

[招待論文] 衛星搭載用マイクロ波機器

飯田 明夫[†] 今井 達也[†] 広瀬 晴三[†] 清野 清春[‡] 小倉 恵[‡] 上小倉 明宏[‡]

[†]三菱電機特機システム 〒247-0065 鎌倉市上町屋 271-2

[‡]三菱電機 鎌倉製作所 〒247-8520 鎌倉市上町屋 325

E-mail: [†]Akio.Iida@east.melos.co.jp

あらまし 衛星搭載用マイクロ波機器として、通信衛星に用いられる SSPA 並びに周波数コンバータの開発例を紹介する。

キーワード SSPA, 周波数コンバータ, リニアライザー,

Microwave Components for Satellite Use

Akio IIDA[†] Tatsuya IMAI[†] Haruzo HIROSE[†]

Kiyoharu SEINO[‡] Satoshi OGURA[‡] and Akihiro KAMIKOKURA[‡]

[†]Mitsubishi Electric Tokki System Corp. 271-2 Kamimachiya, Kamakura-city, Kanagawa, 247-0065 Japan

[‡]Mitsubishi Electric Corporation. 325 Kamimachiya, Kamakura-city, Kanagawa, 247-8520 Japan

E-mail: [†]Akio.Iida@east.melos.co.jp

Abstract

Microwave Components (SSPA and Frequency converter) developed for Space communications are presented.

Keyword SSPA, Frequency Converter, Linearizer,

1. まえがき

衛星搭載用機器には、高い信頼性が要求されるほか、小型、軽量、高効率などの要求が課せられる。

ここでは、衛星搭載用マイクロ波機器として、通信衛星に搭載される代表的なマイクロ波機器の紹介をする。

2. 衛星搭載マイクロ波機器

図1は、一般的な通信衛星搭載用機器の構成例である⁽¹⁾。マイクロ波機器は通信ミッション系サブシステム及びTTC系サブシステムに用いられる。ここでは、通信ミッション系に用いる機器について説明する。

地球から送られた通信用の電波信号は受信アンテナから、低雑音増幅器(LNA)へ導かれる。その後、ダウンコンバータにより衛星から送り出すための周波数に変換され、高出力増幅器(HPA)で電力増幅され、送信用アンテナから電力を地球へと送り出される。

衛星通信では、C帯(6GHz/4GHz)、Ku帯(14GHz/12GHz)、ならびにKa帯(30GHz/20GHz)が、一般に使われる。

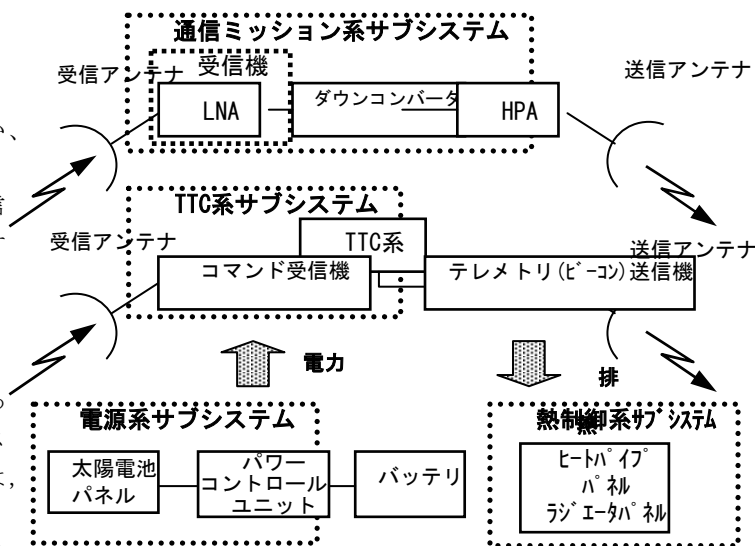


図1. 衛星搭載用機器の構成

衛星搭載の機器には、一般に、高い信頼性が要求されるが、その他に、打ち上げコストを下げるため、小型、軽量が要求される。また、電力消費を抑えるため、

高い電力効率などが求められる。

高い信頼性を得るためには、部品レベルから、モジュールのアッセンブリー、組み立て作業まで、全て管理された製造工程が求められる。このため、使用できる半導体、抵抗、キャパシタなどすべての部品に限られるので、ただでさえ自由度の少ないマイクロ波帯の部品選びなど設計の自由度が非常に少ない。

