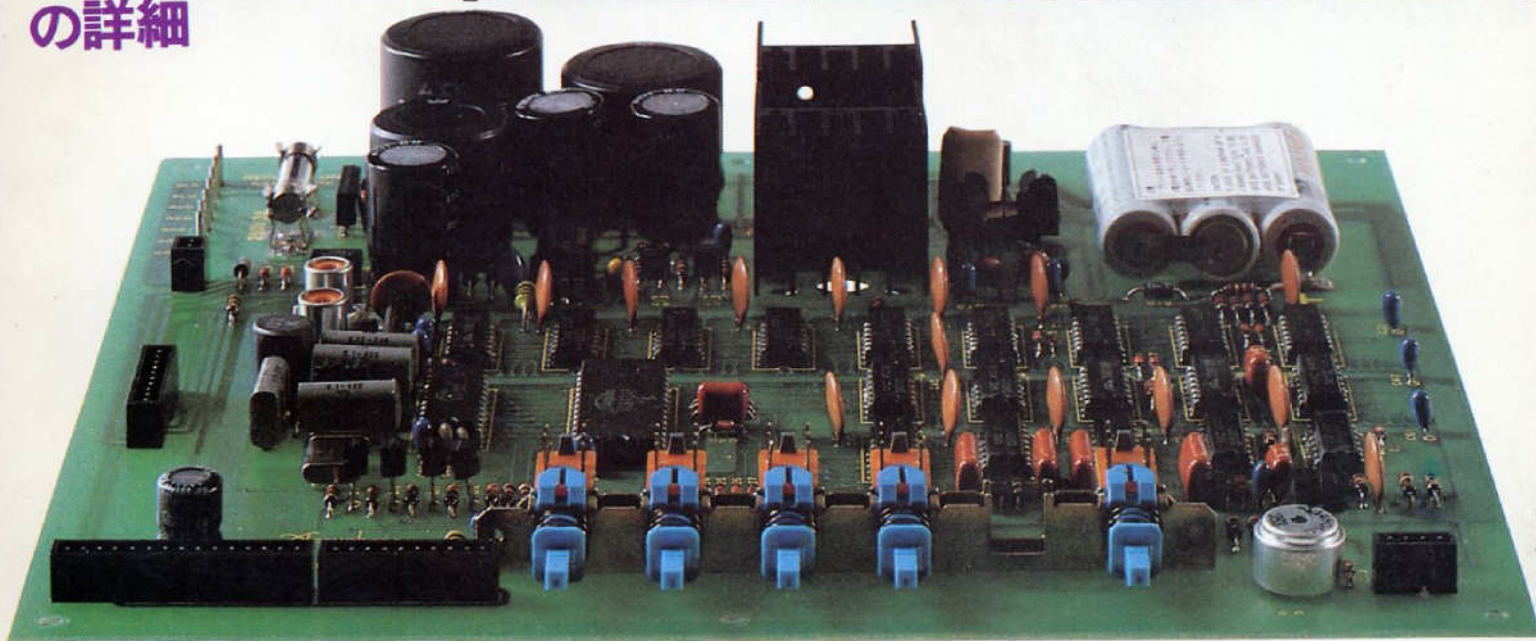
1978 11

日本放送出版協会

多局化時代とFMチューナのキーポイント！
特集●検波回路を徹底的に解剖する

放送開始された
テレビ音声多重
の概要

新IHF測定法
の詳細



モニター募集：電源トランス サンスイRC-50 3名様

4 PTL 検波について

PTL 検波について

FM 信号を復調していわゆるオーディオ信号にもどすFM 検波回路はいろいろ考えられています。その中でこの PTL 検波は、FM 信号の周波数の高低を位相の変化として検出する回路動作を使ったものです。いわゆる位相検波回路の一種類に属するもので、分類するとクォドラーチャ検波や、PLL 検波と同じ系列に入るものです。

その中で PTL 検波がどのような動

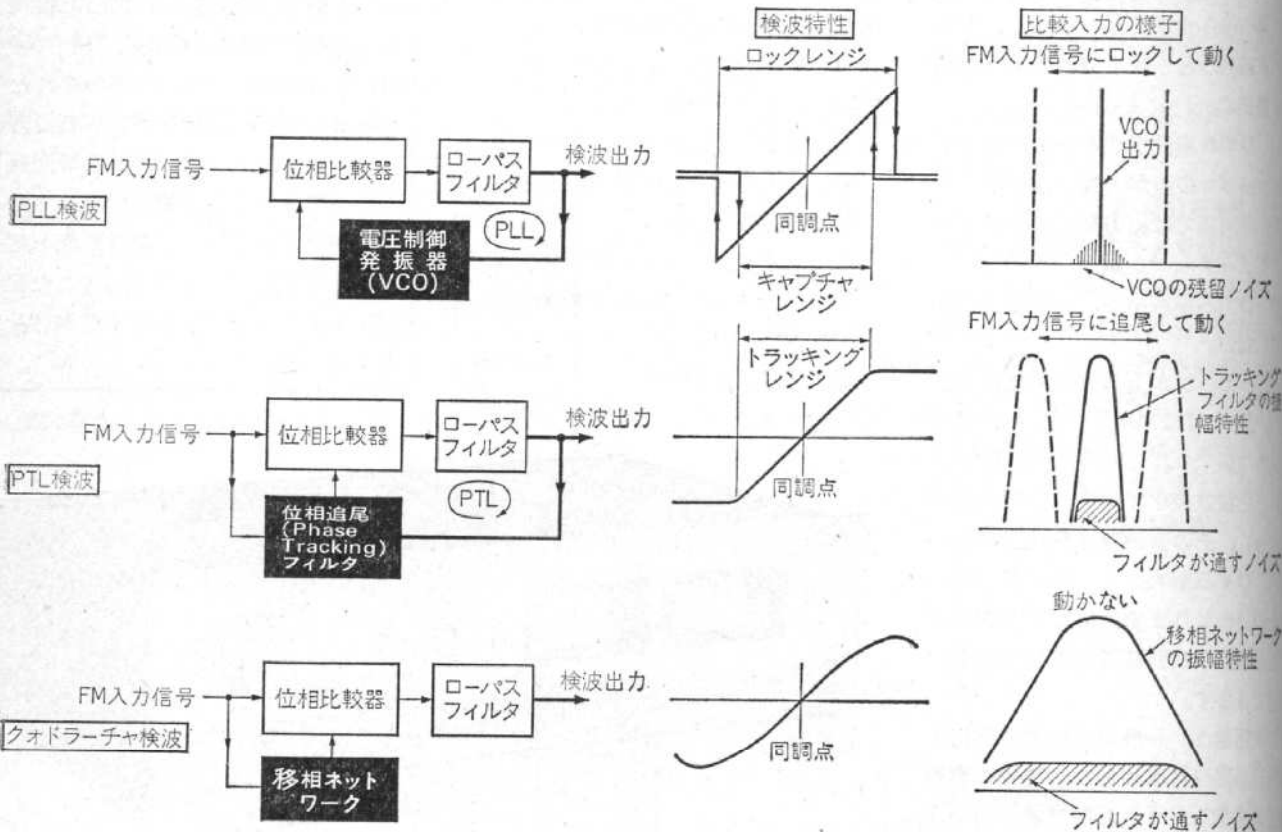
作をするかということ、PLL やクォドラーチャ検波と比較したのが、第 1 図ということになります。

何故 PTL と呼ぶのか? ということを調べてみましょう。

第 1 図の中央の PTL の部分を見ながら調べてみましょう。まず、下のクォドラーチャ検波の場合の移相ネットワークの代わりに、位相追尾フィルタ (Phase Tracking Filter) が入っています。そして検波出力がこのフィルタを駆動して、その中心がたえず FM

萩原 正喜

入力信号の変化を追従するように動作し、そのフィルタを通った FM 信号を直接入ってくる FM 信号との位相差を位相比較器で比較して、その差に応じた出力をローパスフィルタを通し、再びその出力でフィルタを駆動するという一巡のループを形成しています。このループの応答の具合は、FM 入



〔第 1 図〕 各検波方式の構成

信号の位相変化に追従して動作します。位相追尾 (Phase Tracking Loop) 動作しているわけです。

では第 1 図を見ながら、各回路の動作を詳しく説明します。

PTL 回路

PTL のローパスフィルタを切り離すと、この部分を切り離した回路動作としてはクォドラーチャ検波の形態となって、移相位相フィルタがなくなります。ここでクォドラーチャ検波の移相ネットワークに、低ひずみの検波回路を入れると、できるだけ広い位相シフトに対応する位相シフトだけ広がるようにはなりません。一方、PTL 検波の場合、移相位相フィルタの場合に直線性はある程度だけ振幅特性が鈍ります。しかし、これはどちらも同じように比較器へ入る FM 信号を通過させた後に周波数変換を受ける入力とを位相

