

## Janusz KACZMAREK<sup>1</sup>, Tomasz REIMANN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektrycznej

<sup>2</sup>ADB POLSKA SP. Z O.O

# System do jakościowej oceny torów odbiorczych w dekodernach telewizji cyfrowej

Dr inż. Janusz KACZMAREK

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1989 r. W 1996 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Zielonogórskiej. Główne zainteresowania dotyczą stosowania metod cyfrowego przetwarzania sygnałów w przyrządach i systemach pomiarowych, oraz wykorzystania graficznych zintegrowanych środowisk programowych do projektowania oprogramowania dla systemów pomiarowych.

e-mail: J.Kaczmarek@ime.uzgora.pl



Mgr inż. Tomasz REIMANN

Jest absolwentem Wydziału Elektrotechniki Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego w Zielonej Górze. Od 1999 roku pracuje w firmie Advanced Digital Broadcast Polska projektującej dekodery telewizji cyfrowej, gdzie odpowiedzialny jest za szerokopojętą kontrolę jakości i zgodności z normami części elektronicznej (hardware'owej) projektowanych dekodernów.

e-mail: T.Reimann@adbglobal.pl



### Streszczenie

W artykule przedstawiono zasadę działania toru odbiorczego dekodera DTV oraz podstawowe definicje dotyczące wybranych parametrów i wskaźników jakości sygnałów cyfrowych występujących w systemach DTV. Zaprezentowano strukturę systemu pomiarowego z krótką charakterystyką poszczególnych przyrządów, opis procedur pomiarowych, m.in. wyznaczanie stopy błędu (BER) w funkcji częstotliwości czy wyznaczanie granicznych parametrów sygnałów wejściowych przy zadanej stopie błędów. Oprogramowanie systemu zostało zrealizowane w środowisku LabWindows/CVI.

## System to the quality estimation of receiving paths in decoders of the digital television

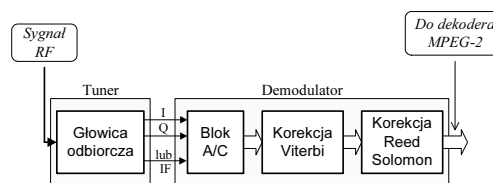
### Abstract

This article describes the measurement system dedicated to quality assessment of the reception paths of digital television decoders. Due to the complexity of the problem – measurements in wide frequency bands of up to several gigahertz, and wide dynamic range of input signals power, with the coexistent presence of predefined interference sources – such systems require technically highly advanced and extremely expensive test equipment. The most significant parts of the system are the signal sources (Digital TV Test Transmitters), which enable testing of any digital television standard currently used throughout the world. Signal sources incorporated in the system allow for simulation of the interference and distortion occurring during transmission of digital signals in the real world (fading). The structure of the measurement system has been presented together with short characteristics of each particular device and a description of the test procedures including calculation of the Bit Error Rate (BER) in frequency domain or determining the parameters limits of the input signal for the defined bit error rate. The system's test software was developed in the LabWindows CVI programming environment.

## 1. Wprowadzenie

Z punktu widzenia odbiorcy programów telewizyjnych jedyna różnica przy odbiorze sygnału telewizji cyfrowej zamiast tradycyjnej telewizji analogowej polega na konieczności zastosowania dodatkowego urządzenia zwanego dekodernem, które umieszcza się pomiędzy źródłem sygnału (antena telewizyjna) a odbiornikiem telewizyjnym. Podstawowym zadaniem takiego dekodera, określanego bardzo często mianem STB (ang. *Set Top Box*) jest odebranie i „przetłumaczenie” sygnału cyfrowego na „zrozumiałe” dla tradycyjnego telewizora sygnały dźwięku i wizji. W zależności od rodzaju medium transmisyjnego (telewizja naziemna, satelitarna lub kablowa) stosuje się różne techniki modulacji nośnych wysokoczęstotliwościowych skompresowanym sygnałem cyfrowym, należą do nich między innymi QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), różne odmiany QAM (Quadrature Amplitude Modulation) oraz OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex).

Tor wejściowy każdego odbiornika DTV składa się z dwóch podstawowych elementów (Rys.1): głowicy odbiorczej - tunera RF (Radio Frequency) i demodulatora sygnału cyfrowego [1]. Zadaniem pierwszego z nich jest odnalezienie i dostrojenie się do nadawanego sygnału oraz przemiana jego częstotliwości na inną (stałą) częstotliwość zwaną pośrednią IF (Intermediate Frequency) lub sygnały I i Q.



