

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ AGILENT VEE ВЛИЯНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ СПЕКТРА  
СЕЛЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ МСИ

THE AGILENT VEE MODELING OF SPECTRUM RESTRICTION INFLUENCE  
OF THE NYQUIST SIGNALS ON ISI VALUE

**Аннотация.** Исследуется влияние ограничения спектра на форму селективного сигнала и на величину межсимвольной интерференции. Анализируются особенности графической среды программирования Agilent VEE Pro 6 и возможности ее использования для визуализации процесса исследований.

**Summary.** Spectrum restriction influence on Nyquist signals shape and on the intersymbol interferences value is investigated. The peculiarities of Agilent VEE Pro 6 graphics environment and its implementation possibility for research process visualization are analyzed.

В процессе формирования и передачи аналоговых переносчиков цифровой информации их амплитудный спектр подвергается ограничению по частоте, что приводит к появлению межсимвольной интерференции (МСИ). Данное явление негативно сказывается на помехоустойчивости телекоммуникационных систем. Степень ограничения спектра непосредственно зависит от качества приемо-передающей аппаратуры и от используемых каналов связи. Для численной оценки величины подобных искажений используют D или E критерии; однако для визуальной оценки обычно применяют глаз-диаграмму [1, 2, 3]. Для подобных исследований в [1] была использована программная оболочка MathCad PLUS 6, а в работе [2] – MATLAB 5. В настоящее время заметное распространение получила среда визуального программирования Agilent VEE (Visual Engineering Environment) Pro 6, широко применяемая при моделировании большинства процессов, происходящих в телекоммуникационных системах. Например, с ее помощью в [3] проведено моделирование способов выделения тактовой синхронизации из коррелятивно кодированного многоуровневого сигнала с учетом статистики информационных символов и влияния МСИ. Таким образом, Agilent VEE Pro 6 зарекомендовала себя как мощная графическая инструментальная среда визуального программирования, разработанная подразделением Agilent Technologies фирмы Hewlett-Packard. Мощные средства анализа модуля MATLAB, полностью интегрированного в VEE, предоставляют широкий выбор функций цифровой обработки сигналов и инженерной графики. Написанные программы выглядят подобно блок-схемам [4], по которым легко создается пользовательский интерфейс. Однако в указанной среде не решена задача моделирования искажений спектральных сигналов в канале связи.

Цель данной статьи – разработка в среде Agilent VEE Pro 6 наглядного и интуитивно опосредованного интерфейса, предназначенного для визуальной и количественной оценки величины МСИ, и анализ с его помощью чувствительности селективных сигнальных функций к ограничению спектральной плотности в области верхних частот.

В работах [5, 6] исследовались искажения формы селективного сигнала вида

$$g(t) = U \frac{\sin \omega_c t}{\omega_c t} \frac{\sin \alpha \omega_c t}{\alpha \omega_c t}, \quad -\infty < t < \infty, \quad (1)$$

возникающие при ограничении его амплитудного спектра

$$|G(j\omega)| = \begin{cases} UT & \text{при } 0 \leq |\omega| \leq \omega_A, \\ G_\Delta(\omega) & \text{при } \omega_A \leq |\omega| \leq \omega_B, \\ 0 & \text{при } \omega_B \leq |\omega|. \end{cases} \quad (2)$$

где  $G_\Delta(\omega) = -UT \left[ \frac{\omega}{2\alpha\omega_c} - \frac{1+\alpha}{2\alpha} \right]$ ,  $\omega_A \leq |\omega| \leq \omega_B$  – спектральная плотность сигнала (1) в переходной

области  $[\omega_A, \omega_B]$ ;  $\alpha$  – коэффициент скругления спектра ( $0 \leq \alpha \leq 1$ );  $U = g(0)$ ;  $\omega_c = \pi/T$ ;  $T$  – длительность тактового интервала;  $\omega_A = (1-\alpha)\omega_c$ ;  $\omega_B = (1+\alpha)\omega_c$ .

При ограничении спектра (2) частотой  $\omega_r$  ( $\omega_r < \omega_B$ ) (рис. 1) форма сигнала (1) искажается.