(A) クォドラーチャ検波の移相ネットワーク

(B) PTL 検波の場合の移相ネットワーク

信号の位相変化に追従するように動作しますので、位相追尾ループ (Phase Tracking Loop) 略して PTL と呼んでいるわけです。

では第1図を見ながら PTL 検波回路の動作を詳しく調べてみましょう。

PTL 回路について

PTL のローパスフィルタ出力で位相追尾フィルタを駆動しています。今この部分を切り離したとすると、回路動作としてはクォドラーチャと同じ形態となって、移相ネットワークと追尾位相フィルタが対応するようになります。ここでクォドラーチャの場合の移相ネットワークは第2図[A]のように、低ひずみの検波を行こなおうとすると、できるだけ広帯域にして周波数に対する位相シフトの直線性をできるだけ広くなるようにしなくてはなりません。一方、PTL検波の場合の位相追尾フィルタの場合は、第2図[B]のように直線性はある程度無視して、できるだけ振幅特性がシャープになるようにします。しかし検波のメカニズムとしてはどちらも同じです。直接、位相比較器へ入るFM入力信号と、フィルタを通った後に周波数の変化に応じて位相シフトを受けてから位相比較器に入る入力とを位相比較すると、出力と

して位相シフト量に応じた信号が得られます。FM入力信号の周波数変化に応じて出力信号が出てくるので、この比較出力に含まれている高周波成分を除くと、検波出力として復調オーディオ信号がでてきます。しかし、このままでもくと位相追尾フィルタは周波数変化に対する位相シフトの直線性を無視して狭帯域にしているわけですから、復調されたオーディオ信号のひずみは相当ひどいものとなってしまいます。

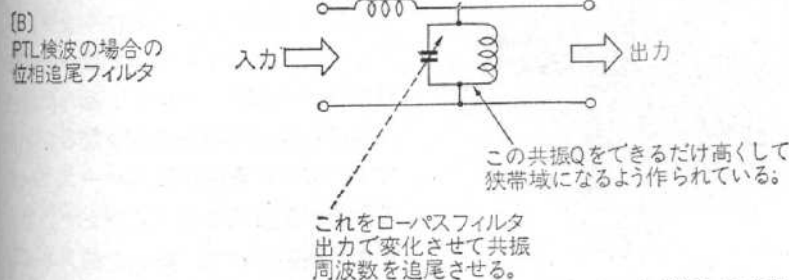
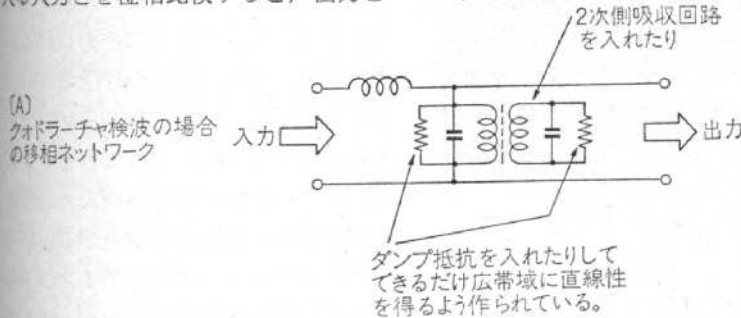
そこで、この復調出力で位相追尾フィルタの中心周波数をゆさぶってやって、FM入力信号の周波数が変化する方向に動くよう駆動するわけです。すなわち位相追尾フィルタは、出力電圧によってその中心周波数を変化させることのできる、狭帯域バンドパスフィルタということになります。このように動作させることにより、移相ネットワークとして、直線部分は非常に狭いにもかかわらず、入力信号の変化を追従しているかぎりはたえず直線部分を動作点としていることとなり、幅の広い直線性が得られることになります。

この入力信号の周波数変化に追従している範囲をトラッキングレンジと呼んで、この範囲では低ひずみの復調が可能となります。さらにこのトラッキングレンジをはずれると、位相比較器

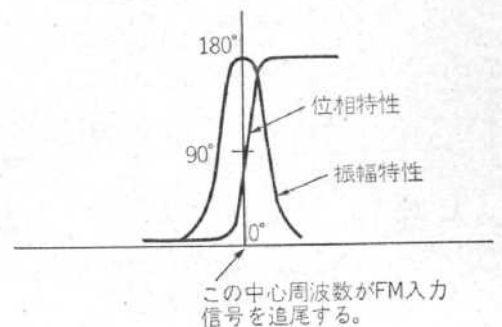
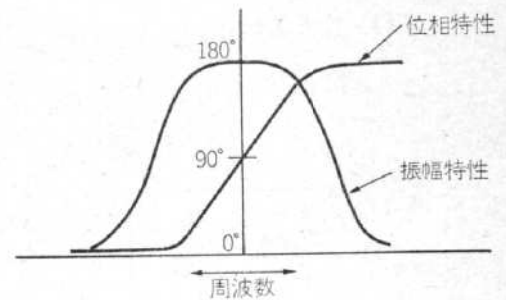
の出力は PLL の場合のようにロックがはずれて基準レベルへ出力が戻るというのではなく、+側または-側で飽和したようになって一定レベルで停まります。したがってトラッキングレンジ外では、検波器は復調能力がなくなります。そのため、PLLの場合と同様に同調点を中心とした、トラッキングレンジ幅の一種のバンドパスフィルタ特性をもつようになります。

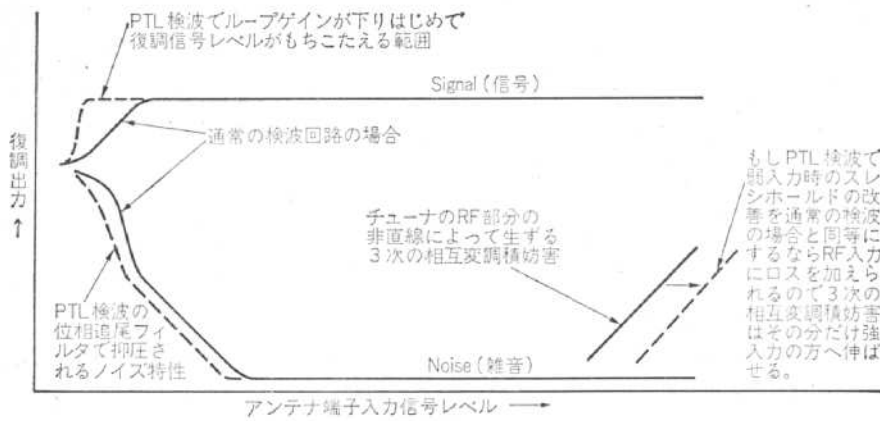
以上のようにして PTL 検波が行なわれるわけですが、ここで注目しなくてはいけない点として、位相追尾フィルタが狭帯域になればなるほど、しっかりとFM入力信号の周波数変化に追従するようにしないと、低ひずみ復調ができないということです。この追従具合を決めるのがループの利得です。そのため、PTL のループ利得を非常に大きくとり、しかも位相追尾フィルタのバンド幅を極限まで狭くします。すると遂には、単1エネルギー周波数成分となって、FM入力信号にロックする状態となって、電圧制御発振器こそありませんが、PLL検波と全く同じ動作を行なうことになるわけです。

一方ループ利得を下げていって、FM入力信号に追従する度合いを下げてゆくと、ループ応答は入力信号にかなり遅れて追従するようになります。



【第2図】 クォドラーチャと PLL の各構成と特性の比較





〔第3図〕 入力信号対復調出力における特性

そして遂に位相追尾フィルタの駆動が切れると、全く追尾しない状態となり、クォドラーチャ検波と全く同じ動作を行うこととなります。このときクォドラーチャ検波と同じ復調ひずみレベルにする場合には、当然クォドラーチャ検波の移相ネットワークと同じバンド幅に位相追尾フィルタをする必要があります。

このように PTL 検波は、PLL 検波とクォドラーチャ検波、両方式の中間動作をするものです。すなわち、そのループ利得と位相追尾フィルタのバンド幅を変えることにより、どちらの特性にもすることができます。

