

高性能AM/FM電子チューナ

Advanced AM/FM Electronic Tuner

森田 正和⁽¹⁾ 中村 龍司⁽²⁾ 福山 重樹⁽³⁾
Masakazu Morita Tatsushi Nakamura Shigeki Fukuyama

要 旨

現在、カーオーディオの高級化とハイファイ化に伴いチューナの受信性能に対する要求も高度で多様化している。特に、放送局の多い海外においては、電波状態の強弱に影響されずに、どの場所においても、混信のないクリアな放送を受信したいというユーザの要求が強い。このような背景からAMとFMチューナ部において、より一層の受信性能の向上を図ることが重要である。このため弱入力での受信性能だけでなくAMとFMの強電界における混信と妨害に対する受信性能の向上を図った高性能AM/FM電子チューナを開発した。また、AM部については車載環境特性を考慮し耐温度特性の向上を図った。以上のような性能面の向上により、ユーザに十分満足される高性能チューナが開発出来た。本稿では受信性能の向上について述べる。

Due to the demand from the consumer for a higher quality automotive audio systems, Fujitsu Ten is developing an advanced AM/FM electronic tuner which has clear reception with very low degradation caused by a weak signal.

This advanced tuner was developed with consideration given to both strong and weak signals. Improvements were also made to the temperature sensitivity of the AM section of the tuner, and any anti-interference problems.

This advanced AM/FM electronic tuner should satisfy the most strict requirements of any demanding customer.

1. ま え が き

近年、海外における放送局の数は急速に増加しニューヨーク市内だけでも受信出来るFM局は受信バンド幅が88 MHz～108 MHz帯の受信機で約35局にもなる。このような状況から海外向けチューナに求められていることは、弱電界における受信性能はもちろんのこと受信バンド内の隣接局および受信バンド外の電波による混信妨害などの影響を受けないで、目的の放送局がクリアーに受信出来るものが要求されている。このような観点から当社における海外向けセットのAM/FM電子チューナに関する性能について考察すると、他社との差別化を図る上でより一層の性能向上を図らなければならない。また、低価格で受信性能の重要視されるセットにおいても対応していかなければならない。そこで、これらのニーズに対応するため、性能面およびコスト面で数種の改善を実施し、このうち性能面では、AMについては、受信バンド内外の電波による妨害耐性と耐温度特性の向上、またFMについては、相互変調特性とブランケッティング特性(3.3.2で詳述)等の性能向上を目標に、高性能AM/FM電子チューナの開発を行った。

2. 海外ユーザ向けAM/FM チューナの現状

当社では、1984年以来 AM/FM ETR (Electronic Tuning Radio) およびCS一体機(カセットデッキとチューナの一体機)を海外OEMメーカー向けに供給してきた。現在に於いても海外ユーザより、多種多様のカーオーディオ機器の要求を受けている。その中でもAM/FMの受信性能に関して、厳しい目標値と価値観の多様化に対応した新たな目標値が要求されている。ここで、現在当社において、海外ユーザに供給しているカー

表-1 AM/FM受信性能改善点と目標値

各 受 信 性 能		現 行 値	目 標 値
AM	帯域外抑圧特性	-10 dB	-3 dB以内
	温度特性 (温度に対する感度変化)	10 dB	5 dB以内
FM	相互変調特性 (希望波ANT入力パラメータとする)	10 μ V	7mV
		30 μ V	25mV
		100 μ V	80mV
	ブランケッティング特性	30mV	50mV以上

(当社比)

オーディオ機器内のAM/FM受信性能の課題について述べる。

まず、受信性能の改善点を海外ユーザ向け目標値と比較し、表-1に示す。AM受信性能では、帯域外抑圧特性が目標値に対して、改善が必要である。また、温度特性においても、より向上させなければならない。一方、FM受信では、相互変調特性、ブランケッティング特性が、目標値に対し若干、低目である。