小型、軽量化への要求には、MMICやMICを多用し、小型・多層配線のパッケージを用いて実現している。

衛星内の電力消費の多くの割合を占める HPA には、高い電力効率が求められる。最近では、SSPA(Solid State Power Amplifier)と、歪特性を改善するリニアライザーとを組み合わせて用いられる。

これら、衛星搭載マイクロ波機器として、以下、3. では、C帯 60W の SSPA を、4. では、Ka帯(30GHz/20GHz)ダウンコンバータの紹介を行う。

3. SSPA

最近の通信では、通信容量の増大により、衛星通信の出力アップの要求が高まっている。さらに、デジタル通信であるため、通信品質の確保のため通信路には低歪特性が要求され、したがって、衛星搭載の高出力増幅器には、高出力、高効率に加え、デジタル変調に対する低歪の性能も要求される。

SSPA は、良好な直線性、小型、高信頼性の点で優れているが、通信容量の増大による高出力化の要求に対しては、従来 SSPA は大電力、効率の点で TWT に対して劣っていた。

ここで、示す、SSPA は、この欠点を補うもので、低損失の電力合成器を用い、3 個の FET の出力を合成して、C 帯で 60W 出力、効率 45%を得ている。さらに、歪特性改善のためのリニアライザーを用いている。