以上のような各検波方式の動作を比較している第1図をもう一度ご覧になって下さい。

PTL 検波の特長

では、次に PTL 検波を使用して FM 信号の復調を行なうと、どのような

特長があるかについて調べてみましょう。

高 SN 比、低ひずみ復調が可能

ループの応答具合で検波の直線性が決まるので、トラッキングフィルタを極力狭帯域に、そしてループ利得を充分大きく作れば PLL の電圧制御発振器のような残留ノイズ源がないので、高 SN 比で低ひずみの復調を行なうことができます。

優れた妨害排除能力を検波回路自体にもたせることができる

位相比較器へ入る入力信号の片方が狭帯域のバンドパスフィルタを通るので、FM 入力信号に妨害信号が混ってきて、直接位相比較器へ入る方に妨害が加わっても、もう一方の入力がしぼってしまうので、結局それぞれの比較を行なった差分が復調出力となり、ループの応答に応じた妨害排除特性が得

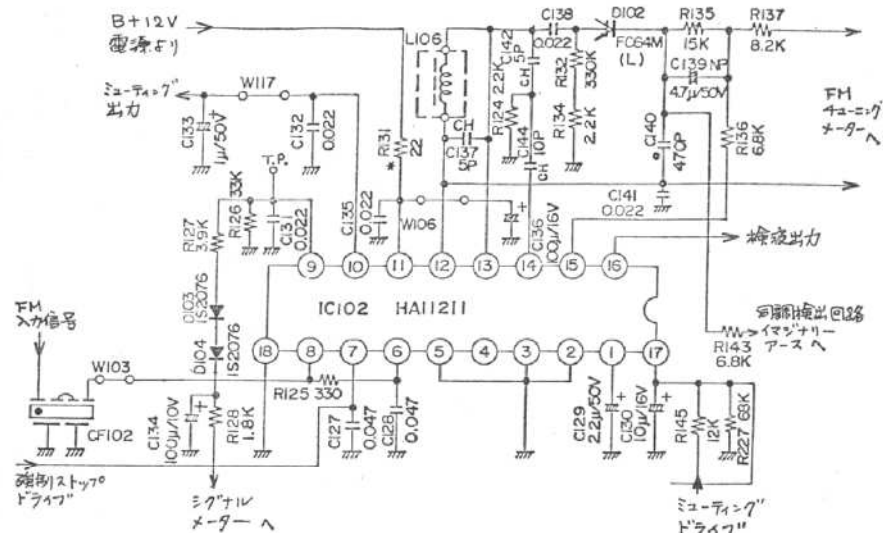
られます。さらにトラッキングレンジ外にエネルギーを持つ妨害については、復調しないという選択フィルタ特性を持っていることです。そのため低ひずみ復調を行こなおうとすると、広帯域に作らざるを得ない通常の検波回路に比べて、低ひずみ復調を行ないながら、妨害排除能力を持たすことができるという有利な点があります。

安定な FM 検波動作が可能

一巡のフィードバックループを形成していますので、温度や経時変化によって多少動作点のズレを生じて、そこを動作の中心点として動作をします。ですから、いわゆる検波回路の周波数依存性が良く、長期にわたり高い安定した動作を行こなわせられます。

弱入力時の SN 比が改善される

もともと PTL 検波回路は PLL 検波回路と同様に、高感度 FM 受信方式の 1 つである FM 帰還技術の一部として研究されてきたものです。その狙いは FM 信号復調に特有の SN 比、スレシホールドレベルの改善にあったわけです。この動作のメカニズムを説明しましょう。まず第3図のように検波回路のリミッタの動作が弱入力時に停って検波回路への FM 入力レベルが下るとすると、位相比較器の出力レベルも下がります。そのため見かけ上のループゲインが下り、位相追尾ループの FM 入力信号への追従が遅れてきます。したがって位相比較器への両入力の位相差が広がり、復調出力が上がるといようにして結局、ループゲインが下がって、位相追尾ループが停まるところまで、復調 SIGNAL (信号) レベルを一定に保つように働きます。ですから通常の検波回路に比べて、弱入力の方へ伸びることになります。一方この弱入力信号レベルでは、FM 検波動作から AM ミキシング動作に検波回路が弱入力に向って切り変わるレンジです。ですから位相追尾ループで一方の入力が狭帯域になっていますのでノイズも制限されて、結局復調ノイズレベルも下がります。そのため高 SN 比で



〔第4図〕 PTL 検波回路部 (ピクサー JT-V77)

レンジについてフィルタ特のため低すると、広常の検波回を行ないなすことができます。

能
ープを形成時変化によ
じて、そ作をしま波回路の同
たり高い安
れます。

される
PLL検波
受信方式の
一部として
その狙いは
七、スレン
ったわけで
を説明しま
に検波回路
時に停っ
レが下ろ
カレベルも
このループ
のFM
きます。し
入力の位相
るという
ンが下が
まっしま
(信号)レ
きます。
べて、弱
ます。一
、FM検
作に検波
るレンジ
プで一方
すのでノ
ノイズレ
SN比で

聞くハイファイ受信ということではなく、いわゆる遠距離 BCL 受信のような場合には、この高感度受信の特長を活かした受信を行なうことができます。また一方この高感度を活かさないで、従来と同様の感度レベルにセットするならば、アンテナ入力とその分だけ減衰させることができます。そのため今度は強入力時に途中の回路の非直線性によって生ずる相互変調妨害に対するマージンがそれだけ強入力レベルに伸びることができることとなります。以上のことはFM チューナのアンテナ端子入力レベルに対する、ダイナミックレンジが広がるということと同様といえると思います。

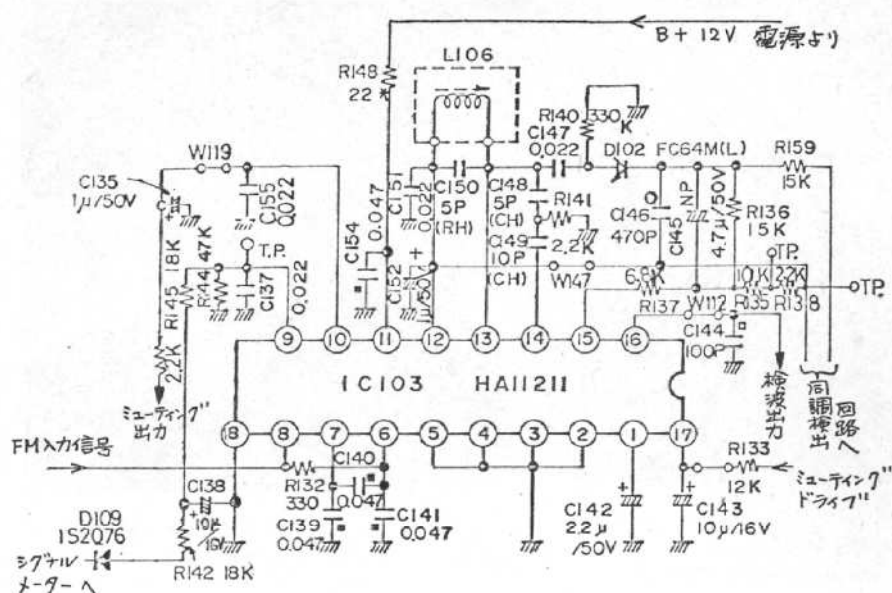
検波回路自身にAM 信号抑圧特性をもたせられる

FM 入力信号と同時にAM 変調成分の信号が入ってきて、そのまま復調してしまうと(もともとFM 信号成分の復調信号のみが必要なのですから)不要なひずみ成分となります。これは前段のリミッタ回路でFM 成分のみとしたいのですが完全ではありません。したがって、検波回路自身でAM 信号抑圧能力をもっていると有効です。PTL 検波回路では、AM 成分が復調されてしまっ検波出力として出てくると、そのレベルを下げる方向に位相追尾フィルタが応答しますので、ループの応答に応じたAM 抑圧能力を持つこととなります。

以上のような特長を活かして、ハイファイ性と受信性能の高い性能水準を安定に要求されるFM チューナの重要部分として、PTL 検波回路が実際のセットに織り込まれてゆくわけです。