また、AM受信性能の帯域外抑圧特性は、車載用CB (Citizen Band) 無線機等の普及により、海外ユーザより新たな要求として提示されたものである。

表-1に示す各受信性能向上についての具体的な内容は、第3章にて後述する。

3. 開 発 内 容

3.1 ね ら い

前述のような現状から、性能向上に対応する一方、従来よりコストメリットのあるAM/FM電子チューナの開発を行なった。すなわち、従来使用していたチューナ用ICの見直し、海外ユーザ向けとしてのねらいを把握した回路構成、そして部品等の見直しによるコストダウンと信頼性の向上がこの新規AM/FM電子チューナの大きなねらいである。以上のようなねらいを具体化するた

表-2 性能面の企画

項	目	実現手段	目標値
AM	帯域外抑圧特性	広帯域AGCの帯域変更	-3 dB以内
	温度(温度に対する特性)の感度変化	サーミスタ等による温度補償	5 dB以内
FM	相互変調特性	10 μ V ANT・RF段のQ-up	10mV以上
		30 μ V	35mV以上
		100 μ V	85mV以上
	ブランケッティング特性	"	50mV以上

め、海外ユーザの要求仕様に基づき、AM抑圧特性、温度特性、FM妨害特性の性能向上を目標とした性能面の企画を行った。(表-2、表-3)ここで、AM抑圧特性と混変調特性の向上は本来、相反するものであるが、可能な限り混変調特性を悪化させることなく両立させる方法で検討した。

コスト面では、当社開発のAM用チューナIC MB3206使用による周辺部品の削減、同調ブロック、セラミックIFT採用による調整・挿入工程の削減、自動調整・自動組立対応により品質・性能のバラツキの低減を図る事にした。

また、これを実現する全体ブロックの構成を図-1に示す。また電子チューナの外觀および搭載図

表-3 VE面での企画

		従来の電子チューナ	新規電子チューナ
I C	AM	MB3205 (部品点数 ㉙)	MB3206 (部品点数 ㉙)
	FM	LA1170	LA1175(特性向上)
コイル	AM	ディスクリット (8点調整)	同調ブロック(無調整) セラミックIFT(〃)
	FM	自動調整(不可)	自動調整(可)
その他		組立の自動化(不可)	組立の自動化(可)

を図-2, 3に示す。以下、それぞれ企画した内容について具体的に述べる。

3.2 AM受信性能向上

3.2.1 帯域外抑圧特性

帯域外抑圧特性とは、CB無線等のAM放送バンド外の強力な電波が存在する場合、AM受信性能に影響する度合いを抑圧特性として表わしている。ここで、この度合いを定量的に示すことにする。

(目標値)

抑圧レベル：3 dB以内

(条件)

希望波：1 MHz, 20 dB μ V, 30% MOD.

妨害波：1.85~54 MHz, 120 dB μ V, NO MOD.