Rys. 1. Typowy tor odbiorczy dekodera telewizji cyfrowej  
Fig. 1. Typical reception path of the digital television decoder

Drugi z elementów toru odbiorczego tunera DTV - demodulator ma za zadanie odzyskanie danych cyfrowych „ukrytych” w zmodulowanym wcześniej sygnale. Obecnie demodulatory to analogowo cyfrowe układy scalone o stosunkowo wysokiej skali integracji posiadające również wbudowane bloki zaawansowanej korekcji błędów (korekcja Viterbi i/lub Reed Solomon) mogących wystąpić podczas transmisji sygnałów: satelitarnych, naziemnych lub kablowych [1, 2, 3].

## 2. Wskaźniki jakościowej oceny torów odbiorczych dekodernów DTV

Podstawowym parametrem decydującym o jakości odbieranego sygnału jest stosunek mocy sygnału, który dociera bezpośrednio do wejścia tunera do mocy towarzyszącego mu szumu. Tory odbiorcze telewizji analogowej są w małym stopniu odporne na sygnały zaszumione. Na ekranie telewizora objawia się to w postaci „zaśnieżenia” obrazu, coraz bardziej widocznego i dokuczliwego w miarę pogarszania się stosunku  $C/N$

$$C/N = \frac{\text{moc sygnału}}{\text{moc szumu}} \quad (1)$$

W przypadku odbiorników DTV cechą charakterystyczną jest ich znacznie większa odporność na szum, przy czym w przeciwieństwie do sygnałów tradycyjnej telewizji analogowej granica pomiędzy dobrą jakością obrazu a jego brakiem jest stosunkowo wąska. To znaczy, że szumu, który byłby już bardzo dokuczliwy w telewizji analogowej jest jeszcze zupełnie nieszkodliwy dla sygnałów DTV. Jednak przekroczenie pewnej granicy poziomu szumu powoduje w odbiornikach DTV bardzo znaczny spadek jakości obrazu lub po prostu jego brak.

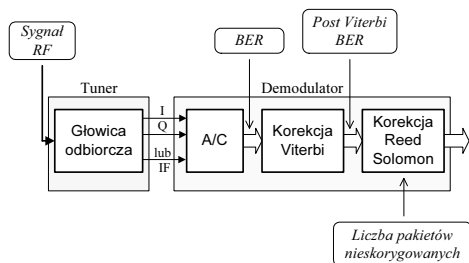
Kolejnym niezwykle ważnym parametrem określającym jakość toru odbiorczego dekodery telewizji cyfrowej jest umiejętność radzenia sobie z różnego rodzaju zniekształceniami sygnału użytecznego, które mogą wystąpić podczas jego transmisji. Szczególnie ma to związek z wielotorowymi odbiciami sygnału użytecznego od budynków lub naturalnych przeszkód i powstającymi w ten sposób opóźnieniami (*ang. Fading*) [5]. Poważny problem stanowić może również obecność w najbliższym sąsiedztwie bardzo silnych sygnałów pochodzących z innych pobliskich nadajników telewizyjnych (zarówno cyfrowych jak i analogowych). Umiejętność radzenia sobie z takimi sygnałami wyrażana jest parametrem  $D/UD$  (*ang. Desired / UnDesired*), określającym stosunek mocy sygnału użytecznego  $P_{su}$  do mocy sygnału zakłócającego  $P_{sz}$ , przy którym możliwy jest jeszcze prawidłowy odbiór sygnału:

$$D/UD = \frac{P_{su}}{P_{sz}} \quad (2)$$

W odbiornikach telewizji cyfrowej do oceny wpływu parametrów (1),(2) na jakość torów odbiorczych DTV stosuje się typowe dla torów transmisji sygnałów cyfrowych wskaźniki [2, 3, 4]: bitową stopę błędów  $BER$  (*ang. Bit Error Ratio*), która określa stosunek liczby błędnie odebranych bitów  $b_e$  do liczby wszystkich odebranych bitów  $b_a$ :

$$BER = \frac{b_e}{b_a} \quad (3)$$

oraz liczbę nieskorygowanych, pakietów która określa stosunek ilości pakietów błędnych (nie dających się skorygować) do liczby wszystkich przesłanych pakietów. Wartość obu wskaźników zależy przede wszystkim od warunków, w jakich przesyłany był sygnał wysokiej częstotliwości RF. Na rys.2 przedstawiono umiejscowienie wskaźników jakości w torze odbiorczym typowego dekodera DTV.