ここでは、リニアライザー付 C 帯 SSPA⁽²⁾を紹介する。

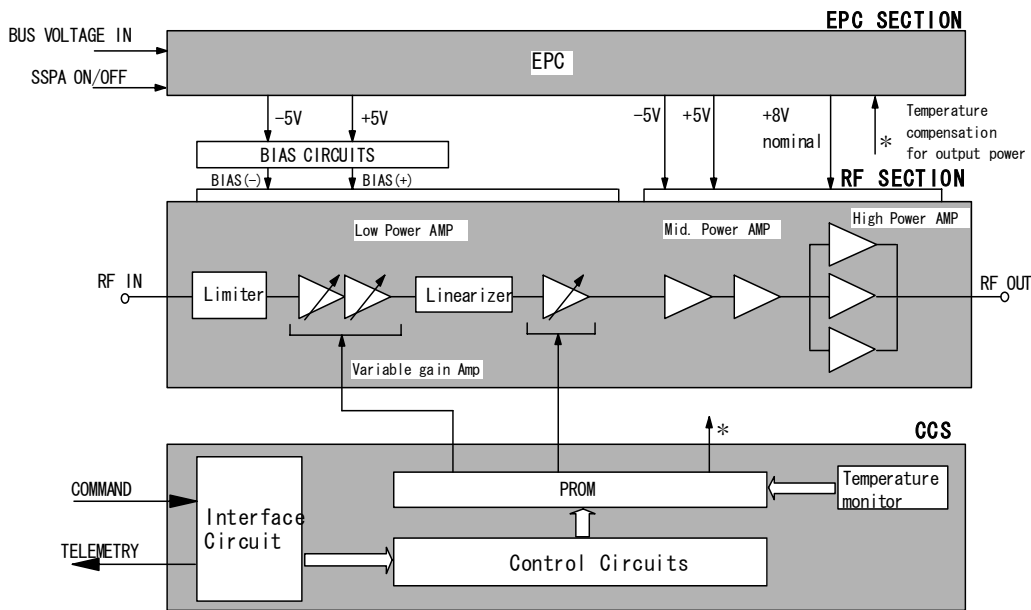


図 2 C 帯 SSPA の機能ブロック図

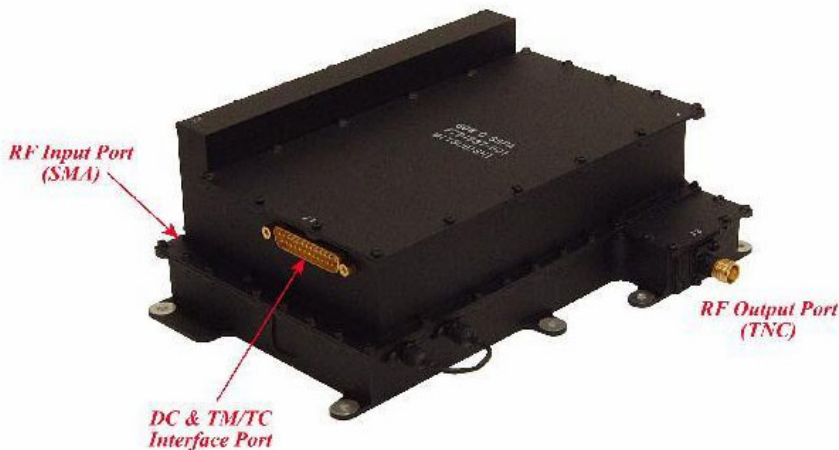


図 3 C 帯 SSPA の外観写真

3.1. 設計

図2に、この SSPA の機能ブロック図を、図3にその外観写真をそれぞれ示す。

SSPA は EPC (Electric Power Control), CCS(Control Circuit Section), ならびに RF 部とから構成される。

RF 部を最下部に配置することにより、RF 部で発生する熱を効率的に直接パネルに誘導している。

RF 部は、入力電力リミッター、小信号 AMP, リニアライザから構成される小信号部, 中出力 AMP 部ならびに最終段の3合成の高出力部の3部から構成される。

3.2. 小信号部

小信号部の入力には、オーバードライブから保護するために、+15dBm までの過電力に耐える電力リミッターが配置されている。

小信号 AMP は3段構成のデュアルゲート FET を用いた可変利得増幅器で、CCS からの制御信号により、利得の周波数平坦度は一定のまま 20dB 以上の利得を変化でき、SSPA 全体の出力のレベル調整を行っている。(3)

リニアライザは小型、軽量化のため、1個の FET で構成した簡易型構成である(4)。高出力部の FET と AM-PM, AM-AM 特性が逆特性となるように、ゲートバイアスを調整することにより、良好な性能を得ている。

3.3. 中出力部

中出力 AMP 部は、最終段をドライブするに最小限の出力と利得を得られるように FET のゲート幅を設計している。

3.4. 高出力部

高出力部は、25W 出力の内部整合タイプの FET(三菱電機製 MGFC44V)3 台を、同軸型 3 電力合成器により出力合成したものである。FET は、放熱のため、SSPA の最下部に設置し直接ヒートパイプに熱を逃がすように設計している。

これにより、動作点で電力付加効率(η_{add})は 60% 以上を得ている。

3 電力合成器は、損失を下げるため、同軸タイプで構成し、3dB と 4.77dB の分配器で構成する。低損失と、100W までのマルチパクションに耐えられるような寸法にしている。各端子からの反射の位相が反射損に影響を与えぬように設計している。

図4, 図5に 3 電力合成器の試験結果を示す。3.7-4.2GHz の 500MHz の帯域で損失は 0.15dB であり、20dB 以上の端子間アイソレーションが得られる。