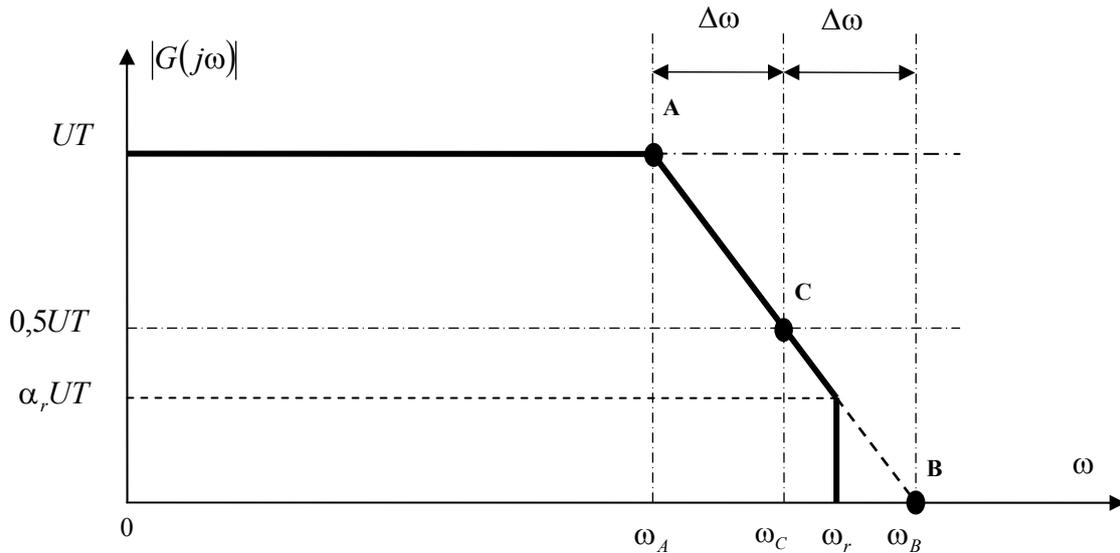


Рисунок 1 – Спектральная плотность селективного сигнала с линейным срезом

В [5] было получено аналитическое выражение для искаженного сигнала

$$g(t; \alpha, \alpha_r) = U \frac{\sin(1 - \alpha \alpha_r) \omega_c t}{\omega_c t} \cdot \frac{\sin(1 - \alpha_r) \alpha \omega_c t}{\alpha \omega_c t} + U \frac{\alpha_r \sin(1 + \alpha - 2\alpha \alpha_r) \omega_c t}{\omega_c t}, \quad (3)$$

где  $\alpha_r = \frac{\omega_B - \omega_r}{2\alpha \omega_c}$  – коэффициент ограничения спектра ( $0 \leq \alpha_r \leq 1$ ).

Дальнейшие исследования влияния ограничения спектра на величину искажений сигнала и уровень МСИ целесообразно выполнять с использованием глаз-диаграммы, которая находит применение при тестировании цифровых телекоммуникационных систем. Для этой цели была создана имитационная модель, блок-схема которой представлена на рис. 2. Предложенная модель состоит из четырех частей – 1) формирование селективного сигнала, 2) генерирование рабочего случайного двухуровневого сигнала, 3) визуализация спектральной плотности полученного сигнала, 4) оценка величины МСИ по величине вертикального раскрытия глаз-диаграммы. Каждая из частей имеет объект визуального отображения получаемых результатов, представляя их в виде графиков. Данная модель содержит четыре глобальных переменных – *time*, *accuracy*, *n\_signal* и *w\_signal*, значения которых используются в каждой из частей. Переменная *time* определяется пользователем и задает исследуемый промежуток времени, кратный тактовым интервалам. Переменная *accuracy* также определяется пользователем и отвечает за дискретность получаемых результатов. Она определяет количество отсчетов на тактовом интервале. Переменные *n\_signal* и *w\_signal* представляют собой массивы, содержащие отсчеты селективного сигнала (3) и случайного рабочего сигнала соответственно. Рассмотрим более подробно каждую из частей предложенной имитационной модели.

### 1. Формирование селективного сигнала

Формирование селективного сигнала происходит в цикле объекта «For Range». Инициализация цикла выполняется в объектах «Low Range» и «High Range», ограничивая диапазон производимых вычислений в зависимости от значения переменной *time*, определяющей количество тактовых интервалов. Форма селективного сигнала (3), подвергнутого ограничению спектральной плотности в области верхних частот, задается в объекте «Formula». Результаты вычислений, накапливаются в объекте «Collector», предназначенном для промежуточного хранения данных. По окончании формирования сигнала объект «Set N\_Signal» сохраняет полученный результат в переменной *n\_signal*. Для визуального отображения сформированного селективного сигнала используется объект «Nyquist Signal». Использование объекта «Collector» в данной части предложенной модели способствует повышению быстродействия вычислений в связи с отсутствием надобности в постоянной записи получаемых результатов, а также их отображении в течении всего цикла формирования сигнала. Объект «Build Waveform» осуществляет нормирование полученных результатов с целью возможности их наиболее удобного отображения.