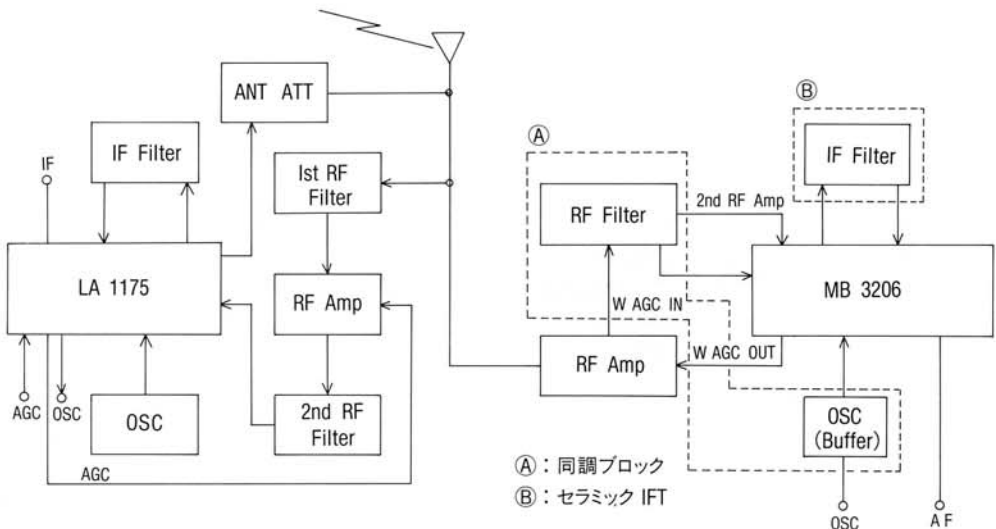


図-1 新規AM/FM電子チューナ・ブロック図

Fig. 1 Block diagram of newly designed AM/FM electric tuner.

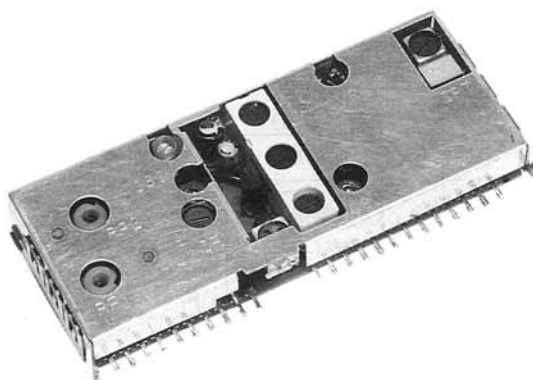


図-2 新規電子チューナ外観図

Fig. 2 Exterior view of newly designed electronic tuner.

まず、本論に入る前に抑圧現象が発生する理由について述べる。

表-1で示したように従来のAMチューナでは、 -10 dB の抑圧が発生している。これは、広帯域AGCが駆動するためである。広帯域AGCとは、本来希望受信局以外に非常に強いレベルの局がある場合、回路の色々な部分（例えばRFアンプに使用しているFETやIC内部のMIX部など）で歪が生じ“混信”という現象（混変調）が発生し、受信品位を著しく劣化することを防ぐための

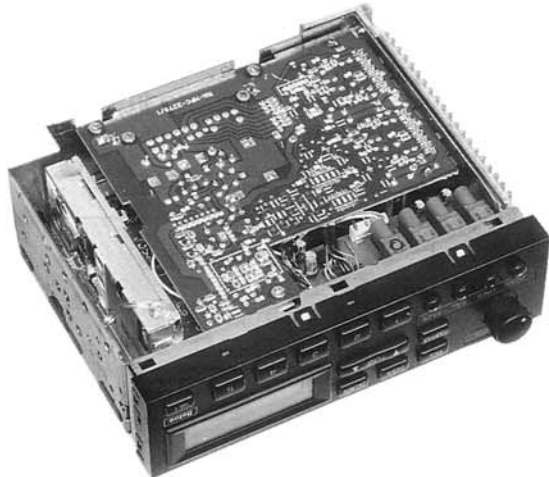


図-3 新規電子チューナ搭載ラジオ

Fig. 3 Newly designed electronic tuner in mass-production radio.

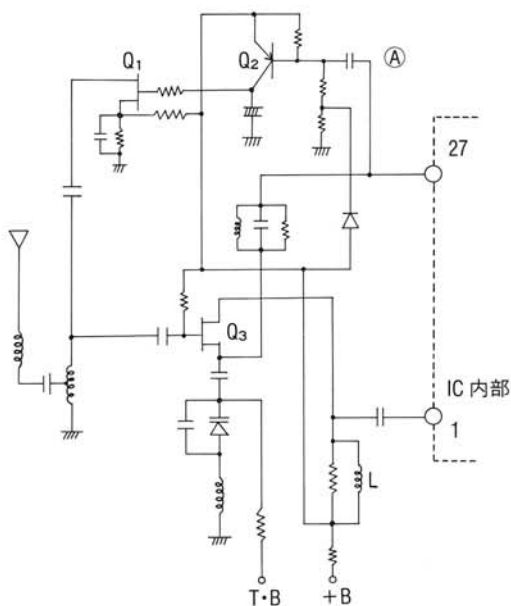


図-4 従来AMチューナの広帯域AGC部

Fig. 4 Wide band AGC of current AM tuner.

