

技術紹介

12 電波高度計用高周波送受信モジュールの開発

Development of Radio Frequency-transmitter/receiver Module for the Radar Altimeter

小林 保	Tamotsu Kobayashi	航機事業部	第一技術部	エキスパート
佐藤 健次	Kenji Sato	航機事業部	第一技術部	主任
佐野 崇	Takashi Sano	航機事業部	第一技術部	主任

キーワード：電波高度計、高周波モジュール

Keywords : radar altimeter, high frequency module

要 旨

当社は電波高度計の製造、販売を開始してから三十数年経過し、防衛庁殿を始めとして海上保安庁殿等の官公庁や、民間航空機用に多数の電波高度計を納入してきました。従来の電波高度計は高度 2,500Ft で機体姿勢が 30 度傾いても直下方向の地表面までの距離を計測する性能を有していましたが、近年、高度 5,000Ft で 45 度傾いても計測できる性能が新たに要望されています。そこで送信電力（パルス変調：5Wp-p）とアンテナの輻射パターンを従来のままで変えることなく、受信部の検知性能を向上させて、その性能を実現させることと、数年後に電波法が改正されスプリアス強度^{*1}がより厳しい条件で制限される予定であることから、その新しい要求に合致する送信部を実現することを目標にして従来と同様の小型・軽量・低電力で高性能の電波高度計用高周波モジュールの開発を行い、目標とする性能を実現しました。

*1 スプリアス強度：目的以外に発射される信号の強度

SUMMARY

It has passed three decades or so since JAE started manufacturing and sales of the radar altimeter (RA). Until now, we delivered a number of the RAs to public agencies including the Japan Defense Agency and Japan Coast Guard, and civil aviations. The conventional RAs possess a performance that, even if attitude of aircraft is inclined to 30 degree at an altitude of 2,500Ft, it can measure distance to the land surface in just under direction. But, higher performance to measure the distance, even if aircrafts are banked to 45 degree at 5,000 Ft, is desired. In response to the requirement, we tried to attain the requested performance by improving sensitivity of the receiver without change of the conventional transmission power (pulse modulation: 5Wp-p) and radiation pattern of antenna. Also, by revision of the Radio Law, spurious intensity^{*1} will be restricted more strictly. With the purpose to realize the transmitter to meet the new requirements, we developed the high frequency module for the RA, which is small size, lightweight, low power and high performance, and verified that the required performance is satisfied.

*1) Spurious intensity: intensity of signals which transmit other than the purpose.

1 まえがき

電波高度計の代表的な方式としてパルス方式とFM-CW方式がありますが、当社の方式はパルス方式です。パルス方式はパルス状に変調した電波を送信し、送信した時点から、地表面で反射して戻ってきた受信波の前縁までの時間を測ることで最も近い地表面までの距離を計測するシステムです。アンテナから輻射される電波はアンテナ面に垂直な方向が最も強く、横方向に近づくに従い弱くなるため、機体姿勢が傾くと直下方向から受信される電波は弱くなります。また、高度が高くなると伝播中に電波の減衰が増大するため、受信する電波は極めて微弱となり、信号処理できる電圧レベルまで受信信号を増幅するとノイズも増大するため、ノイズの増幅を抑え確実に信号を検知する性能の実現が開発の重要なポイントとなります。

2 開発のポイント

当社の電波高度計の機能ブロック図を図1に示します。本電波高度計は4,300MHzで発振した高周波をパルス変調し増幅して出力する送信部、地上反射信号を受信し中間周波数に変換して所定の電圧まで増幅する受信部、及び送信するタイミングと受信波までの時間を計測し高度に換算する信号処理部に分けられます。高周波送受信モジュールは送信部と受信部から構成され、本開発にあたっては次の3つの点が重要なポイントとなります。