MIC タイプの 3 分配器と組み合わせた高出力部の特性を図6に示す。300MHz の帯域で 11dB の直線利得が得られる。

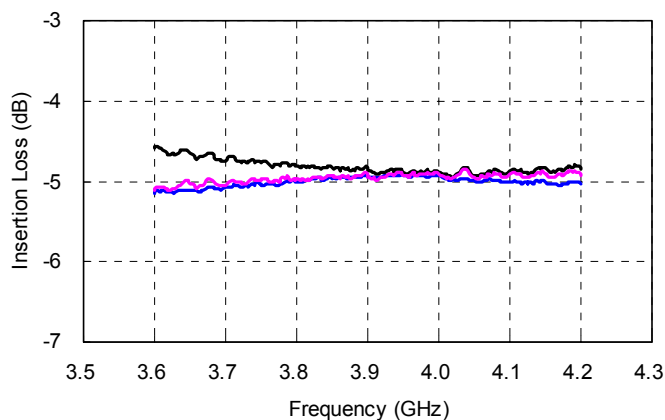


図4 3電力合成器の損失

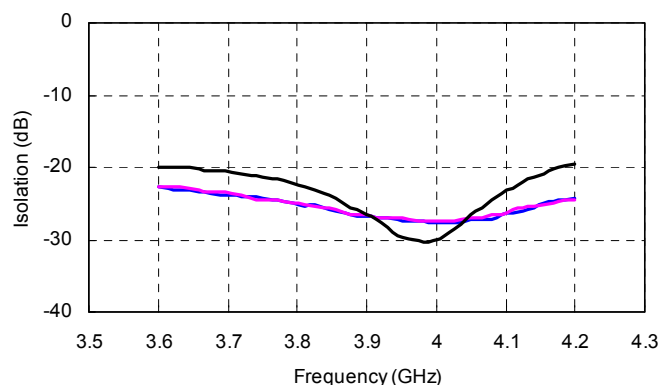


図5 3電力合成器の端子間アイソレーション

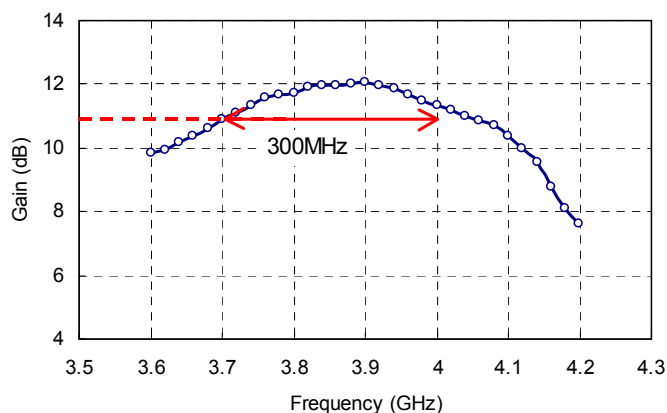


図6 3電力合成高出力部の利得

3.5. SSPA の総合性能

表 1 に、総合性能を、図 7 に入出力特性を示す。

表 1 C 帯 SSPA の総合性能

Item	Performance
Bandwidth	260MHz in 3.7-4.2GHz
Operating Temperature	-5 to +60 °C
Output Power	60W at 2dB gain comp.
Linear Gain	85dB at max. gain
Commandable Gain	32dB in 0.5dB steps
Power Efficiency	45% at 60W output
NPR	11.5dB at 60W output 17dB at 30W output
Scale	160 x 220 x 65 mm
Mass	1,900 g nom.