ものである。また、この広帯域AGCの検知帯域がほぼフラットなため、AM受信帯域外においても駆動する。

次に、帯域外抑圧特性改善の着眼点となった広帯域AGCについて述べる。

1) 広帯域AGCの構成と動作原理

まず、従来のAMチューナでの広帯域AGCの構成について述べる。

図-4に示す構成で広帯域AGCが形成されている。

Q_3 のFETにより、RFアンプを形成し直列共振電流に伴ないLの両端に発生した電圧をICの1番ピンに注入している。そして広帯域AGCの検知をA点で行っている。帯域AGCの帯域は、わずかに選択度を持つが、ほぼフラットになる。強電界の信号が存在すると、その周波数に無関係に Q_2 のトランジスタがONする。 Q_2 のトランジスタがONすることにより、 Q_1 のFETを介してANT（アンテナ）入力をアッテネート

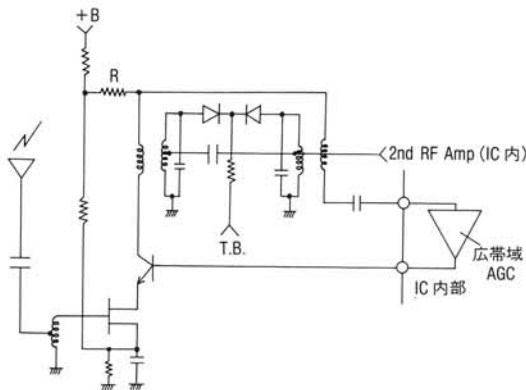


図-5 新規AM/FM電子チューナでの広帯域AGC部

Fig. 5 Wide band AGC of newly designed AM/FM electronic tuner.

する。すなわち、従来の帯域外抑圧特性においての問題点は、広帯域AGCの検知をRFアンプのFETのON抵抗のみに頼り、帯域がフラットなことである。新規AM/FM電子チューナでは、この帯域に周波数特性をもたすことにより、帯域外抑圧特性改善を図った。ここで、新規AM/FM電子チューナでの広帯域AGCの構成を述べる。

図-5に示すように、従来の電子チューナと大きな違いがあるのは、広帯域AGC部がIC内部に取り入れられていることである。容量結合されている複同調部より、広帯域AGC部へ入力し、そ

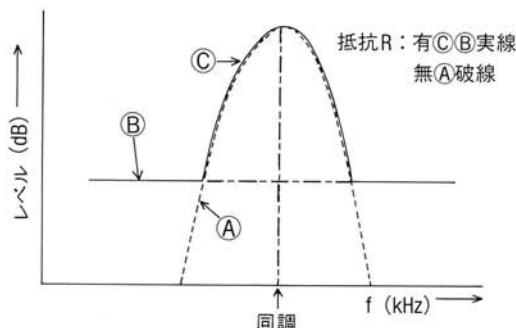


図-6 広帯域AGCの動作帯域

Fig. 6 Wide band AGC operating band.

