

3-5 S帯コンバータ部

3-5 S-band frequency converter

橋本幸雄

HASHIMOTO Yukio

要旨

S帯コンバータ部は、Ka帯RF系及び搭載交換機とS帯送信機・受信機とを接続するIF帯スイッチ網、S帯送信機・受信機の一部を成す周波数変換器及びS帯スイッチ網から構成される機器であり、S帯-IF帯の周波数変換機能のほか、信号経路の選択及び送受信信号レベルの調整機能を持つ。IF及びS帯スイッチ網は開発当初よりフライト品を使用しており、周波数変換器についても主系はEMを改修してフライト品とした。EM試験段階から大きな不具合はなく、所期の性能を維持している。

We developed the S-band converter for engineering test satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ). The S-band converter consists of an IF-band switch network, frequency converters, and an S-band switch network. The Ka-band RF section and two on-board switches were connected to an S-band RF section by an IF-band switch network. We adjusted the TX / RX frequency conversion function, signal route and the transmission / received signal levels. We refurbished engineering model frequency converters into flight models. The IF-band and S-band switches were used from the initial development stages. We maintained the specification performance after the engineering model tests.

[キーワード]

移動体衛星通信, 技術試験衛星Ⅷ型, S帯
Mobile satellite communication, ETS-Ⅷ, S-band,

1 はじめに

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ:Engineering Test Satellite-Ⅷ)は、基地局向けのKa帯の無線回線であるフィーダリンクを2系統、移動体向けのS帯の無線回線であるサービスリンクを3系統持つ。衛星上に音声通信用の交換機(OBP: On-Board Processor)及びパケット交換機(PKT: Packet Switch)を搭載しており、140MHzのIF(Intermediate Frequency)帯でフィーダリンク用及びサービスリンク用の送信・受信機に接続される。S帯コンバータ部は、サービスリンク用の送信・受信機の一部として、機器接続の変更や信号レベル調整などの機能を持ち、ETS-Ⅷの実験に必要な回線設定を行う上で重要な機器となっている。

これら、S帯コンバータ部の構成、機能、性能

を述べる。

2 全体構成

表1にS帯コンバータ部の主要諸元を示す。また、図1に全体構成を示す[1][2]。IF帯スイッチ網、S帯周波数変換器、S帯スイッチ網から成り、Ka帯フィーダリンク装置及び衛星搭載交換機とS帯給電部を結ぶ。IF帯スイッチ網は、フィーダリンク2系統、OBP、PKT及びサービスリンク3系統を接続し、実験に必要な信号ルートを設定する機能を持つ。S帯周波数変換器は、サービスリンク用送信・受信機の一部として、S帯とIF帯の周波数変換を行う。S帯スイッチ網は、S帯RF系をPIM(Passive Inter Modulation)測定系やHAC(High Accuracy Clock)系送信機・受信機に接続する機能を持つ。

送信及び受信周波数変換器の2式はEM (Engineering Model) として製作され、各種EM試験に供された後、改修してFM (Flight Model) とした。1式はEM試験の結果を反映し、FMとして製作した。IF帯スイッチ網及びS帯スイッチ網はEM試験時よりFMを使用している。

表1 S帯コンバータ部の主要諸元

項目	性能
電気特性保証動作温度範囲	-20~+55℃
電力モニタ感度	テレメトリ信号 1 bit: 20m V/1 dB 以上 @-10~+14 dBm
S-TX、S-RX 標準利得	S-TX: 34dB、S-RX: 65dB
向上利得可変機能	-16/+15 dB@2 dB 以下(ノミナル 1 dB)/ステップ
局部発振器周波数	受信局部発振器; 2517.5 MHz 送信局部発振器; 2362.5 MHz (受信と送信の原振は独立)
局部発振器周波数初期設定誤差	±1E-7 以下
局部発振器周波数温度安定度	±2E-7/20 °C 以下
局部発振器周波数経年変化	±8E-7 以下
局部発振器周波数制御範囲	±1.2E-6 以上/64 ステップ
局部発振器周波数制御ステップ幅	±1E-7 以下
局部発振器ウォームアップ時間	2時間以内
局部発振器フェーズノイズ	-45-10Log(Δf) dBc/Hz*以下
許容入力レベル (損傷)	フォワード: +10 dBm、リターン: -50 dBm
飽和出力レベル	フォワード: +25 dBm、リターン: +10 dBm
消費電力	28.5 W (全コンポーネント ON 時、但し従系局部発振器は OFF)
質量	16.5 kg