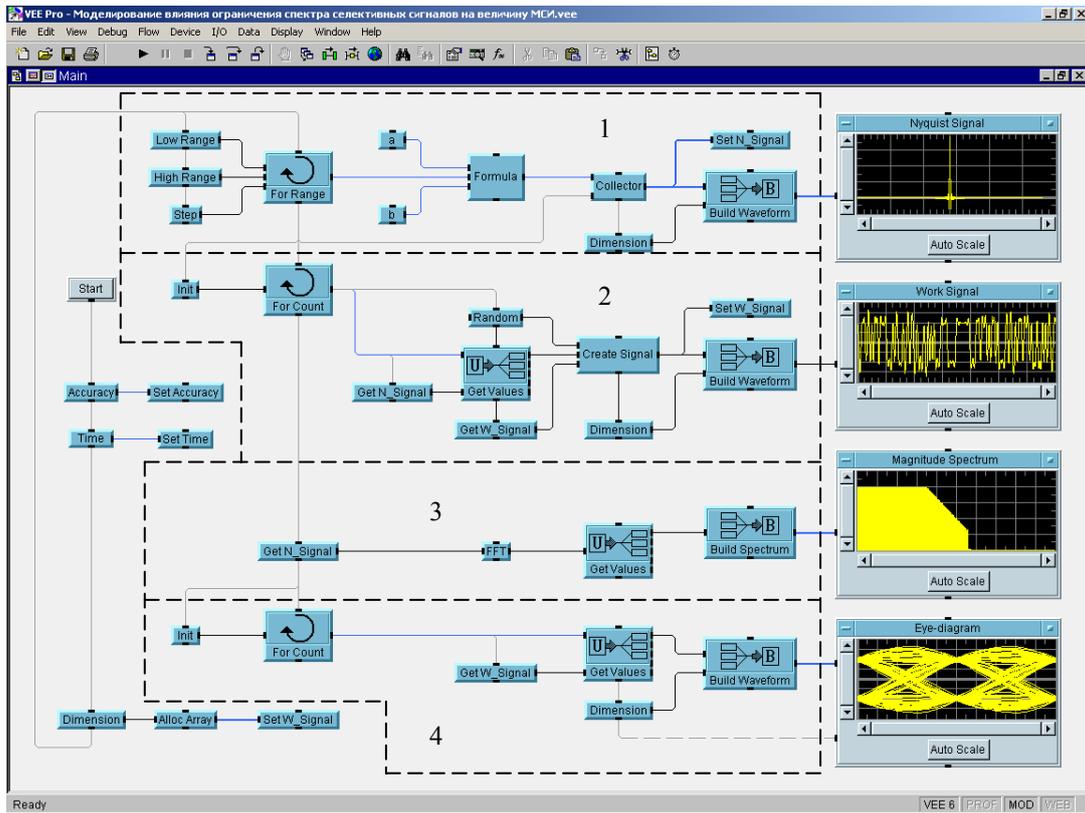


Рисунок 2 – Блок-схема имитационной модели, исследующей влияние ограничения спектра селективных сигналов по частоте на величину МСИ

Отметим, что для визуальной и количественной оценки величины МСИ необходимо и достаточно, чтобы период взятия отсчетов  $\Delta t$ , определяющий качество отображения сигнала (1) на экране дисплея, был равен тактовому интервалу  $T$ . Однако для качественного визуального наблюдения формы селективного сигнала, а также глаз-диаграммы требуется выполнения условия, при котором  $\Delta t \ll T$ . При этом пользователю предоставляется право выбора параметра  $\Delta t$ , варьируя значением переменной *accuracy*, определяющей количество отсчетов на тактовом интервале.

Результат работы данной части предложенной имитационной модели представлен на рис. 3, отображая форму сигнала  $g(t; \alpha, \alpha_r)$  при различных значениях параметров  $\alpha$  и  $\alpha_r$ .