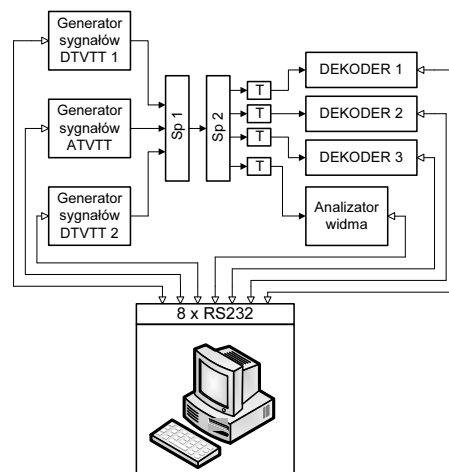
Rys. 2. Miejsce wskaźników jakości w strukturze toru odbiorczego dekodera telewizji cyfrowej

Fig. 2. Place of the quality indicators in the structure of the reception path of the digital television decoder

Jak wynika z rysunku 2, BER może być mierzony przed korekcją Viterbi, po korekcji Viterbi oraz przed korekcją Reed Solomon, jeśli w torze odbiorczym dekodera nie występuje blok korekcji Viterbi (dekodery DVB-C) [1,2,3,4]. W praktyce najczęściej stosuje się pomiar parametru BER po korekcji Viterbi lub przed korekcją Reed Solomon. Sygnał odbierany jest traktowany jako bezbłędny, kiedy wartość BER jest równa lub mniejsza od  $2 \cdot 10^{-4}$  ( $BER = 2 \cdot 10^{-4}$  określane jest jako QEF – Quasi Error Free), odpowiada to w przybliżeniu jednemu błędnemu bitowi na godzinę. BER równy QEF nie gwarantuje jednak całkowitego braku błędów transmisji. W rzeczywistości istnieją sytuacje gdzie sygnał zostaje bardzo mocno zakłócony impulsowo (przez bardzo krótki czas), wartość BER w takim przypadku może być prawidłowa, a na ekranie telewizora pojawią się charakterystyczne dla DTV zniekształcenia. Spowodowane one mogą być nieodwracalnymi uszkodzeniami pojedynczych, ale bardzo istotnych (na przykład pakietów synchronizujących) fragmentów danych. Stąd, poza parametrem BER, istotnym wskaźnikiem jakości toru odbiorczego dekodera DTV jest liczba błędnych pakietów, których nie udało się skorygować.

### 3. Struktura systemu pomiarowego

System pomiarowy (Rys. 3) do oceny jakościowej torów odbiorczych dekodery DTV jest zbudowany z zaawansowanych technicznie i bardzo kosztownych przyrządów pomiarowych (koszt całego stanowiska przekracza wartość jednego miliona złotych).



Rys. 3. Schemat blokowy systemu pomiarowego  
Fig. 3. Block diagram of the measuring system

Głównymi składnikami opisywanego systemu są nadajniki cyfrowych (DTVTT) i analogowych (ATVTT) sygnałów telewizyjnych (*ang. Digital TV Test Transmitter, Analogue TV Test Transmitter*). Ze względu na rodzaj realizowanych zadań zastosowane w systemie nadajniki sygnałów TV mają różne przeznaczenie. Podstawowe źródło cyfrowych sygnałów telewizyjnych (DTVTT 1) stanowią przyrządy firmy Rohde&Schwarz: SFU lub SFQ, w systemie można jest stosować wymiennie. Urządzenia te potrafią wygenerować (zasymulować) rzeczywisty sygnał telewizyjny, jaki może docierać z anteny do dekodera DTV. Ich ogromną zaletą są źródła sygnałów zakłócających - generator szumu i układy symulacji zniekształceń (*ang. Fading*). Tego typu zakłócenia występują podczas transmisji sygnału w naturalnych warunkach. Zakresy nastaw mocy i częstotliwości generowanych sygnałów RF znacznie przekraczają te stosowane w praktyce: od  $-99$  dBm do  $+10$  dBm w przypadku mocy wyjściowej sygnału RF, oraz od  $0.3$  MHz do  $3.3$  GHz w przypadku częstotliwości. Przyrządy potrafią dostarczyć sygnał o dowolnej modulacji oraz dowolnym standardzie DTV: satelitarnym DVB-S i DVB-S2, naziemnym DVB-T, DVB-H i 8-VSB oraz kablowym DVB-C i J83B. Poza kompleksowością urządzenia te odznaczają się dużą dokładnością i stabilnością generowanych sygnałów oraz możliwością pełnej zdalnej kontroli poprzez GPIB oraz w zależności od modelu RS232C lub Ethernet.