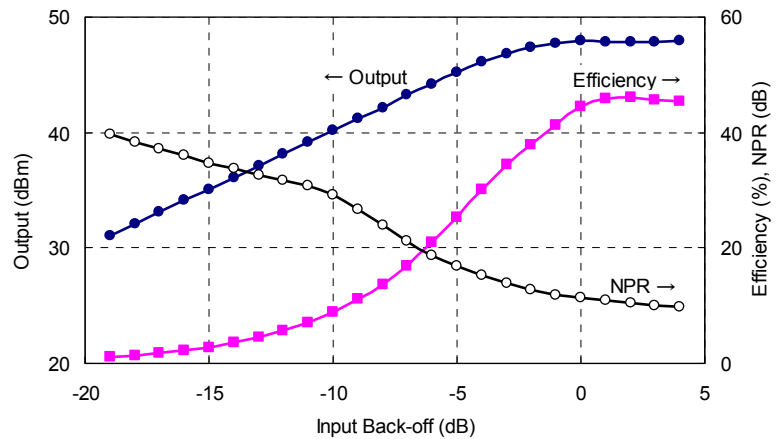


図 7 C 帯 SSPA の入出力特性

4. ダウンコンバータ

通信容量の増大と、チャンネルの増大で、衛星に搭載する周波数コンバータの数が増える。このため、周波数コンバータには、小型、軽量化が要求される。

ここでは、衛星搭載用に、小型、軽量化を図った、Ka 帯 (30/20GHz 帯) ダウンコンバータの紹介をする。

ここで紹介する、Ka 帯ダウンコンバータ (30GHz 帯を 20GHz 帯に周波数変換) では、30/20GHz の RF 部には、MMIC および小型パッケージを用い、LO 部と EPC 部には小型チップ部品を採用して装置の小型化を実現している⁽⁵⁾。

図 8 に Ka 帯ダウンコンバータのブロックダイヤを、図 9 に外観写真をそれぞれ示す。RF 部、LO 部ならびに EPC から構成される。

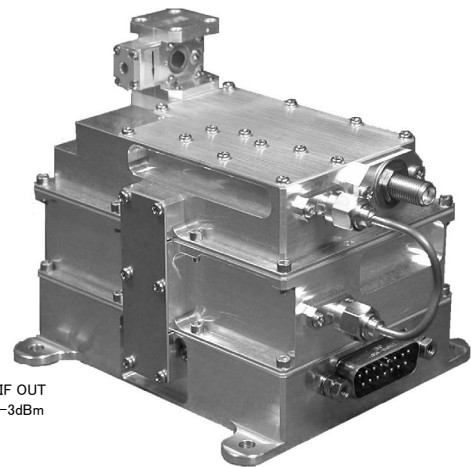


図 9 Ka 帯ダウンコンバータの外観写真

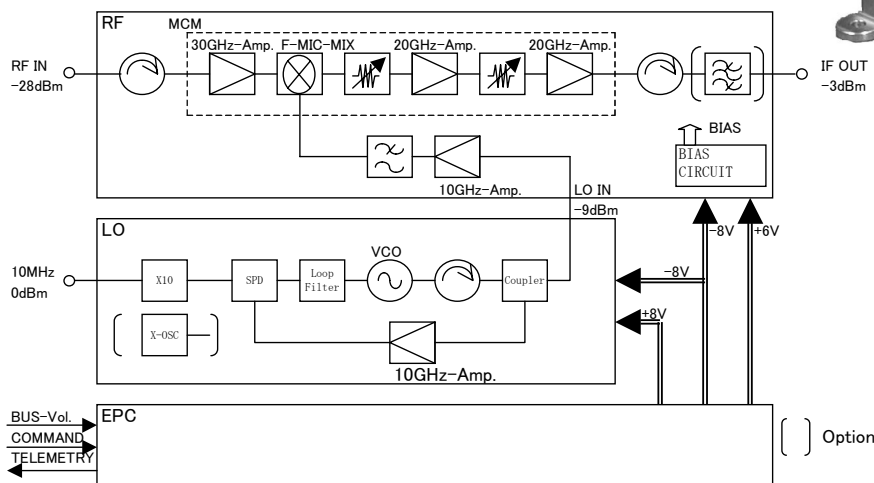


図 8 Ka 帯ダウンコンバータのブロックダイヤ

4.1. RF 部

RF 部は 30GHz の入力波を 20GHz の出力波に周波数変換するところであり、LO アンプとミキサ回路 MCM(Multi Chip Module)とバイアス回路とからなる。この RF 部は、図 9 の最上段に位置する。ミキサ回路 MCM は、RF 帯増幅器とミキサ、IF 帯の可変減衰器及び増幅器から構成される。これらはバイアス回路とともにセラミックパッケージに納められる⁽⁶⁾。ミキサ回路 MCM を図 10 に示す。

