

## ノート

## オシロスコープへ接続する IEEE802.11ad 用ダウンコンバータの開発

藤原 康平\*<sup>1)</sup> 浮田 潤一\*<sup>2)</sup> 本城 義和\*<sup>2)</sup> 小林 丈士\*<sup>1)</sup>

## Development of an IEEE802.11ad down-converter to connect to an oscilloscope

Kohei Fujiwara\*<sup>1)</sup>, Junichi Ukita\*<sup>2)</sup>, Yoshikazu Honjo\*<sup>2)</sup>, Takeshi Kobayashi\*<sup>1)</sup>

キーワード: IEEE802.11ad, ハーモニックミキサ, ダウンコンバータ

Keywords: IEEE802.11ad, Harmonic mixer, Down converter

## 1. はじめに

通信速度が数 Gbps 得ることができる無線 LAN 規格である IEEE802.11ad は, 60 GHz 帯に 2.16 GHz 幅の 4 チャンネル分が割り当てられている。これは, 第四世代移动通信の約 100 MHz 幅と比較しても, 従来の無線通信技術では比較にならない超広帯域変調信号である。

その信号を評価するには, 高額なミリ波帯の測定器類を調達する必要がある。その中でも高精度なフロントエンド部であるダウンコンバータの価格は約 1,000 万円と非常に高額である。このような理由から, この規格に準じた製品の市場への投入が遅れている。

そこで, 本規格に準じた製品開発を中小企業も手掛けられるように, 普及型デジタルオシロスコープと接続して IEEE802.11ad 信号の変調解析やパケット信号解析等が行える 100 万円台のダウンコンバータを株式会社キャンドックスシステムズと開発した。

## 2. 提案する測定ソリューション

図 1 に目標とする IEEE802.11ad 規格用の廉価な測定ソリューションの概念図を示す。ダウンコンバータで 60 GHz 帯の信号を 4.75 GHz へ周波数変換し, テクトロニクス社の MDO4104B-6 ミックスドメインデジタルオシロスコープのリアルタイムスペクトラムアナライザ機能を用いて観測する。

観測した波形は, 信号解析ソフトウェアでコンステレーションや, Error Vector Magnitude (EVM) などの解析を行い, 送信機などの性能評価を行う。

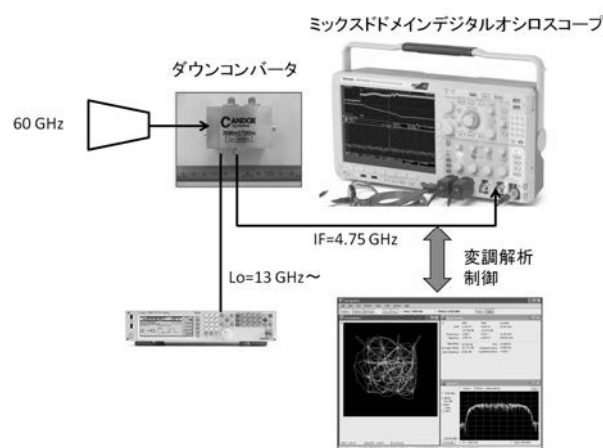


図 1. 提案する廉価な測定ソリューションの概念図

## 3. ダウンコンバータの開発

3.1 開発の方針 一般的に, ミリ波の信号を周波数変換する際には二台の周波数変換器を用いるダブルスーパーヘテロダイン方式が採用される。この理由は, ミリ波の信号を数 GHz のマイクロ波帯の信号へ周波数変換する場合に必要なミリ波帯の局部発振器が高価であることと, 広い周波数帯において周波数特性の良好な周波数変換器の製造が難しいことが挙げられる。

そこで, 本研究では, 低コスト化を図るために, 周波数変換を一度で行えるシングルスーパーヘテロダイン方式でミリ波の信号を観測できることを目標とした<sup>(1)</sup>。ダウンコンバータには, イメージ特性などが基本波ミキサと比較して良好ではないが, システムの構成を大幅に簡略化できるハーモニックミキサを採用した。ダウンコンバータの歪みは, ダウンコンバータの位相と振幅特性を取得し, それらで信号補正を行う<sup>(1)</sup>。この補正により, 測定系としての残留誤差をソフトウェア的に最小化できる。

3.2 開発仕様 ダウンコンバータの設計仕様を表 1 に, ブロック図を図 2 に写真を図 3 に示す。局部発振信号

事業名 平成 26 年度 共同研究

\*<sup>1)</sup> 電気電子技術グループ\*<sup>2)</sup> 株式会社キャンドックスシステムズ

( $f_{LO}$ ) 用に二通倍器を内蔵し、ハーモニック数  $N$  を 2 とすることで、内部で発生するイメージを低減した<sup>(2)</sup>。周波数変換後の信号とオシロスコープの入力感度を合わせるために、出力信号を増幅するプリアンプを内蔵した。

表 1. ダウンコンバータの設計仕様

|                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| 入力周波数 ( $f_{RF}$ )   | 57 ~ 66 GHz       |
| ハーモニック数(N)           | 2                 |
| 局部発振周波数 ( $f_{LO}$ ) | 13.83 ~ 15.45 GHz |
| 局部発振信号電力             | 5 dBm             |
| 中間周波数 ( $f_{IF}$ )   | 3 ~ 5 GHz         |
| 中間周波数幅               | 2 GHz 以上          |
| 周波数変換利得              | 10 dB             |