注* Δf は中心周波数からのずれを示す Δf=0.3 kHz~300 kHz

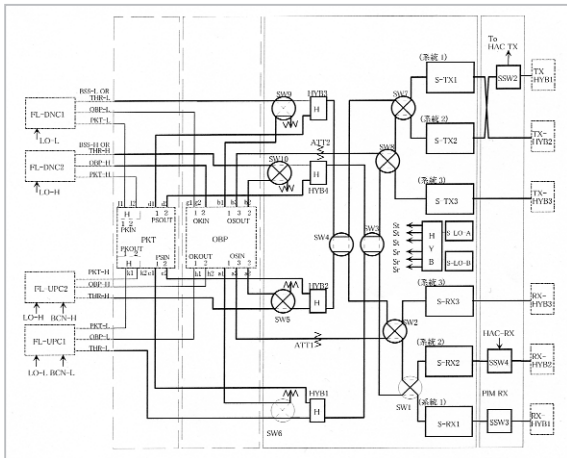


図1 S帯コンバータ部の構成図

ETS-Ⅷでは実験に応じて機器の接続を変更した運用モードが考えられる。ベントパイプ中継を行う放送モード/スルーモード、S帯折り返しモード、それぞれの交換機を使用するPKTモード/OBPモードがある。スイッチ網の設定により、放送モードでは1系統、スルーモード及びパケット交換機モードでは2系統、OBPではフィーダリンク2系統、サービスリンク3系統を使用できる。また、S帯折り返しモードは2系統使用でき、ビーム間での対向通信が可能である。

各送信・受信周波数変換器は同様な特性であるがIFスイッチ網の制約からS-TX3及びS-RX3の信号を他の系統に切り替えることはできない。

サービスリンクは、現用系2系統、冗長系1系統としているが、OBPの運用時やビーム間干渉実験等での3系統同時運用が可能となっている。

3台の送信周波数変換器は、S帯給電部のビームフォーミングネットワーク (BFN: Beam Forming Network) が作る三つのビームに対応している。受信周波数変換器も同様に、BFNから出力される三つのビームの信号に対応している。送受信周波数変換器はそれぞれ可変減衰器を内蔵しており、信号のレベル調整が可能となっている。

3 IF帯スイッチ網

IF帯スイッチ網は、10個の双極双投スイッチ (SW1~SW10)、4個のハイブリッド (HYB1~HYB4)、2個の固定減衰器及び同軸ケーブルにより構成され、フィーダリンク機器入出力2系統及びパケット交換機入出力2系統とOBP入出力3系統を3系統のS帯周波数変換器に接続している。スイッチ等の機器及び同軸ケーブルは信頼性を損なうことなく接続の自由度を高くすることを目的に設計されている。フィーダリンクとOBPはSWにより切り替えられる。PKTはハイブリッドにより接続されている。OBPの3系統目の入出力はハイブリッドを通らないので損失量を合わせるため3.5dBの固定減衰器が挿入されている。図1中のIF帯スイッチ網の経路設定では、放送、スルー、パケット、OBPそれぞれの信号が1系統使用可能であり、スイッチを操作することなしに最低限の実験ができることから、「標準接続設定」と定義している。代表的なルートの損失を表2に示す。