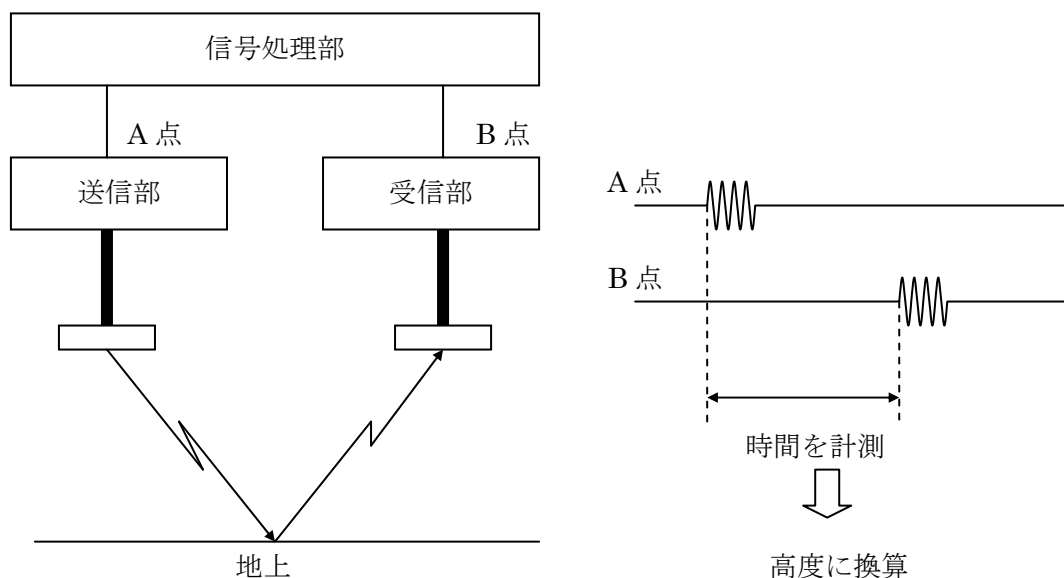


図1 電波高度計の機能ブロック図

(1) 受信部の利得アップ

高度 5,000Ft、機体姿勢 45° に対応するためには、伝達距離(高度)、アンテナの特性(輻射パターン)、機体姿勢の関係から、信号を従来の性能に比べて 10dB 以上増幅する必要があります。増幅素子を重ねていくとノイズも同様に大きくなるため、初段で如何にノイズを少なく抑えるかが第一のポイントでありノイズ発生が少ない素子の選定および高周波回路の設計が必要となります。

(2) 受信部の出力電圧を一定に制御する技術 [Auto Gain Control (AGC) 技術]

航空機が駐機している状態と高度 5,000Ft で飛行中では受信波の強度差は 80dB (10^8 倍) 程の違いがあります。信号処理部では受信部の出力電圧が一定電圧であることを前提に処理しており、受信部の出力電圧が変わると受信波の計測点が変わり誤差の要因となります。電波高度計の精度を確保するために受信波の強さに拘わらず受信部の出力電圧が一定になるよう受信部の利得を制御することが必要となります。

(3) 送信特性の改善

数年後に電波法が改正されスプリアス強度の許容値が変更されます。基本周波数の電力に対し、基本周波数帯以外で許容される電力は従来の -40dB 以下に対し、新規格では -50dB 以下となり、従来の送信部で発生していた高調波及び低域での不要電力を 10dB 以上低減する必要があります。

3 設計の概要

3.1 受信部

従来の受信部はローノイズアンプ、BPF（バンドパスフィルタ）、ローカルオシレータ（4,300MHzの連続波）、ミキサ、IFアンプから構成され、図2.1Aにブロック図を示します。今回の改善では2段目に高度信号で利得制御できる利得10dBのローノイズアンプを追加しました。

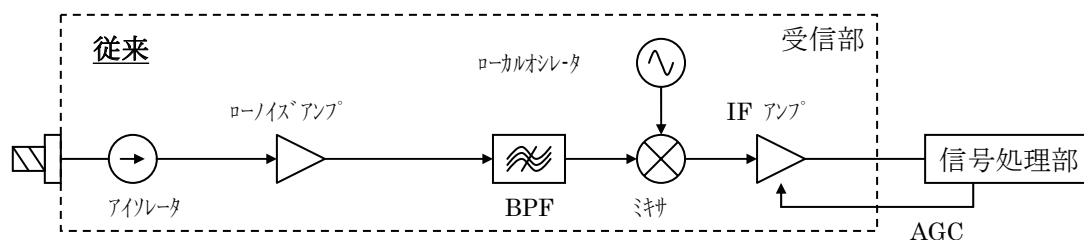


図 2.1 A 従来の受信部ブロック図

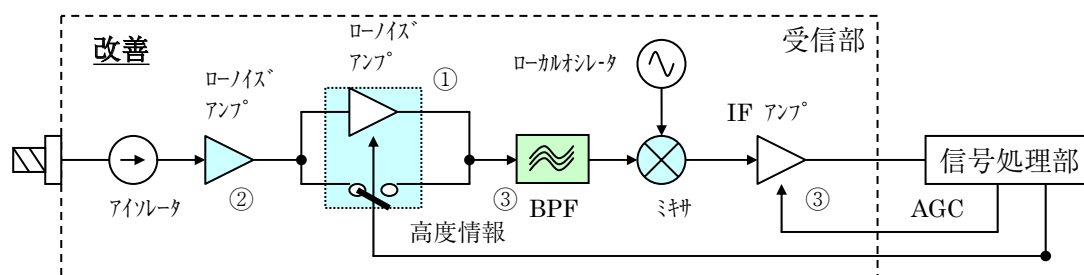


図 2.1 B 改善後の受信部ブロック図

3.1.1 受信部の利得アップ

改善後の受信部のブロック図を図2.1Bに示します。

- ①初段ローノイズアンプとBPFの間に利得10dBのローノイズアンプを追加。
 - ②初段ローノイズアンプはノイズ発生が少ない部品を選定し、次段のローノイズアンプとの接合部のインピーダンス整合をとることによりNF（雑音指数）を改善。
 - ③BPF及びIFアンプの帯域を狭め、必要とする信号の周波数帯以外は阻止。
- 以上より、ノイズ発生を抑えて信号とノイズの識別性能を低下させることなく10dBの利得改善を実現しました。