この MCM 内のミキサは、MMIC プロセスで構成した、(微細加工)パッシブ回路のダイプレクサにより、入出力の周波数分離を実現し、HEMT(三菱製 MGFC4419G) 2 個で、図 11 に示すようにバランス形で構成している。

この構成により、Lo 電力 5dBm で、変換損 12dB, IP3+10dBm を得、LO のリークを -25dBm に抑えている。

4.2. LO 部

LO 部はクリスタル発振器 (TCXO)と通倍器ならびに PLL 回路とから構成される。

PLL 回路は、SPD(Sampling Phase Detector), ループフィルター, VCO(Voltage Controlled Oscillator), カプラー, AMP とから構成される。

図 12 に 9.8GHz における LO 出力の位相雑音を示す。各離調周波数において、

10Hz:-43dBc/Hz, 100Hz:-75dBc/Hz,

1kHz:-86dBc/Hz, 10kHz:-104dBc/Hz,

100kHz:-110dBc/Hz, 1MHz:-116dBc/Hz が、得られている。

4.3. 総合性能

図 13 及び図 14 に、それぞれ、ダウンコンバータの利得と NF の周波数特性を示す。29GHz から 31GHz において、利得 25dB±1dB, NF 9dB 以下の良好な特性を得ている。

表 2 に Ka 帯ダウンコンバータの主要性能を示す。27GHz から 31GHz の帯域内の任意の 500MHz において通信ミッション系サブシステムに適用できる。

5. むすび

衛星搭載マイクロ波機器として、C 帯 60W SSPA 及び Ka 帯ダウンコンバータを紹介した。

文 献

[1] S.Kitazume : ‘Commercialization of the on-Board

Equipment’s for Communications Satellites in Japan’, MWE’96 Microwave Workshop Digest, pp.387-395
 [2] S.Ogura et al.: ‘Development of a 60W C-Band Solid State Power Amplifier for Satellite Use’, 19th AIAA No.126 (2001)
 [3] Y.Ikeda et al. : ‘Ultra Small Size and Light Weight C-Band SSPA’, AIAA-96-0987-CP, pp.131-137 (1996)
 [4] S.Ogura et al. : ‘Development of a Compact, Broadband FET Linearizer for Satellite Use’, IEEE MTT-S Digest, pp.1195-1198 (1997)
 [5] T.Imai et al.: ‘Development of Miniaturized 30/20GHz Down Converter for Satellite Use’, AIAA-2002-1941 (2002)
 [6] Kazuyoshi Inami ,Packaging Technologies for Phased Array Antenna Module,MWE’99 Microwave Workshop Digest,pp.345-350,1999.