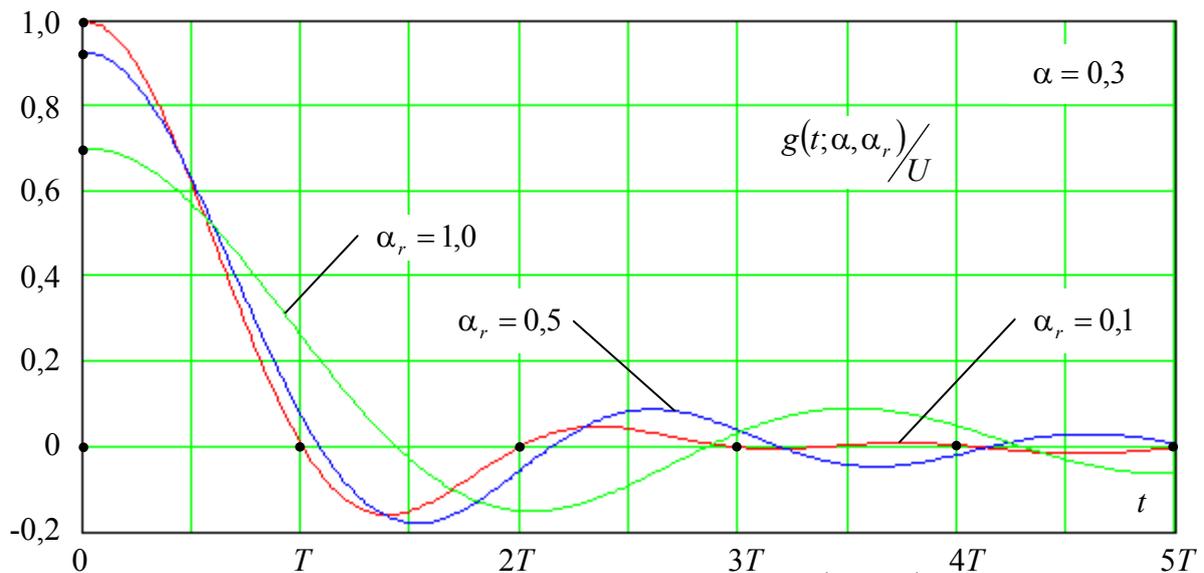


Рисунок 3 – Зависимость формы функции  $g(t; \alpha, \alpha_r)$  от степени ограничения спектра селективного сигнала

## 2. Генерирование рабочего случайного двухуровневого сигнала

Формирование рабочего случайного двухуровневого сигнала происходит в цикле объекта «For Count». Инициализацию цикла выполняет объект «Init» исходя из значения переменной *time*. Расчет формы случайного двухуровневого сигнала осуществляется в объекте «Create Signal»

$$a(t; \alpha, \alpha_r) = \sum_{i=-N}^N a_i g(t - iT; \alpha, \alpha_r), \quad a_i \in [-1; 1], \quad (4)$$

где  $N$  – длительность испытательной последовательности.

Генерирование случайной последовательности производится в объекте «Random» в соответствии с равномерным законом распределения. Длительность испытательной последовательности определяется пользователем и зависит от поставленной им цели.

Для повышения быстродействия, вычисление функции  $g(t - iT; \alpha, \alpha_r)$  целесообразно заменить выбором соответствующих значений из уже рассчитанной переменной *n\_signal*, используя при этом объект «Get Value». Объекты «Get N\_Signal» и «Get W\_Signal» осуществляет извлечение данных из переменных *n\_signal* и *w\_signal* соответственно.

Результаты вычислений сохраняются объектом «Set W\_Signal» в переменной *w\_signal*. Для визуального отображения сформированного рабочего случайного двухуровневого сигнала используется объект «Work Signal». Объект «Build Waveform» осуществляет нормирование полученных результатов для наиболее удобного отображения.

## 3. Визуализация спектральной плотности сигнала

Анализ спектральной плотности полученного селективного сигнала (3), подвергнутого ограничению спектра в области верхних частот, производится на основе прямого дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Объект «Get N\_Signal» осуществляет извлечение данных из переменной *n\_signal*. Время – частотное преобразование производится в объекте «FFT». Для визуального отображения спектральной плотности анализируемого сигнала используется объект «Magnitude Spectrum». Объекты «Get Value» и «Build Spectrum» осуществляет нормирование полученных результатов с целью возможности их наиболее удобного отображения.