表2 IF帯スイッチ網通過損失の例

接続ルート	通過損失 (dB)
OBP 1 出力-S-TX 2 出力(SW9-HYB3-SW4-SW7)	28.22 @2502.5 MHz
OBP 2 出力-S-TX 1 出力(SW10-HYB4-SW3-SW8-SW7)	29.33 @2502.5 MHz
OBP 3 出力-S-TX 3 出力(SW8)	29.67 @2502.5 MHz
S-RX 2 入力-OBP 1 出力(SW1-SW3-HYB1-SW6)	59.08 @2656.75 MHz
S-RX 1 入力-OBP 2 出力(SW1-SW2-SW4-HYB2-SW5)	58.88 @2656.75 MHz
S-RX 3 入力-OBP 3 出力(SW2)	59.26 @2656.75 MHz
PKT 1 出力-S-TX 2 出力(HYB3-SW4-SW7)	28.58 @2502.5 MHz
PKT 2 出力-S-TX 1 出力(HYB4-SW3-SW8-SW7)	28.35 @2502.5 MHz
S-RX 2 入力-PKT 1 入力 (SW1-SW3-HYB1)	59.85 @2656.75 MHz
S-RX 1 入力-PKT 2 入力(SW1-SW2-SW4-HYB2)	59.81 @2656.75 MHz
BSS/THR-L 出力-S-TX 2 出力(SW9-HYB3-SW4-SW7)	28.81 @2656.75 MHz
BSS/THR-H 出力-S-TX 1 出力(SW10-HYB4-SW3-SW8-SW7)	28.55 @2656.75 MHz
S-RX 2 入力-THR-L 出力(SW1-SW3-HYB1-SW6)	59.85 @2656.75 MHz
S-RX 1 入力-THR-H 出力(SW1-SW2-SW4-HYB2-SW5)	59.73 @2656.75 MHz
S-RX 1 入力-S-TX 1 出力(SW1-SW2-SW4-SW7)	95.23 @2657.5 MHz
S-RX 2 入力-S-TX 2 出力(SW1-SW3-SW8-SW7)	95.60 @2657.5 MHz
S-RX 2 入力-OBP 3 入力(SW1-SW2)	59.26 @2656.75 MHz
OBP 3 出力-S-TX 2 出力(SW8-SW7)	29.36 @2502.5 MHz

4 周波数変換器

4.1 送信周波数変換器

図2に送信用周波数変換器の構成を示す。周波数変換器は、周波数変換機能のほかコマンドにより変更可能なレベル調整機能を持つ。利得調整機能の特性を図3に示す。

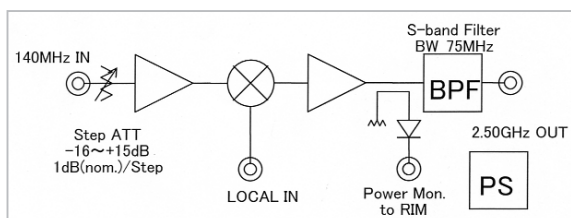


図2 送信周波数変換器の構成図

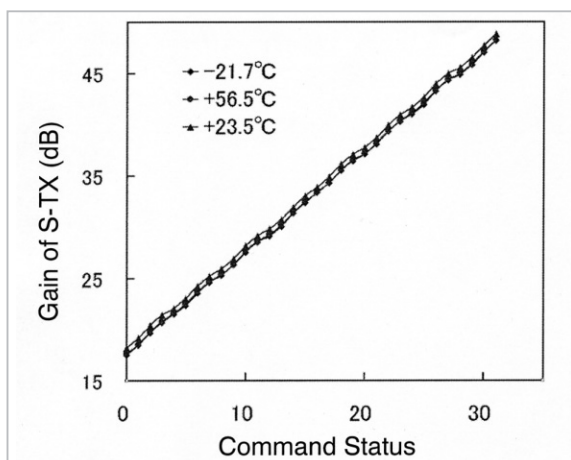


図3 利得調整機能の特性

ETS-VIIIでは、S帯の固体増幅器(SSPA)ごとの送信電力はSSPAのテレメトリで知ることができ、各ビームの信号を共通増幅するためSSPAではビームごとの送信電力を知ることはできな

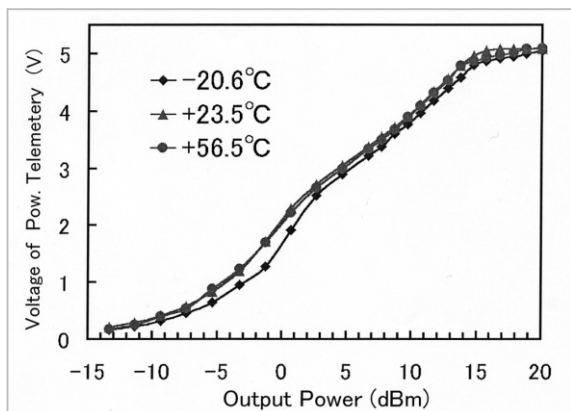


図4 出力電力のテレメトリ電圧

い。ビームごとの送信電力は、ビームに対応した送信周波数変換器の出力電力テレメトリから算出しなければならない。送信用周波数変換器の出力電力とテレメトリ電圧の対比を図4に示す。

4.2 受信周波数変換器

図5に受信周波数変換器の構成を示す。周波数変換器は、周波数変換機能のほかコマンドにより変更可能なレベル調整機能を持つ。近隣の衛星の干渉を避けるため140MHz IF帯出力段にSAWフィルタを設けている。振幅周波数特性を図6に示す。なお、RX-3の出力は飽和レベルが他に比べ低いため使用の上で注意が必要である。