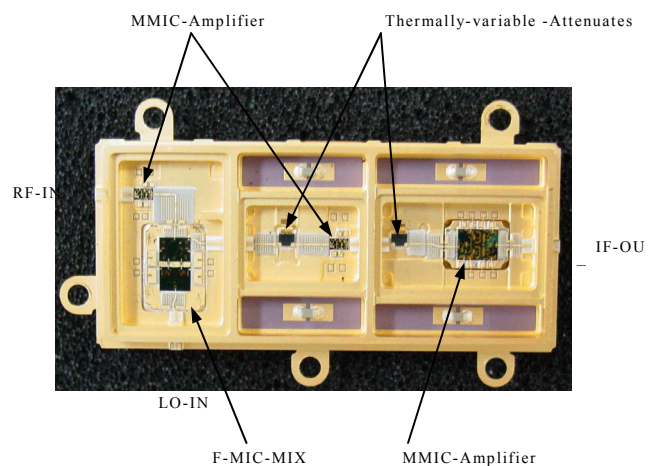


図 10 ミキサ部 MCM の外観

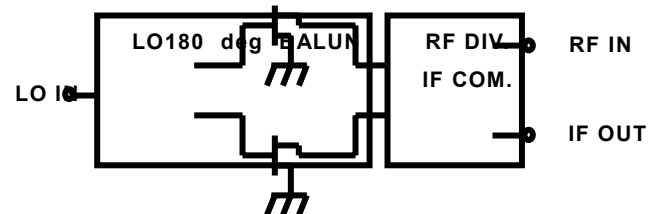


図 11 ミキサの構成

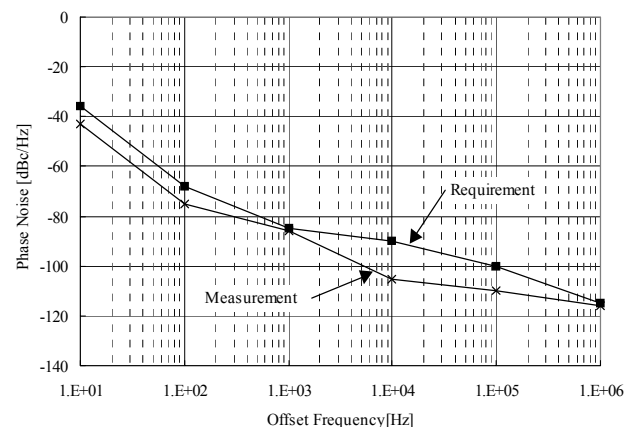


図 12 LO 出力の位相雑音

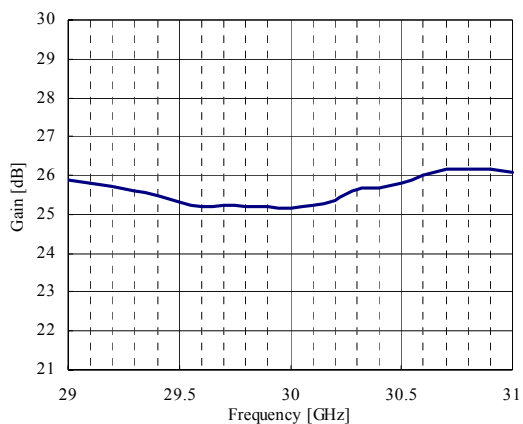


図 13 Ka 帯ダウンコンバータの利得

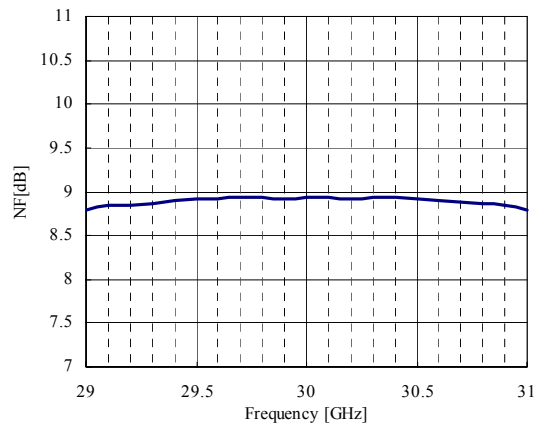


図 14 Ka 帯ダウンコンバータの NF

表 2 30/20GHz ダウンコンバータの主要性能.

L/N	PARAMETER	PERFORMANCE
1	Input Frequency	27.0 to 31.0 GHz
2	Output Frequency	17.7 to 21.2 GHz
3	Band Width	Any 500MHz
4	Gain	25dB
5	Noise Figure	<9dB
6	C 3 IM	-55dBc with two carries at -28dBm input each.
7	Phase Noise	10Hz -43dBc/Hz 100Hz -75dBc/Hz 1kHz -86dBc/Hz 10kHz -104dBc/Hz 100kHz -110dBc/Hz 1MHz -116dBc/Hz
8	Operating Temperature	-15 to +65 deg.C
9	DC Power	8.0W
10	Weight	470g
11	Size	90mm×65mm×65mm