の信号の強弱に伴いカスケードアンプのゲインをコントロールしている。また、広帯域AGCの検知帯域を抵抗Rの有無により、自由に選択できる。この抵抗Rの有無による帯域を図-6に示す。

抵抗Rが有る場合、④での希望局に対してのAGCと⑧でのRFアンプのFETによる歪成分を発生させないAGCとがMIXされた帯域となる。すなわち、RFアンプ(FET)で歪成分を発生させるだけの、強電界が存在すると、周波数に関係なくAGCが駆動する。また、抵抗Rがない場合($R = 0 \Omega$)、④での希望局に対してのAGCのみとなる。同調帯域=広帯域AGC帯域となり結果的には周波数特性をもたすことになる。このように、新規AM/FM電子チューナでは、帯域外抑圧特性改善のため、抵抗 $R = 0 \Omega$ とし、周波数特性をもたせた。

2) 成果

広帯域AGCを希望局に対してのAGCとすることにより、図-7のように帯域外抑圧特性改善に大幅な効果を得た。

図-7での帯域外抑圧特性では、目標値と比較すると、全周波数の範囲で -3 dB 以内を満足しており、海外ユーザの要求仕様を当社の設計思想により実現できた。

3.2.2 温度特性

海外ユーザ向けカーオーディオ機器の動作範囲は、ユーザの諸条件を考慮に入れて、 $-40^\circ\text{C} \sim +$

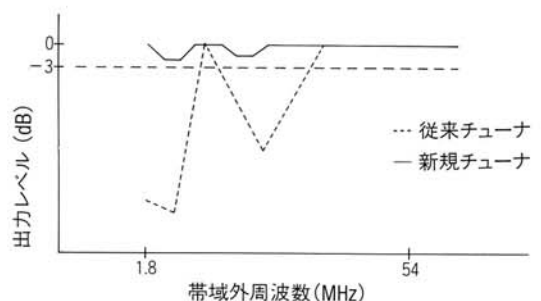


図-7 帯域外抑圧特性

Fig. 7 Out channel signal suppression.

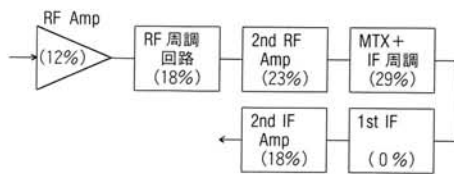


図-8 温度によるレベル変動率

Fig. 8 Temperature vs level variation ratio.

85°Cとしている。

従来では、この温度範囲で 10 dB の感度変化を生じている。当社では、この低下を 5 dB 以内という目標をもとに温度特性の改善を図った。

さて、一般的に高温時には、あらゆる回路、素子にて利得は低下する方向に動く。

そこで、温度補償素子を利用し、チューナのトータルゲインと各レベル配分のバランスを極端にくずすことなく、感度低下を可能なかぎり抑える事を図った。以下、具体的内容について述べる。

1) 各回路の温度に対するレベル変動

チューナでの温度による感度低下率を 100 % とすると各回路のレベル変動率は図-8 のようになっている。

ここで、温度補償可能な回路を RF 同調回路、MIX + IF 同調回路、2nd. IF アンプ回路の 3 回路を選んだ。それ以外の回路では、例えば RF アンプ回路では、カスケード AGC として利用しているためゲイン補正を行うことで、性能面での副作用発生が予測される。また、2nd RF アンプ回路、1st IF 回路は IC 自体の温度係数のみで温

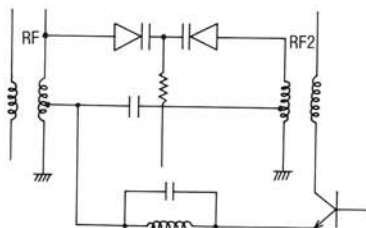


図-9 RF 同調回路

Fig. 9 RF. tuning circuit.

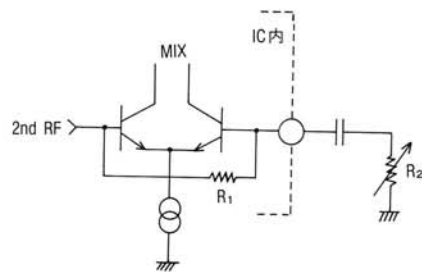


図-10 MIX 回路

Fig. 10 MIX circuit.