3.1.2 受信部の出力電圧を一定に制御する技術

従来の電波高度計では受信部の利得制御は IF アンプのみで行い低高度から 2,500Ft で受信部出力電圧を一定としています。低高度では電波の減衰が少ないため、受信部の利得は小さく、高高度では電波の減衰が大きいため、利得を大きくします。今回は 2 段目のローノイズアンプ利得を高度情報により制御し、低高度域では増幅することなく利得 0dB (1 倍) で通過させ、高高度域では 10dB (10 倍) に増幅することにより IF アンプでの利得制御は従来と同等の性能で、航空機の駐機状態から高度 5,000Ft における信号のダイナミックレンジ 80dB (10^8 倍) を実現しました。

3.2 送信部

従来の送信部は発信器と高い増幅率を達成するための 3 段のアンプから構成され、図 2.2A にブロック図を示します。送信部のスプリアス低減に関する特性改善について次に示します。

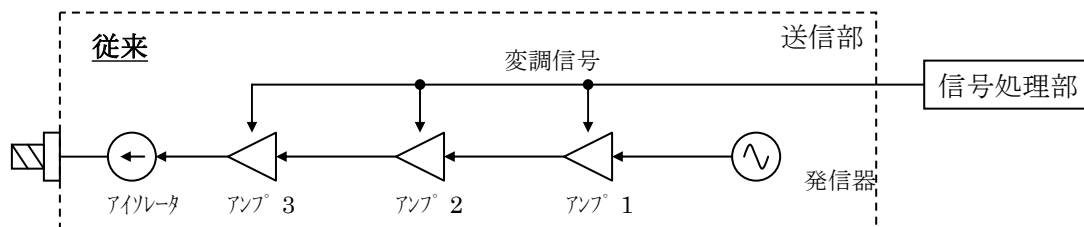


図 2.2 A 従来の送信部ブロック図

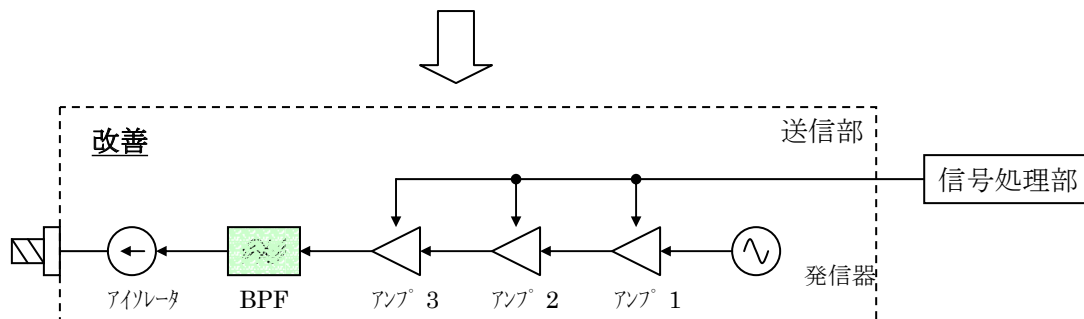


図 2.2 B 改善後の送信部ブロック図

改善後の送信部のブロック図を図 2.2B に示します。出力段に BPF (バンドパスフィルタ) を追加し、必要周波数帯以外の周波数を阻止することと送信部のパッケージの内部で放射する電波を遮蔽するために各ブロックを構造的に囲むことで新しいスプリアス強度の要求を満足させました。

BPF を追加することにより BPF での通過損失で送信電力は低下しますが、3 段のアンプ利得をバランス良く高くすることで補い従来の送信電力と同等の電力を実現しました。

4 試作品の性能

試作品を評価した結果、表に示すとおり目標とする性能を達成することができました。

表 試作品の性能

性能	従来品の性能	目標性能	試作品評価結果	備考
使用温度範囲	-40 ~ 55 ℃	-40 ~ 55 ℃	-40 ~ 55 ℃	
送信周波数	4,300 ± 5MHz	4,300 ± 5MHz	4,300 ± 5MHz	
送信電力	37dBm	37dBm	37dBm	
スプリアス	-40dB 以下	-50dB 以下	-60dB	改正予定の電波法に適合
IFアンプ周波数帯域	15MHz	10MHz	10MHz	
最小検知レベル	-84dBm 以下 (2,500Ft 相当)	-94dBm 以下 (5,000Ft 相当)	-94dBm (5,000Ft 相当)	受信検知能力の向上

5 むすび

以上のとおり、今回試作した高周波モジュールは試験室での評価ではありますが、目標とする機能性能を達成することができました。最小検知レベルが 10dB 改善されたことにより、従来は高度 2,500ft で機体の傾きが 30° の範囲でしか計測できなかったものが、5,000Ft で姿勢が 45° 傾いても高度計測ができます。この性能は長年航空機のユーザーから要望されていたもので、本開発で達成することができ、この成果を将来の航空機用電波高度計に活用し、より高性能な電波高度計を実現させる予定です。数年後には電波法が改正され、送信電波のスプリアス要求が厳しくなりますが、本開発で得た成果を活用することで対処することが可能となりました。

本開発の成果を製品に具現化し、さらに小型・軽量・高性能な電波高度計を作り上げるために継続して技術調査・研究を行う予定です。