次に PTL 検波回路を構成するうえで、難しい点について考えてみたいと思います。

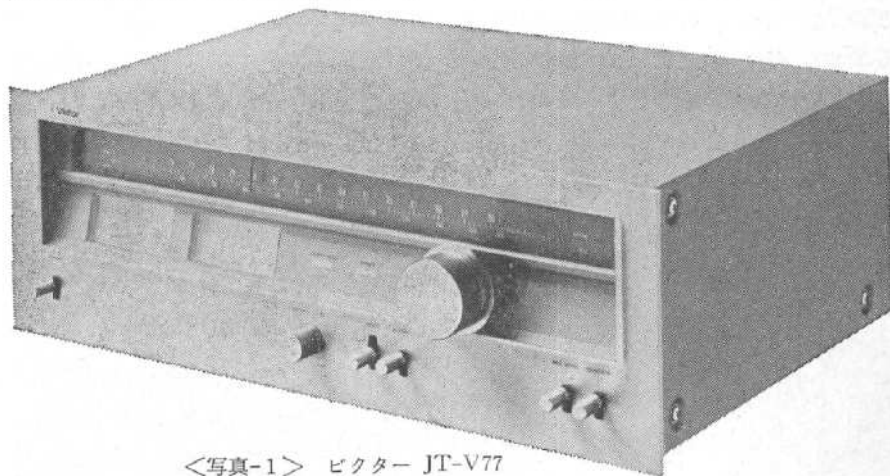
まず、理想的には位相追尾フィルタのバンド幅を極限まで狭くしぼって、ループゲインを非常に高くとる、いわゆる PLL 動作に近づけることが必要なわけです。しかしフィルタのバンド幅をしぼるということは、その中心部



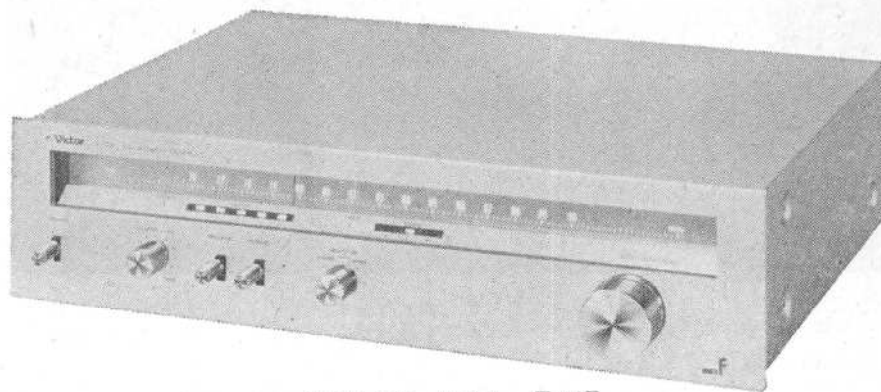
〔第5図〕 PTL 検波回路部 (ビクター T-50F)

分の周波数での位相シフトが急げきになるということを意味しますので、ループの安定度を確保するのが難しくなってきます。その点からある限界が出てきます。ループを構成する回路素子の高い周波数での特性が改善されるにしたがって、理想に近づけられるという可能性をもっているといえると思います。またこの検波回路の直線性を決めるもう一つの要素として、位

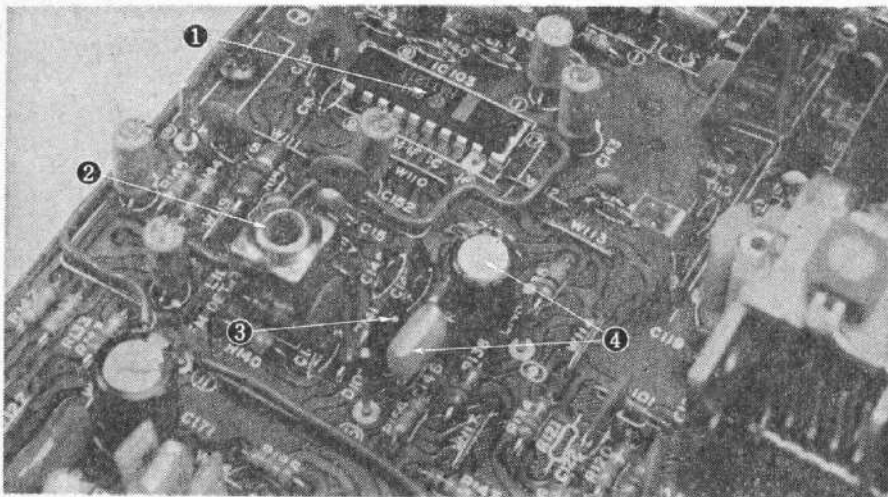
相追尾フィルタの駆動信号に対する応答の直線性があります。フィルタを構成する部品、実際には電圧容量可変ダイオードが使われていますが、この直線性が復調信号のひずみレベルを決めるといって良いと考えます。実際の使用セットでは特別に作られたダイオードを使用して、低ひずみ復調を可能にしていますが、回路構成上の重要部品ということができると思います。



<写真-1> ビクター JT-V77



<写真-2> ビクター T-50F



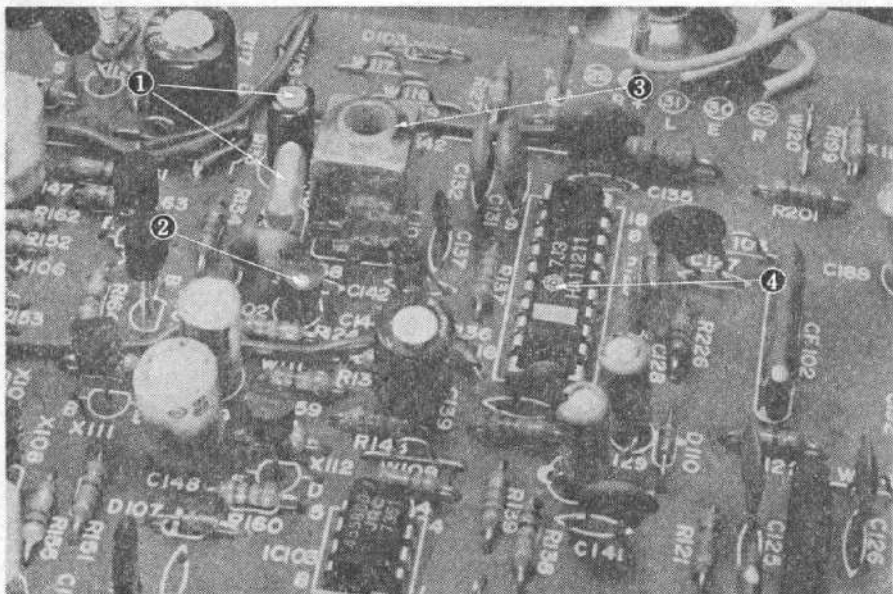
①リミッタ, 位相比較器, 出力アンプを含む IC ②トラッキングフィルタを構成するコイル ③トラッキングフィルタを構成する容量可変ダイオード ④ループフィルタ構成するコンデンサ

＜写真-3＞ PTL 検波回路部 (ビクター T-50F)

ループゲインが低く位相追尾フィルタの応答がFM入力信号に対して遅れが多いと、フィルタが狭帯域だけにFM入力信号が追加すると位相シフトだけでなくAM信号成分を生じます。このAM信号成分はそのまま位相比較器に入っていくと復調されてしまいますので、極力下げる必要があります。位相追尾フィルタと位相比較器の間にリミッタを入れるとAM成分を抑えることができますが、抑圧度の変化に応じてリミッタ部での位相シフト量が変化するという性質があります。そのためあまりリミッタ回路をその間に入れる

ことは良くないということです。結局ある程度以上のループゲインを確保してFM入力信号の変化に対するループ応答速度を確保する必要があります。

以上のようにこの PTL 検波回路も PLL 検波と同様に、高感度FM信号復調のための回路技術の1つである FM 帰環の技術の一部として研究されてきたものです。今まで回路素子の安定度や、回路上の工夫を多く要するため FM チューナ用として使う場合、10.7MHz という高い周波数での実現が困難であったのです。しかしFM 放送信号と同じように、そのサブチャネ



①ループフィルタを構成するコンデンサ ②トラッキングフィルタを構成する容量可変ダイオード ③トラッキングフィルタを構成するコイル ④リミッタ, 位相比較器, 出力アンプを含む IC

＜写真-4＞ PTL 検波回路部 (ビクター JT-V77)

ル信号が FM 信号である、4 チャンネルレコード (CD-4 システム) デジタルレコーダとしての開発検討が行こなわれたのがトリガーとなって、そしてさらに昨今の半導体を含む各パーツの高性能化と回路技術の進歩が伴って 10.7MHz という高い周波数におけるハイファイ FM 検波回路が可能になったものといえます。

今後さらにこの PTL 検波回路がハイファイ性能と受信性能の高水準を安定に得ることの要求される FM チューナの重要部分として発展してゆくものと考えます。またさらにこれから PTL になるのだろうか、PLL になるのだろうかという疑問に対しては、それぞれの検波方式の特長をひき出し弱点を克服する回路技術や回路構成パーツでどちらが先に水準のあらゆる点で高いものになるかによって決まってくるものと思います。今後ともこの面での研究開発が熱心に行こなわれるものと思います。