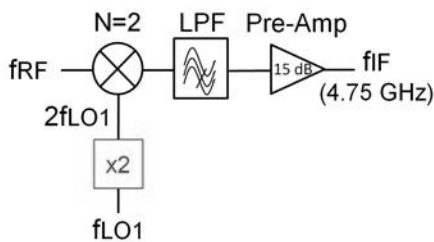


図 2. ダウンコンバータのブロック図

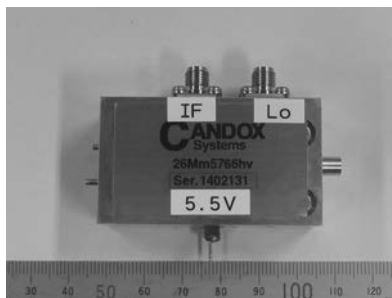


図 3. ダウンコンバータの写真

#### 4. 性能評価

ダウンコンバータの補正データの取得には、Agilent社のミリ波ベクトルネットワークアナライザ N5247A を用いた。ここでは、SMC+Phase 校正法を実施した後にダウンコンバータの位相と振幅歪 (S21 パラメータ) を測定した。これは、コムジェネレータを用いて広範囲に位相補正を施し、パワーセンサーで振幅補正を行う手法である<sup>(3)</sup>。

次に図 4 に示すダウンコンバータの測定系では、送信機にベースバンド信号を生成する任意信号発生器 (AWG) と各アップコンバータで 60 GHz 帯の IEEE802.11ad 信号を生成し、受信機のダウンコンバータへ与える。AWG、各アップコンバータは、個々の位相と振幅特性を用いて残留誤差を最小にしてある<sup>(4)</sup>。

取得したダウンコンバータの位相と振幅歪でプリディストーションを AWG に対して行い、補正を施した 60 GHz 帯の  $\pi/2$  BPSK 信号を生成する。その信号が、ダウンコンバータを通過して得られた中間周波数 (IF) 信号を広帯域オシ

ロスコープで観測し EVM 値を評価する。

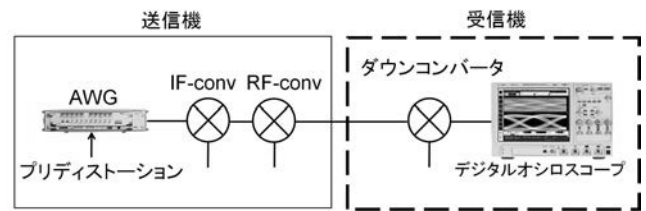


図 4. ダウンコンバータの測定系

図 4 に示す評価系を用いて CH3 (中心周波数 62.64 GHz) において、ダウンコンバータに対して補正を行わない場合と、行った場合のコンステレーションを図 5 に示す。この結果、補正を行わないと、EVM が 47.9% であるが補正により 6.2% まで改善できた。この結果、ハーモニックミキサで構成したミリ波ダウンコンバータでも、IEEE802.11ad の様な超広帯域変調信号を評価できるフロントエンド部が構築できることが確認できた。

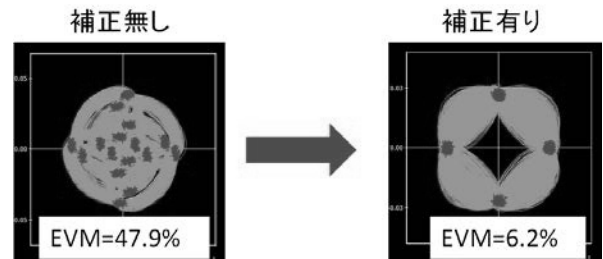


図 5. CH3 における補正の有無によるコンステレーション

#### 5. まとめ

ハーモニックミキサで、ミリ波の超広帯域変調信号を評価する廉価なダウンコンバータの開発に成功し、ダウンコンバータの位相と振幅で補正を行うと残留誤差を最小化でき、6.2% の EVM が実現できた。このことから、本コンバータと、普及型デジタルオシロスコープを組み合わせた IEEE802.11ad 規格信号の評価を行える廉価な測定ソリューションとしてユーザへ提供できるようになった。

(平成 28 年 6 月 30 日受付, 平成 28 年 7 月 27 日再受付)

#### 文 献

- (1) Kohei Fujiwara, "A low-cost IEEE802.11ad wireless network appliance test system with Mixed Domain Oscilloscope and down converter," in Proceedings of European Microwave Week 2015. Paris, France, September (2015)
- (2) 特願2014-039680「周波数変換器、計測システム及び計測方法」
- (3) Joel P. Dunsmore, "Handbook of Microwave Component Measurement." John Wiley & Sons, Ltd., Publication, USA, pp. 455-472 (2012)
- (4) Nobuhiko Shibagaki, "Accurate EVM measurement technique for wideband millimeter-wave communication system," 6th Global Symposium on Millimeter Waves 2013. Sendai, Japan, April 22-23, (2013)