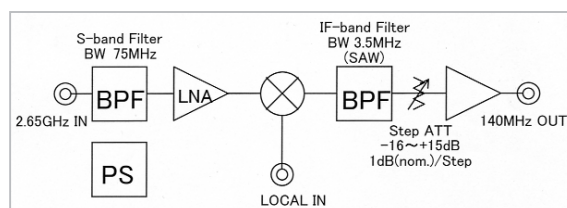


図5 受信周波数変換器の構成図

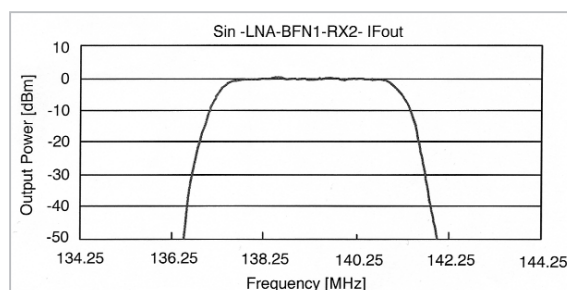


図6 S帯受信系の振幅周波数特性

4.3 局部信号発生器

局部信号発生器は主系及び冗長系の2台から構成され、それぞれ送信用局部信号及び受信用局部信号の2周波の信号を発生する。局部信号は信頼性を考慮してハイブリッドにより各周波数変換器に分配される。電源を投入する機器を選択することにより主系及び冗長系を切り替えられる。軌道上のミッション期間の間に 1×10^{-7} 以上の周波数変動が予想されるが、出力周波数はコマンドにより 1×10^{-7} 以下のステップで変更可能となっている。図7にコマンドに対応する局部信号周波数を示す。

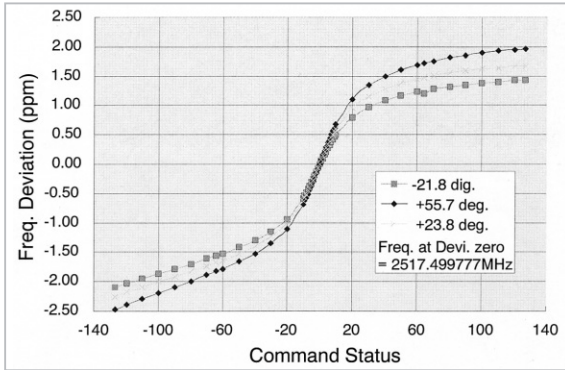


図7 コマンドに対する局部信号周波数偏差

5 S帯スイッチ網

S帯スイッチ網は送信系に一つ、受信系に二つのスイッチを持つ。S帯送信ユニットにはS帯アンテナ系のPIM測定を行うための受信用給電素子を1素子設けている。受信系の一つのスイッチは、この受信系をS帯受信系と切り替えるスイッチである。送信・受信系の1組はS帯大型展開アンテナの不展開時にサービスリンク用送信・受

信機をHAC系送信・受信機に切り替えてバックアップとして使用するためのスイッチである。

6 まとめ

S帯コンバータ部は、ETS-Ⅷ内の信号ルートの設定や信号レベル調整などの不可欠な機能を持つ。しかし、新規開発項目が少ないためSWなどはFMとして、また、周波数変換器はEMを改修してFMとすることを前提として製造を行った。周波数変換器のEMも軽微な改修によりFMとして使用している。

単体試験、S帯中継器組合せ試験を行った後、宇宙開発事業団(現宇宙航空研究開発機構)においてETS-Ⅷに搭載され、衛星としての各種試験が行われているが[3]、EM試験段階から大きな不具合はなく、所期の性能を維持している。

本装置は株式会社 次世代放送・通信システム研究所(ASC:Advanced Space Communication Research Laboratory)が開発し、研究業務終了後、CRLに移管されたものである。

参考文献

- 1 F. Kawasaki, et al, "An Onboard Transponder System for S-band Mobile Communications and Broadcasting System", 21st ISTS, ISTS 98-h-03.
- 2 川崎ほか, "ETS-Ⅷ搭載中継器部の検討", 信学会ソサエティ大会, B-3-14, 1998年9月.
- 3 小園ほか, "ETS-Ⅷ搭載移動体衛星通信システム—電気性能試験—", 信学総合大会, B-3-12, 2003年3月.



橋本幸雄

無線通信部門高速衛星ネットワークグループ主任研究員
衛星通信