最後に PTL 検波回路を内部に採用している製品として代表的な機種の写真を紹介します。その1つは日本ビクターの JT-V77 形であり、もう1つはやはり日本ビクターの T-50F 形で一般の FM 放送受信用ハイファイチューナとして PTL 検波回路を用いた最初のモデルといえると思います。

一口メモ

フェイス フェイス トラッキング ループ
Phase Tracking Loop の略称で、位相追尾ループとも呼ばれ入力信号に追従して中心周波数の変化する狭帯域バンドパス・フィルタ (トラッキング・フィルタ) を持っているのが特長。

FM 信号の高感度受信のための技術として開発されたもので、狭帯域でありながら、入力信号にフィルタが正確に追従することによりハイファイ復調が行なわれる。ハイファイ性と同時に妨害排除能力の要求される FM チューナ用の検波回路として研究が進められている。

(日本ビクター
ステレオ技術部)

PLL

PLL というピュラーとなるステレオ復していないセッと思います。まう文字が書かっても切れなさらに、最イザ形チューれてきました PLL 回路を使 FM チュー PLL 回路を使 MPX 回路やと異なり、FMにもどす、いうわけです。4 チャンネルレけるサブチャ同じといてうに現在使わきを表にして

FM チュー 検波回
DC-4 のサ チャンネル
TV 音声多重 サブチャンネル
FM チュー オ MPX 復調
シンセサイ チューナ

4チャンネル
ム) ディモジ
付が行こなわ
て、そしてさ
各パーツの高
が伴なって
波数における
が可能になっ

検波回路がハ
の高水準を安
FM チュー
てゆくもの
れからPTL
てなるのだ
は、それぞ
出し弱点を
成パーツで
る点で高い
ってくるも
の面での研
るものと思

内部に採用
な機種の写真
は日本ビク
もう1つは
F形で一般
イチューナ
ちいた最初
す。

略称で、
入力信号
化する狭
(トラッ
ているの

めの技術
狭帯域で
フィルタが
ハイファ
ファイ性
求される
として研

技術部)

フェイズロックド・ループ

5 PLL 検波について



PLL 検波について

PLLという言葉は最近では非常にポピュラーとなって、特にFM チューナのステレオ復調回路では、PLLを使っていないセットは無いといってよいと思います。またセット自体にPLLという文字が書かれているものもあり、切っても切れない関係になっています。

さらに、最近ではいわゆるシンセサイザ形チューナが製品としてかなり現れてきましたが、これもほとんどがPLL回路を使用しています。

FM チューナの検波回路としてこのPLL回路を使う場合は、このステレオMPX 回路やシンセサイザ回路の場合と異なり、FM 信号をオーディオ信号にもどす、いわゆる復調動作として使うわけです。ですから、動作としては4チャンネルレコードのCD-4方式におけるサブチャンネル信号の復調と殆んど同じといってよいと思います。このように現在使われているPLL回路の働きを表にして比較してみると、第1表

のようになります。

PLL(Phase Locked Loop) 回路をFM 信号の検波回路として使用する場合、一番の問題となる部分はその中心周波数が、10.7MHz とかなり高いことで、安定な動作を得るための工夫がこの検波回路のかぎとなります。

PLL 検波の構成

まずこの検波のしかたを調べてみましょう。もともとFM 信号は第1図のようにオーディオ信号を放送電波にしやすいうように、音の大小を高い周波数の密度の濃淡(周波数の高低)に変えたものですから、これをもう一度オーディオ信号にもどすのが検波回路の働きです。PLL検波ではこのFM 信号の瞬時瞬時の周波数変化を、全然変化のないとき(無変調時)との位相の差としてとらえて、その変化を検出してオーディオ信号として検波する、いわゆる位相検波器の一種といえます。その基本的な回路構成は第2図のようになっています。位相比較器——ローパスフィ

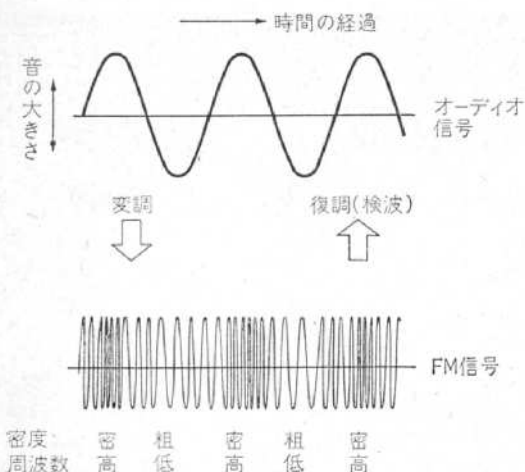
萩原 正喜

ルタ——電圧制御発振器(VCO)で構成される一巡のループとなります。入力信号に位相を合わせようという方向にループが応答する動きを応用していますので、温度や経時的変化による多少のズレも吸収して、高い安定度が得られるところに特長があります。

では入力信号に対してループがどのように応答するかをみてみましょう。第2図のように、まずFM 信号は位相比較器へ入ってきます。FM 入力信号が全然入ってこないときは、ループの電圧制御発振器はFM 入力信号の周波数にほぼ近い周波数(フリーラン)で発振出力を位相比較器に供給していますが、FM 入力信号が加わり、それが無変調のときは、入力周波数と同じ発振周波数に Lock した信号を位相比較器に供給してその状態でループが安定します。この状態を基準としてFM 入力信

	中心(キャリア)周波数	最大周波数偏移 (最も音の大きいときの周波数変化)	PLL 回路の働き
FM チューナの検波回路	10.7MHz	±75kHz	FM信号を検波してオーディオ信号(コンポジット信号)に戻す
DC-4のサブチャンネル信号復調	30kHz	約 ±10kHz	FM信号を検波してオーディオ信号(L-R)に戻す
TV音声多重放送のサブチャンネル信号復調	約31.5kHz (2×fH)	±10kHz	FM信号を検波してオーディオ信号(L-Rまたは副音声)に戻す
FMチューナのステレオMPX復調回路	19kHz	変化しない	パイロット信号の19kHzに正確に同期した38kHzのスイッチング信号を作る
シンセサイザチューナ回路	ローカルオシレータの周波数	受信周波数が決まったら変化しない	決められた周波数の正確な同調電圧とミキサ入力信号を作る

〔第1表〕 PLL 回路が使われるいろいろな回路



【第1図】 FM 信号の構成

号の変化にロックした信号を供給してゆきます。位相比較器の出力は入力 FM 信号が変化すると電圧制御発振器の出力との間の位相差に応じて、誤差電圧を出力します。その動作は電圧制御発振器の出力周波数が、FM 入力信号の周波数変化に追従する方向で誤差電圧を発生します。位相比較器で比較している信号の周波数は 10.7MHz とオーディオ信号に比べて非常に高い周波数ですし、検波出力としては不要な成分ですから次のローパスフィルタでフルってしまいオーディオ信号のみとします。この出力はそのまま検波出力としてとり出しますが、もう一方でこの出力で電圧制御発振器を駆動します。

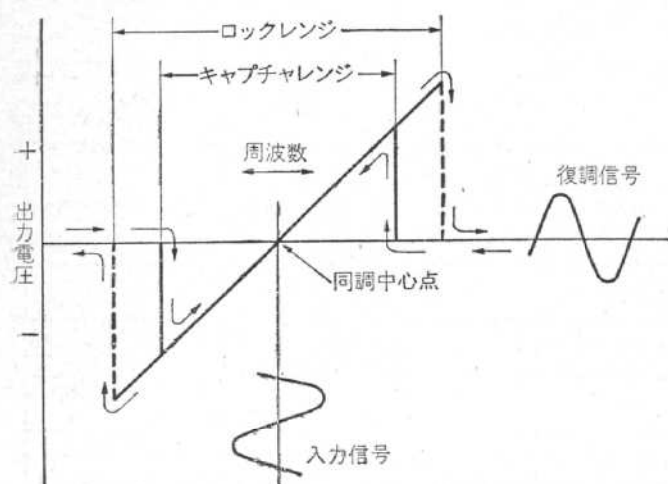
電圧制御発振器は駆動電圧に応じてその発振周波数を変化させる発振器ですので、ローパスフィルタの復調出力の変化に応じた発振出力を位相比較器に供給します。このようにして構成されている位相比較器—ローパスフィルタ—電圧制御発振器という一巡の