度特性が決定されているので選ばなかった。次に各 3 回路での温度補償の手法について述べる。

2) RF 同調回路での利得アップ

図-9 に示すように RF 同調用トランス RF 1 と RF 2 の間にトランジスタアンプを挿入し、利得を上げた。RF 1 の共振電流の一部をベース接地アンプに流し込みアンプの出力電流により、RF 2 をドライブしている。これにより、従来の回路に比較して 8 dB 高く設定する。

3) MIX 回路の利得補正

MIX 回路の構成を図-10 に示す。この回路より利得は次式で表わされる。

$$G_1 = A \left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

A: 差動アンプの利得

この式より、 R_2 を小さくすると、

$$\left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \text{ が大きくなり、} G_1 \text{ も大きくなる。}$$

この反比例の関係を利用し、 R_2 に温度補償素子を使用する。 R_2 の部分を図-11 のような構成にし、高温時には、サーミスタの温度特性を利用して、合成抵抗 R_2 を小さくする。この時、常温時に

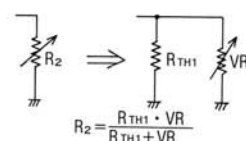


図-11 サーミスタ追加回路

Fig. 11 Added thermistor circuit.

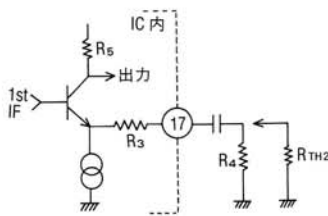


図-12 IFアンプ回路
Fig. 12 IF amp circuit.

けるゲインを従来より -5 dB に設定しておく
と高温時にこのゲインが上がる方向に働くため利得
補正となる。

4) 2nd. I F アンプの利得補正

2nd. I F アンプの利得は次式で表わされる。

(図-12)

$$G_2 = \frac{R_5}{R_3 + R_4}$$

R_3 、 R_5 は定数のため、 G_2 は R_4 に反比例す
る。前述と同様に、この反比例を利用する。抵抗
 R_4 に温度補償素子サーミスタ R_{TH2} を追加し、
高温時には、 R と R_{TH2} による 合成抵抗を下げ
利得を上げる。ただし、常温時には従来より -3
dB 下げてゲイン設定する。

5) フロントエンドのトータルゲインと成果

前述のような手法により、各回路に温度補償を
実施した。この際、常温時のトータルゲインは、
かわらないように考慮した。(表-4)

高温時のゲイン変動は、RF 同調回路でマイナ
ス側に変動し、M I X および 2nd. I F 部ではそれ
ぞれプラス方向に動き、トータルとして変化のな
いように行った。その結果として、当初の目標で

表-4 従来と比較したレベル配分

	常温時(+25°C)	85°C
RF 同調回路	+8 dB	↓ (下降)
M I X 回路	-5 dB	↑ (上昇)
2nd. IF 回路	-3 dB	↑ (上昇)
トータルゲイン	0 dB	≒0 dB

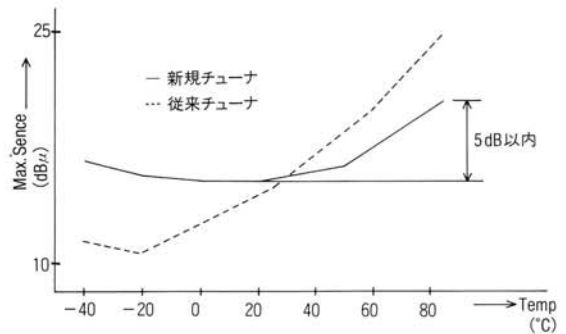


図-13 感度対温度特性
Fig. 13 Max. Sence vs temperature
characteristic.