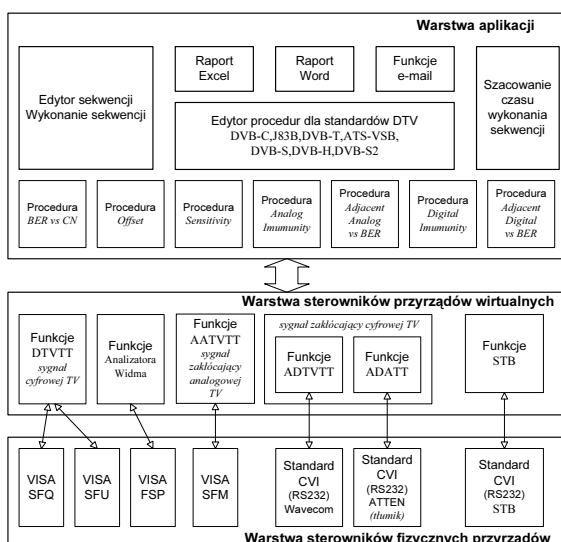
W skład systemu wchodzi również nadajniki symulujące silne, sąsiednie kanały telewizji cyfrowej (DTVTT 2) i analogowej (ATVTT). Funkcję ATVTT spełnia kolejny przyrząd firmy Rohde&Schwarz – SFM, zdolny wygenerować sygnał w formacie zgodnym z dowolnym standardem telewizji analogowej: B/G, D/K, M, N. Do symulacji zakłóceń pochodzących od sąsiedniego kanału telewizji cyfrowej (DTVTT 2) zastosowano przyrząd firmy WaveCom, który działa jako modulator sygnałów DTV dla standardów telewizji kablowej DVB-C oraz J83B. Wszystkie trzy źródła sygnałów połączone są razem za pomocą specjalnego splitera (Sp1). Sumaryczny sygnał na wyjściu (Sp1) jest rozdzielony za pomocą (Sp2) na cztery jednakowe sygnały, z których trzy dostarczane są do testowanych dekodery DTV, a czwarty do analizatora widma firmy Rohde&Schwarz - FSP3. Za pomocą analizatora widma są kontrolowane poziomy sygnałów na wejściu mierzonych dekodery, dzięki temu istnieje możliwość korygo-

wania niepożądanego tłumienia w torze transmisyjnym sygnałów, które wprowadzają bloki Sp1 i Sp2. Ponieważ tolerancja na wartość impedancji wejściowej głowic odbiorczych dekoderek DTV jest dość duża, na końcu każdego z kabli pomiarowych dołączono tłumiki RF (T) w celu zmniejszenia ewentualnego niedopasowania impedancji pomiędzy testowanymi urządzeniami a generatorami sygnałów. Takie niedopasowanie, szczególnie przy częstotliwościach satelitarnych przekraczających 2GHz, mogłyby w znaczący sposób wpłynąć na dokładność i wiarygodność otrzymanych wyników.

#### 4. Oprogramowanie systemu

Oprogramowanie systemu zrealizowano w środowisku LabWindows/CVI. Na rys. 4 przedstawiono warstwowo model programu. Warstwa aplikacji decyduje o jego funkcjonalności. Spośród licznych funkcji na uwagę zasługują edytor procedur pomiarowych oraz edytor sekwencji, które pozwalają na tworzenie złożonych scenariuszy składających się z wielu różnych typów procedur pomiarowych (liczba różnych typów procedur pomiarowych przekracza 40 i wynika z kombinacji typów standardów DTV oraz rodzajów przeprowadzanych testów). W systemie są dostępne następujące rodzaje testów:

- *Procedura BER vs C/N* – wyznaczanie wartości BER dla zadanej wartości parametru C/N;
- *Procedura Offset* – wyznaczanie wartości BER oraz sprawdzenie, czy dekoderek pracuje prawidłowo w sytuacji niewielkiej odchyłki częstotliwości nośnej sygnału w stosunku do wartości nominalnej wynikającej z wybranego kanału telewizyjnego w dekodercie DTV;
- *Procedura Sensitivity* – wyznaczanie minimalnego poziomu sygnału dla zadanej wartości BER;
- *Procedura Analog Immunity* – wyznaczanie wpływu sygnału zakłócającego (sąsiedni kanał z sygnałem telewizji analogowej) na wartość BER dla danego stosunku: moc sygnału użytecznego/moc sygnału zakłócającego;
- *Procedura Adjacent Analog vs BER* – wyznaczanie maksymalnego poziomu sygnału zakłócającego (sąsiedni kanał z sygnałem telewizji analogowej) dla zadanej wartości BER;
- *Procedura Digital Immunity* – wyznaczanie wpływu sygnału zakłócającego (sąsiedni kanał z sygnałem telewizji cyfrowej) na wartość BER dla danego stosunku: moc sygnału użytecznego/moc sygnału zakłócającego;
- *Procedura Adjacent Digital vs BER* – wyznaczanie maksymalnego poziomu sygnału zakłócającego (sąsiedni kanał z sygnałem telewizji cyfrowej) dla zadanej wartości BER.