ループは、FM 入力信号の位相の変化に電圧制御発振器の出力をロックして動作するように働らくので、PHASE LOCKED LOOP、頭文字をとって PLL と呼ばれています。

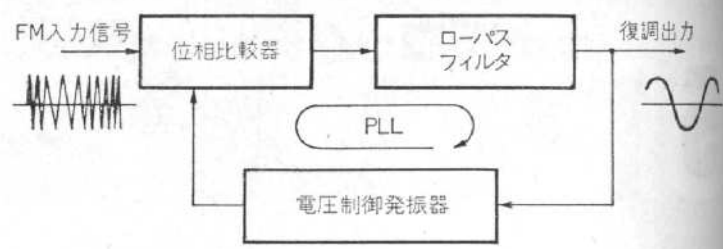
検波の方法

次にどのようにして FM 信号が検波されるか調べてみましょう。

第3図を見ながら動作を調べてみましょう。まず、入力信号が無変調のときは図の同調中心点にいますが、入力信号が変化して変調がかかってくると、周波数が中心点より左右に動きます。即ち第3図の斜線の勾配にそって、復調信号が出てきます。この様子をもう少し細かく見てみましょう。まず周波数の低い方から徐々に高い方へ入力信号周波数を変化させてゆくと、第3図の右向き矢印のようにあるところまでくると急げきに一側へ下り、さらに斜めに+側へ向って上ってゆきます。さらに周波数が高くなるとついにロック



【第3図】 PLL の動作



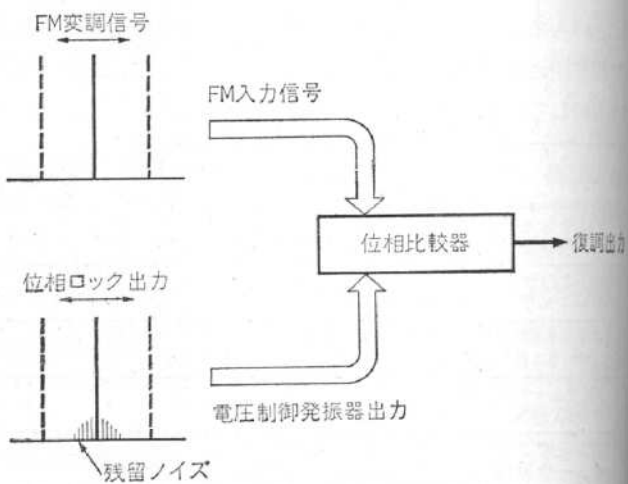
【第2図】 PLL のブロックダイアグラム

がはずれて、最初の状態に戻ります。ここでは逆に高い方から周波数を下げると、上げてきた場合とほぼ同様ですが、経路が図のように異なった左向きの矢印を通ります。ここで外から入ってきたときの検波動作をはじめる範囲を信号を捕えるということで、キャプチャレンジと呼び、外へはずれて行って検波動作を行こなっている範囲を信号がロック状態にあるということでロックレンジと呼んでいます。それぞれのレンジが斜めの勾配を持っているということは、入力信号の周波数変化が出力電圧の変化になるということですから、このようにして FM 検波動作が行こなわれることとなります。

PLL検波の特長

次にこのPLL FM 検波回路の特長を調べてみましょう。

もともとこの PLL 回路は FM 復調用としては高感度受信技術の一つです。通信用で特に弱い電波を復調するとき FM 信号特有のある強さ以下の入力になると急げきに SN 比の悪化する点、すなわちスレシールドレベルの改善を行なうために、帰環という技術が用いられています。その一部分と

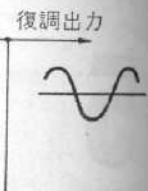


【第4図】 位相比較器の働らき

して不可欠な...
されてきたも...
一ナの検波回...
その長所とし...
られます。

検波器自身

っている
通常の検波...
ためには、広...
ということに...
にすると必要...
いても復調し...
きまといます...
と妨害排除能...
ります。通常...
は検波特性を...
てハイファイ...
力は前段のIF...
うになってい...
るだけ狭帯域...
何段か接続し...
るようになって...
のフィルタは...
生するひずみ...
性の悪化を伴...
か重ねようと...
波数の誤差も...
ここでも、帯...
妨害排除能力...
て各メーカー...
を高めるため...
す。そこで IF...
めにとって、...
能力や選択度...
もハイファイ...
になればチュ...
づくというこ...
では第4図の...
てゆく電圧制...
をとればただ...
成分です。そ...
とを比較して...
ので、入力に...
て入ってきて...
①シールドケ...
御、発振器...
②リミッタ、...
ブを含む I



して不可欠なもので、研究され実用化されてきたものです。PLLをFMチューナの検波回路として使った場合は、その長所として次のような項目が考えられます。

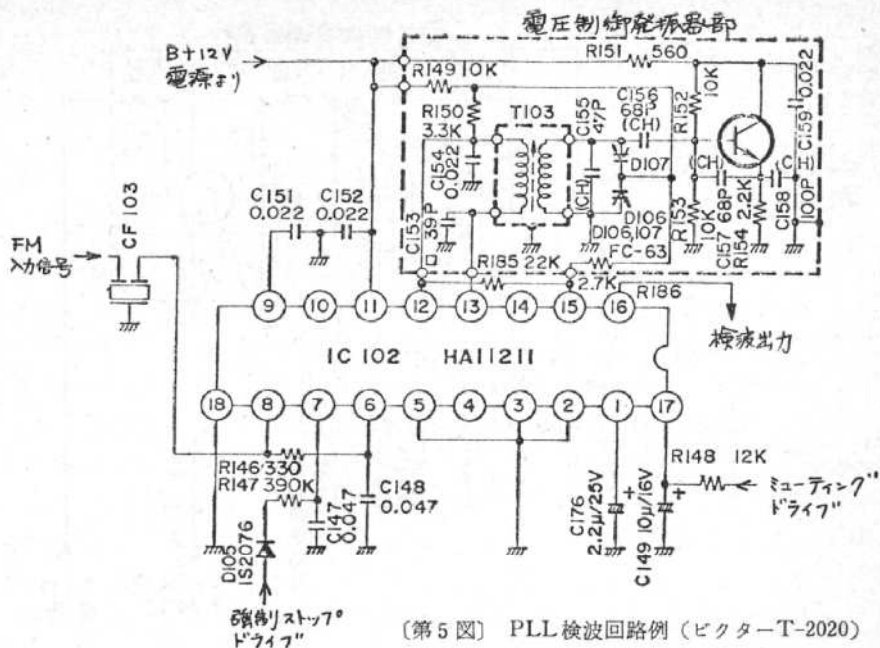
検波器自身で高い妨害排除能力を持っている

に戻ります。この周波数を下げるとほぼ同様で異なった左向ここで外から入をはじめる範ことで、キャへはずれて行っている範囲をということになります。それぞれを持っているの周波数変化ということFM 検波動作ります。

通常の検波回路で、低ひずみとするためには、広帯域にしないといけないということになります。しかし広帯域にすると必要とする帯域外の信号についても復調してしまうということがつきまといます。すなわち低ひずみ復調と妨害排除能力とは相反する関係にあります。通常、ハイファイチューナでは検波特性をできるだけ広帯域に作ってハイファイ性を優先し、妨害排除能力は前段のIF回路で受けもつというようになっています。またIF段ではできるだけ狭帯域となるようにフィルタを何段か接続して所定の選択度を確保するようになっています。しかし狭帯域のフィルタはそれを通過するとき発生するひずみレベルを決める群遅延特性の悪化を伴ない、さらにこれを何段か重ねようすると組み合わせ中心周波数の誤差も伴ってきます。それでここでも、帯域幅でハイファイ性能と妨害排除能力とは相反する関係となって各メーカーともこの兼ね合い水準を高めるために努力をしているわけです。そこでIF段の帯域幅をある程度広めにとって、検波回路自身に妨害排除能力や選択度特性をもたせられ、しかもハイファイ復調ができるということになればチューナとして理想に一步近づくといいことになります。PLL検波では第4図のように位相比較器へ入ってゆく電圧制御発振器の出力は、瞬間をとればただ1つの周波数エネルギー成分です。そして、これとFM入力信号とを比較して検波出力をとり出しますので、入力に妨害信号やノイズが混って入ってきても、比較するもう一方に