あった $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ において、感度変化が 5 dB
以内を実現した。(図-13)

3. 3 FM 受信性能向上

3. 3. 1 相互変調特性

相互変調とは、ある一定の周波数関係にある 2
局が共に干渉し、その 2 局以外の周波数にて、受
信してしまう現象をいう。例として、98.9 MHz、
99.7 Hz の 2 局が 98.1 MHz にて受信し混信する。
その発生理由を簡単に説明すると、アンテナ部よ
り強入力信号が半導体素子に入力された場合、そ
の半導体素子が非直線性領域にて動作したとす
る。この条件をもとに希望局 (fd) 妨害波 1 (f_{d1})、
妨害波 2 (f_{d2}) を例に述べる。2 次歪により f_{d1}
 $\times 2$ と f_{d2} または f_{d1} と $f_{d2} \times 2$ が共に干渉し fd
という周波数が発生する。下記に発生する場合の
式を示す。

$$fd, f_{d1} = fd + x, f_{d2} = fd + 2x$$

$$2f_{d1} - f_{d2} = 2(fd + x) - (fd + 2x)$$

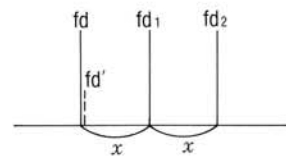


図-14 希望信号と妨害信号の関係
Fig. 14 Relation between desired signal and
undesired one.

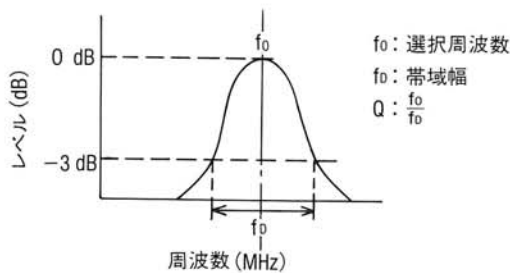


図-15 Q 特性
Fig. 15 Q characteristic.

$=fd'$ すなわち fd なる周波数を受信し、その周波数に対して、 $fd+x$, $fd+2x$ という条件の 2 波が強電界で存在した場合、 fd , $fd+x$, $fd+2x$ という 3 波が混信する。このことを相互変調という。この関係をスペクトラムで表わすと 図-14 の様になる。

ここで、相互変調特性向上の目標とした評価方法について述べる。希望波 98.1 MHz を入力各 10 μ V、30 μ V、1000 μ V に設定し、妨害波 1、98.9 MHz (97.3 MHz) と妨害波 2、99.7 MHz (96.5 MHz) を同時に注入し各希望入力で S/N 30 dB 時の妨害波のレベルを評価する。評価基準レベルは表-1 の値を目標とした。次に、相互変調向上の手法について述べる。

- ① RF 段の Q を高くすることにより妨害波排除能力をアップする。
- ② RF 段の半導体素子は直線性の良いものを使用する。

③ AGC 部を利用する。

などの手法があるが本稿では Q 特性の向上について述べる。

Q については一般には、周波数選択性の良さを表わす指標として用いられ、Q が大きければ、選択性が良いといえる。Q 値の設定は 図-15 のように、もとめられる。

1) Q 特性のアップ

現行一定以上の強い信号が入力されたときアンテナ側に近い半導体素子が飽和しないように入力信号を減衰させるためピンダイオードを追加している。これがアンテナ共振回路の負荷となり Q の低下が発生していた。これを防ぐために、回路と定数検討により Q アップを行い更に RF 部のカップリングコンデンサの定数検討による Q アップも行った。(図-16)

この回路と定数にて、相互変調レベルを測定した結果、約 6 dB の改善効果を得た。(表-5)

3. 3. 2 ブランケットティング特性

ブランケットティング特性について述べる。

希望信号(fd)受信時二つ以上の強力な妨害信号(fud)が到来して、その妨害信号周波数の差が 10.7 MHz になるとき、($fud_2 - fud_1 = 10.7$ MHz) それらが受信機の新直線特性部分により中間周波数 (10.7 MHz) を発生して、混信妨害を起こす現象をレベル評価している。測定回路は 図-17 に示す。測定方法は 92.9 MHz 受信にて、基準出力 1 W、