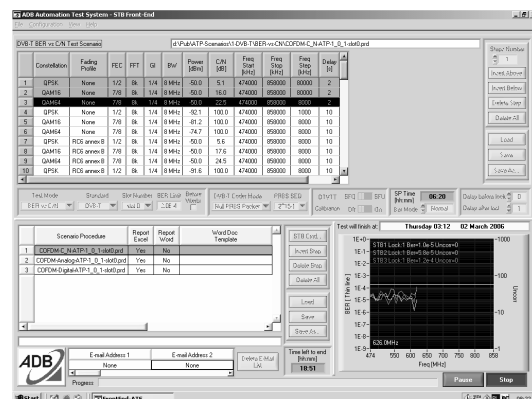


Rys. 4. Warstwowy model oprogramowania  
Fig. 4. Layered model of the software

Oprócz procedur pomiarowych w sekwencji można umieszczać zadanie wykonania raportów (wielkość raportów dochodzi do kilkudziesięciu stron) w formacie MS Excel i MS Word oraz przesłanie raportów pocztą elektroniczną pod zdefiniowane adresy e-mail. Podczas tworzenia procedur pomiarowych i sekwencji automatycznie jest szacowany czas ich wykonania. Ułatwia to zarządzanie tak kosztowną aparaturą. Komunikacja w systemie pomiarowym jest realizowana za pomocą funkcji zawartych w obu pozostałych warstwach, przy czym warstwę sterowników przyrządów wirtualnych wprowadzono w celu zapewnienia możliwości wymiany stosowanych w systemie przyrządów pomiarowych, bez konieczności modyfikacji funkcji zawartych w warstwie aplikacji. Czas realizacji pełnego cyklu pomiarowego mieści się w przedziale 1-2 dni.

#### 5. Podsumowanie

Prezentowany w pracy system pomiarowy umożliwia kompleksowe badanie torów odbiorczych dekoderek telewizji cyfrowej zgodnie z obowiązującymi w tej dziedzinie standardami. Zaletą systemu jest jego elastyczność, zarówno pod względem obszaru zastosowań – wstępne badania w fazie projektowej oraz badania końcowe, dopuszczające testowane urządzenie do produkcji, jak i możliwości pracy w różnych konfiguracjach sprzętowych. Ta ostatnia właściwość ma szczególne znaczenie ze względu na stosowanie w systemie bardzo kosztownej i unikatowej aparatury. Istotnym składnikiem systemu jest oprogramowanie, które zostało zrealizowane w środowisku LabWindows/CVI. Pomimo bardzo dużej złożoności systemu pomiarowego oprogramowanie charakteryzuje się wygodnym i prostym w użyciu interfejsem użytkownika (rys. 5). Dzięki możliwości automatycznego generowania rozbudowanych, wielostronicowych raportów w formatach programów MS Excel i MS Word wyeliminowano uciążliwą i czasochłonną procedurę związaną z manualnym sposobem tworzenia dokumentacji dla przeprowadzanych testów. System został z powodzeniem wdrożony w firmie ADB (Advanced Digital Broadcast), zaliczanej do grona światowych liderów w dziedzinie dekoderek telewizji cyfrowej.



Rys. 5. Widok głównego okna aplikacji  
Fig. 5. View of the main window of the application

#### 6. Literatura

- [1] W. Fisher: Digital Television. Springer-Verlag, 2004.
- [2] Bit Error Ratio BER in DVB as a Function of S/N. Rohde&Schwarz Broadcasting Division, AN7BM03\_3E, 2003.
- [3] Critical RF Measurements in Cable, Satellite and Terrestrial DTU Systems. Tektronix, AN, 2005.
- [4] NorDig Unified Requirements for profiles Basic TV, Enhanced, Interactive and Internet. NorDig-Unified ver. 1.0.1.
- [5] DVB Framing Structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. Norma ETSI EN 300 744.