①シールドケース内に納められた電圧制御、発振器部分

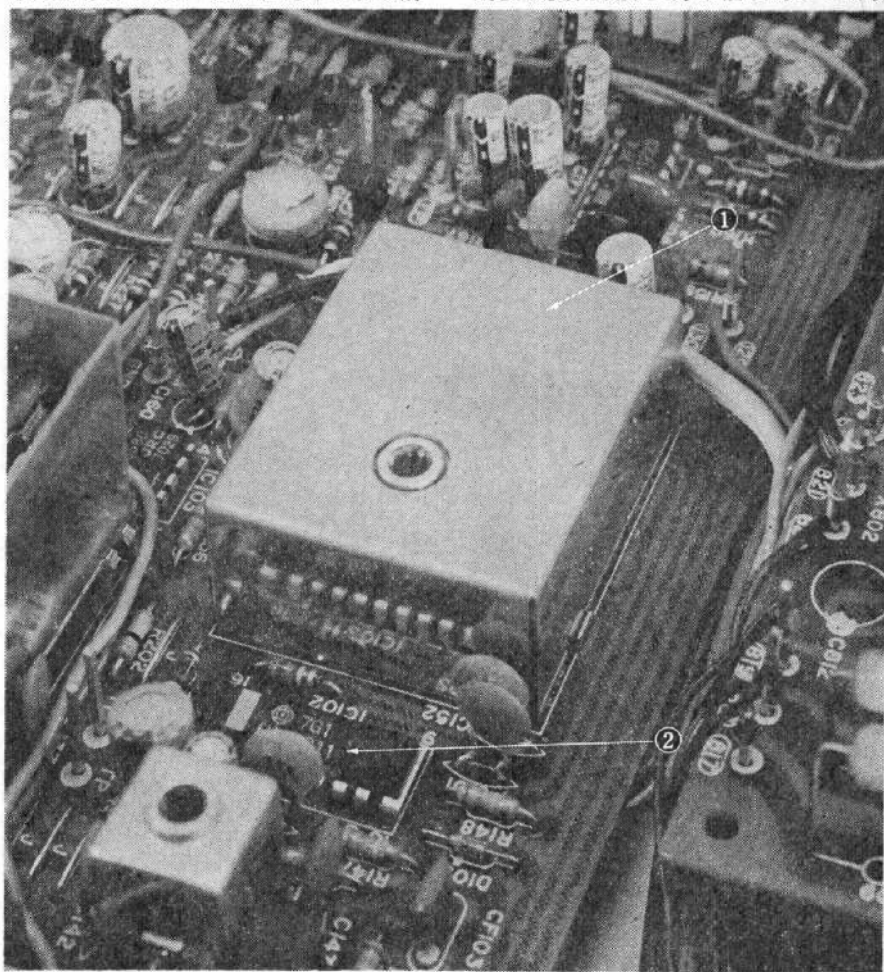
②リミッタ、位相比較器 および出力アンプを含む IC



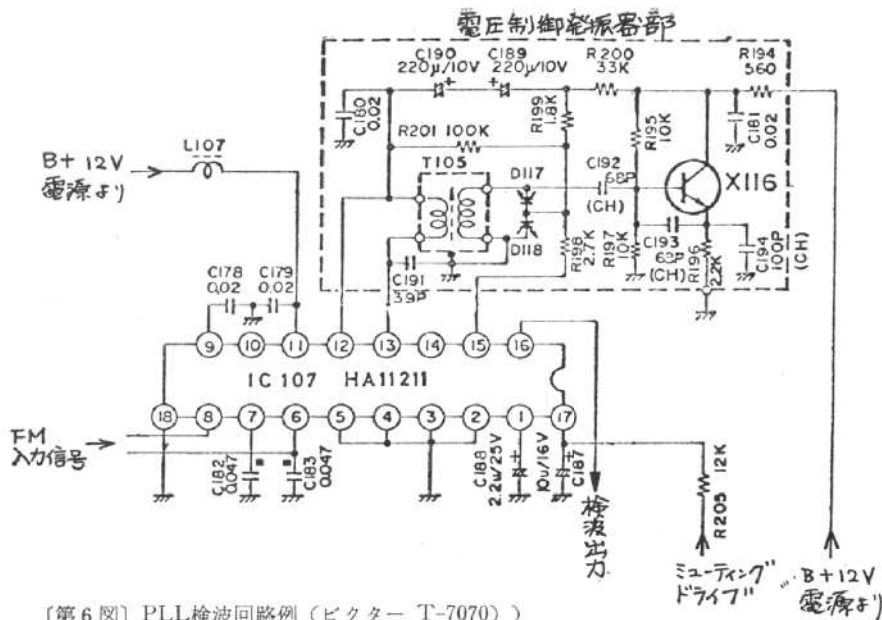
〔第5図〕 PLL検波回路例（ビクターT-2020）

混っていないかぎり復調されません。非常に有効に動作するということがお解かりいただけると思います。第3図をもう一度見て下さい。希望する同調信号の帯域内の成分については、ロックレンジ内のものについてののみ復調動作をして、それより外の信号については復調しません。また帯域外よりの妨

害信号についてはキャプチャレンジ内にかぶってくる成分のみ復調動作をしそれより外については復調しません。つまりPLL回路は一種の急峻なカットオフ特性をもつバンドパスフィルタとして働きます。そのためロックレンジやキャプチャレンジを、FM信号の周波数変化成分の分布幅に対して適切



〈写真-1〉 PLL 検波回路部（ビクター T-2020）



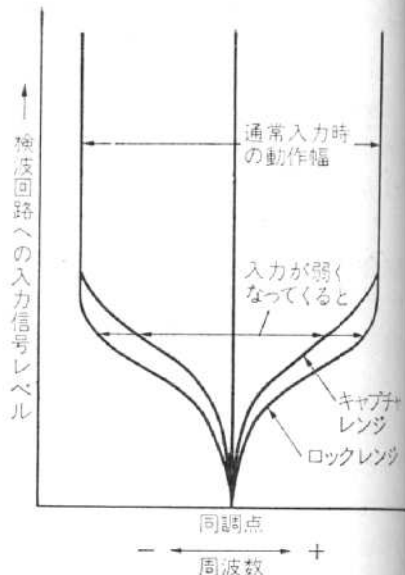
〔第6図〕PLL検波回路例（ビクター T-7070）

に選んでやることにより、検波回路自体に高い妨害排除能力を持たせられるという有利な点を持っています。なお、このロックレンジおよびキャプチャレンジの幅はPLL検波回路の入力レベルが下がってくるにしたがって第7図のように狭くなる動作をしますので入力非常に弱い状態での遠距離受信

等には有効となります。

温度や経時の変化による多少のズレも吸収して高い安定度が得られる。

条件の変化で同調点や動作の中心点が多少ズレてもロックレンジの範囲内にあるかぎり入力信号に位相を合わせようとする方向にループが応答する働



〔第7図〕PLLの同調点と検波回路の入力信号レベル

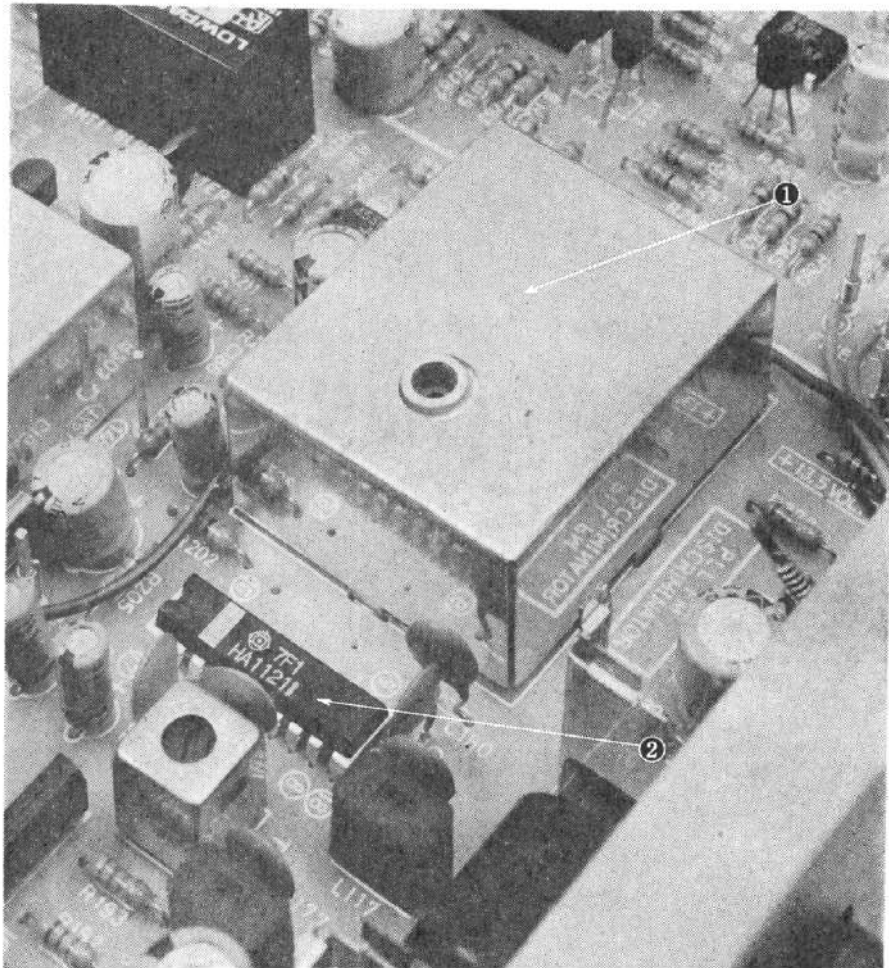
らきを応用しています。

回路自体にAM信号抑圧能力がありFM信号復調回路として有効

FMチューナではFM信号成分のみを復調したいわけでAM信号については全然感じないというのが望ましいわけですが、実際にはある程度の復調してしまいます。この程度を表わすのがAM抑圧度ということになります。