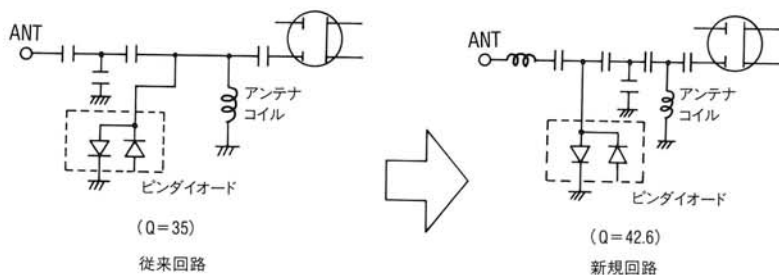


図-16 ANT 回路
Fig. 16 ANT circuit.

表-5 従来チューナと新規チューナ相互変調比較

アンテナ入力 fd(μ V)	目標値 fud(mV)	従来 チューナ fud(mV)	新規 チューナ fud(mV)	改善度 (dB)
10	10以上	7	15	7
30	35以上	25	49	6
100	85以上	80	114	3

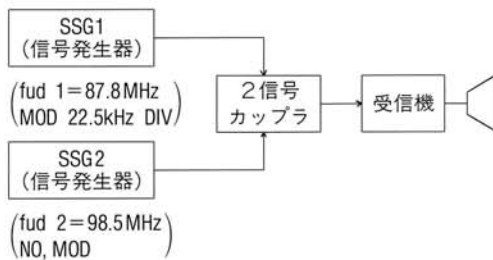


図-17 ブランケットティング測定回路

Fig. 17 Circuit for measuring “Branketing”.

0 dBにセットボリュームを調整後 fud_1 と fud_2 の入力を同時に上げていき出力レベルが-3 dBになる点の fud レベルを測定する。このレベルが高いと妨害に強いチューナといえる。

1) ブランケットティング特性の向上

アンテナ部とRF部から漏れた妨害波がミキサー回路へ混入するのとラインからの回り込みを抑えるような部品配置と基板レイアウトを検討した。

- ① IF回路の電源ラインへの飛び付きと回り込みを避けるためパターンレイアウトの検討を行う。
- ② アンテナ回路のアースラインとミキサー回路のアースラインをループ化することにより、パターン間の干渉を防止した。

以上により、ブランケットティング特性が表-6のように向上した。

3. 4 VEについて

3. 4. 1 新規AM、ICの採用

AM部に周辺部品の少ないAMチューナIC、

表-6 ブランケットティングレベル比較

目標値 (mV)	従来チューナ (mV)	新規チューナ (mV)
50	30	75

MB3260を使用することにより、AM部だけで部品点数を25%減少させた。

3. 4. 2 AM調整箇所の削減

従来からチューナの調整は組立時、避けられないものであるが、今回、コイルのブロック化と新回路により調整箇所を従来より75%低減し(当社比)生産時間のスピード化と性能の安定化を図った。

3. 4. 3 自動化対応

品質の向上と安定化、および生産量の拡大を考慮し、自動挿入と自動組立対応部品を選定し、最大限に自動化対応の設計を行った。

4. あとがき

以上、高性能AM/FM電子チューナの開発にあたり性能向上についての具体的手法について、主に述べてきた。なお、このチューナは、既に海外のOEMユーザより性能向上に対して承認を得て、88年10月より量産されるオーディオ機器に使用している。また、次期新機種にも使用が予定されている。しかし、将来を展望してみると、より小型化、低コスト化、性能向上が要求されることは明らかであり、これから一層厳しくなる新たなニーズには当然これに対応していかなければならない。おわりに今回のチューナ開発に関し、関係各位のご協力を深く感謝する。