検波回路の前段でFM信号のみで済ましてAM成分が全くないという状態では、全問題とならない項目ですが、なかなかそうはゆきません、前段（FM成分のみにする働きをするリミッタ段）で完全に除ききれずに検波回路に入ります。AM成分が含まれる原因としては、放送局から受信アンテナまでの直接波だけでなく反射波も入ってきて生ずるマルチパス妨害、TV電波のようにAM成分を持った非常に強力な電波が飛びこんでくるための妨害、前段のフィルタが周波数に対して平坦な振幅特性でないために生ずるAM成分いろいろあります。これらはそのまま復調されますとひずみ等の妨害となりますので、検波回路としてAM抑圧能力をもつことが望ましいこととなります。

- ①電圧制御発振部はシールドケースの中に入っている
- ②リミッタ回路、位相比較器および出力アンプを含んだIC



〈写真-2〉 PLL 検波回路部（ビクター T-7070）

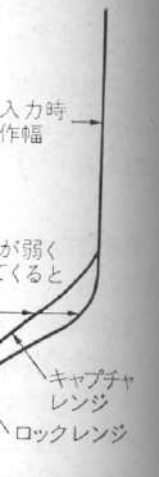
す。
PLL検波では入
てくとローパス
圧制御発振器を
て出てくる分だ
る方向に動作す
しています。で
に応じたAM抑
を抑えてくれま
以上のようにF
波、弱い電波、
いる中から希望
イファイを再生
ーナの検波回路
っているという
と思います。次
に欠点となる部
解決しているか
と思います。

PLL

まず、電圧制御
ータを持っている
発振エネルギー
を考えなければ
にアンテナ入力
飛び込むと、IF
妨害比の劣化とな
として発振器部分
ほどこしたり、ミ
ル動作をさせる
ます。

検波器としての
なさ）は電圧制御
に支配的となり
な配慮が必要で
回路を用いた変
れた電圧容量可
て、直線性の良い
成して高性能を

次にセットの
ギは、いかに低
器をつくるかに
は位相比較器へ
瞬時的には第4
周波数成分であ
すが、ノイズ皆無
は不可能なので、
数成分を中心に



す。
PLL検波では入力にAM成分が入ってくるとローパスフィルタを通して電圧制御発振器を駆動し、AM成分として出てくる分だけ復調成分から減算する方向に動作する、帰環ループを形成しています。ですから、ループゲインに応じたAM抑圧能力を示しAM成分を抑えてくれます。

以上のようにPLL検波回路は強い電圧、弱い電波、妨害電波等入り混っている中から希望の電波をより分けてハイファイを再生しようとするFMチューナの検波回路として優れた特性を持っているということが理解いただけたいと思います。次にPLL検波を使う場合に欠点となる部分、およびそれをどう解決しているのかについて触れてみたいと思います。

PLLの短所と対策

まず、電圧制御発振器というオンシレッタを持っているわけですから、この駆動エネルギーが飛び出すということを考えなければならないわけです。特にアンテナ入力等のハイゲイン部分に飛び込むと、IF妨害比やスプリアス妨害比の劣化となって現れます。対策として発振器部分に念入なシールドをほどこしたり、またできるだけ低レベル動作をさせるといった工夫をしています。

検波器としての直線性（ひずみの少なさ）は電圧制御発振器の直線性が特に支配的となります。この点には十分な配慮が必要で、後述しますPLL検波回路を用いた製品では、特別に作られた電圧容量可変ダイオードを使用して、直線性の良い電圧制御発振器を形成して高性能を得ています。

次にセットの復調SN比を決めるカギは、いかに低ノイズの電圧制御発振器をつくるかにかかっています。本来は位相比較器へ供給する発振器出力は瞬時的には第4図のようにただ1つの周波数成分であることが望ましいのですが、ノイズ皆無の発振器ということとは不可能なので、図のように出力周波数成分を中心にノイズが入ってきま

す。このレベルを極限まで下げる設計が必要となります。

むすび

以上PLL回路のFM検波器に使用される場合の特長と短所を述べてきましたが、もともと放送電波を受信するという性格をチューナでは要求されていますのでハイファイ性能一本鎗というわけにゆきません。いかに低ひずみ、高SN比のチューナでも妨害電波によってノイズ等が復調されると、もうひずみとかSN比という以前の音となってしまいますので、他のオーディオ機器と異なり、ハイファイ性と同時に妨害排除能力、いわば受信性能が要求される場所にチューナを作る上での難かしさがあるわけです。それぞれの要求性能の片方を良くすると他方が悪くなるといった二律背反の性格があるだけに、その兼ね合い水準を向上させることに、チューナ設計の努力が行なわれていきます。そうした点を解決する一方法としてPLL検波回路は非常に有効な手段と考えられますので、今後さらに検討が進みFMハイファイチューナの重要な部分となると思います。さらにもう少し妨害排除能力が要求として切実な自動車ラジオでは、そのFMチューナ部としてたえず移動するための電波の強さの変化、マルチパス妨害、周囲からの雑音電波、そして環境温度変化のはげしさ等、このPLL検波回路の性能を積極的に活用してゆくのにも最適した対象と考えられ、県域放送を中心にFM放送局が増えることも予定されているだけに自動車ラジオ

へのFMチューナの組み込みは必要となってくると思います。今後この方面でもPLL回路は重要な検波回路として開発が進むものと考えます。

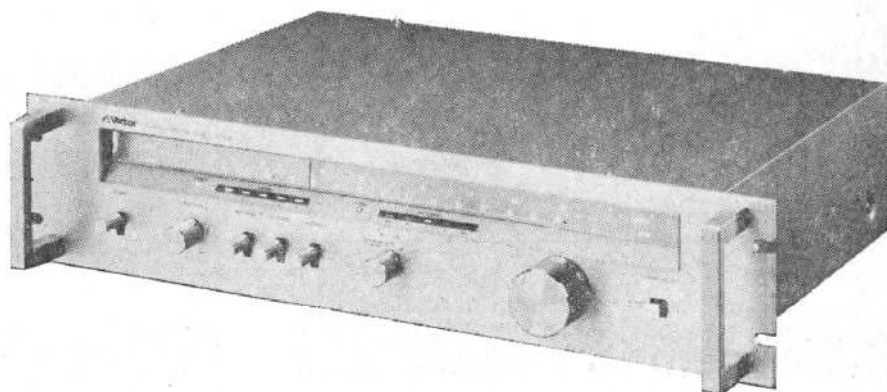
最後に、PLL検波回路を内部に採用している製品として、代表的な2機種を紹介いたします。その1つは日本ビクターのT-7070形であり、もう1つはやはり日本ビクターのT-2020形で一般のFM放送受信用ハイファイチューナとして、PLL検波回路を用いた機種としておそらく最初のものであると思います。

一口メモ

Phase Locked Loopの略称で、位相同期ループとも呼ばれ入力信号にロックして回路が動作するところから、こう呼ばれている。

FM信号などの復調の他に正確にロックしたクリーンな単1信号をとり出すことを利用するFMステレオMPX回路や特定な音の信号のみの有無を検出する、いわゆるトーンデコーダ、そしてチューナの電子同調回路として最近ふえてきたシンセサイザチューナにも使われている。ICなどの性能向上と回路技術の進歩に伴って、今後ますます広く利用される回路の1つ。

(日本ビクター
ステレオ技術部)



<写真-3> PLL 検波回路を使用している例 (ビクター T-2020)