При необходимости, возможно провести анализ спектральной плотности сформированного рабочего случайного двухуровневого сигнала (4). Для этого необходимо осуществить время-частотное преобразование над данными из переменной *w\_signal* и соответствующее нормирование полученных результатов в объектах «Get Value» и «Build Spectrum».

## 4. Оценка величины МСИ по величине вертикального раскрыва глаз-диаграммы

Наиболее важным результатом моделирования является глаз-диаграмма, предназначенная для визуальной и количественной оценки величины МСИ, возникающей при ограничении спектра селективного сигнала по частоте. Построение глаз-диаграммы производится в цикле объекта «For Count». Инициализацию цикла выполняет объект «Init», исходя из значения переменной *time*. Объект «Get Value» при помощи объекта «Get W\_Signal» осуществляет извлечение необходимого блока данных из переменной *w\_signal*, кратного двум тактовым интервалам с шагом равным одному тактовому интервалу. Для визуального отображения глаз-диаграммы анализируемого сигнала (4) используется объект «Eye-diagram». Объект «Build Waveform» осуществляет нормирование полученных результатов с целью возможности их наиболее удобного отображения.

Величина вертикального раскрыва глаз-диаграммы определяется следующим образом [7]

$$h = g(0; \alpha, \alpha_r) - \sum_{k=-N}^N |g(kT; \alpha, \alpha_r)|,$$

где  $\sum'$  – сумма значений  $g(kT; \alpha, \alpha_r)$ , за исключением  $g(0; \alpha, \alpha_r)$ .

В качестве иллюстрации результатов моделирования на рис. 4 представлено семейство кривых, отображающих зависимость, выраженную в процентном отношении, вертикального раскрыва глаз-диаграммы для фиксированных значений коэффициента скругления спектра от степени его ограничения.

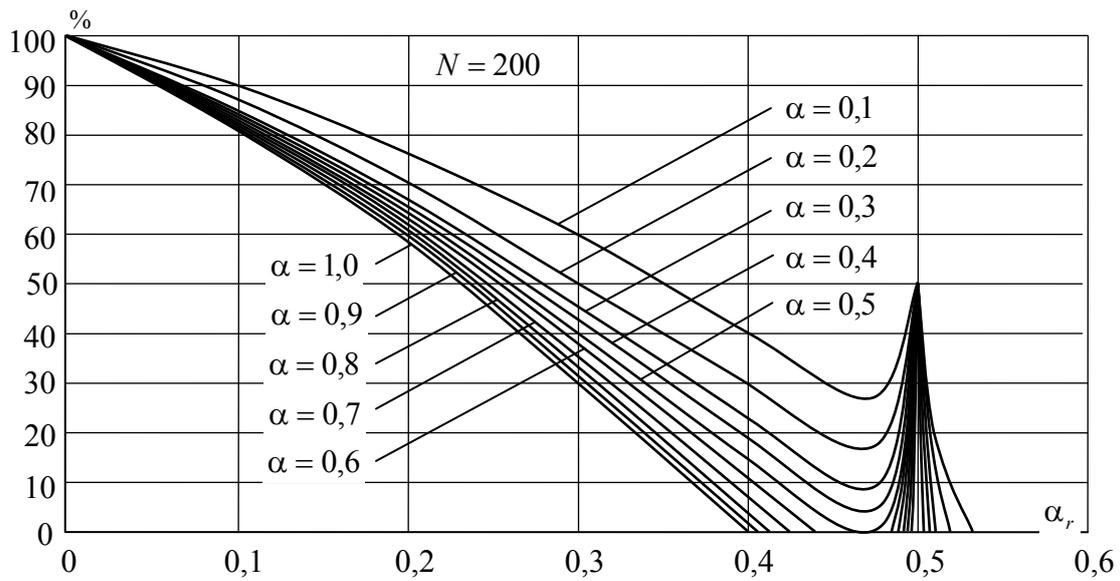


Рисунок 4 – Зависимость вертикального раскрытия глаз-диаграммы от коэффициента ограничения спектра

Для получения более полной и исчерпывающей информации о величине интерференции, возникающей при ограничении спектра селективного сигнала (3), на рис. 5 приведено семейство кривых, отображающих зависимость вертикального раскрытия глаз-диаграммы для фиксированных значений коэффициента ограничения спектра от степени его скругления.

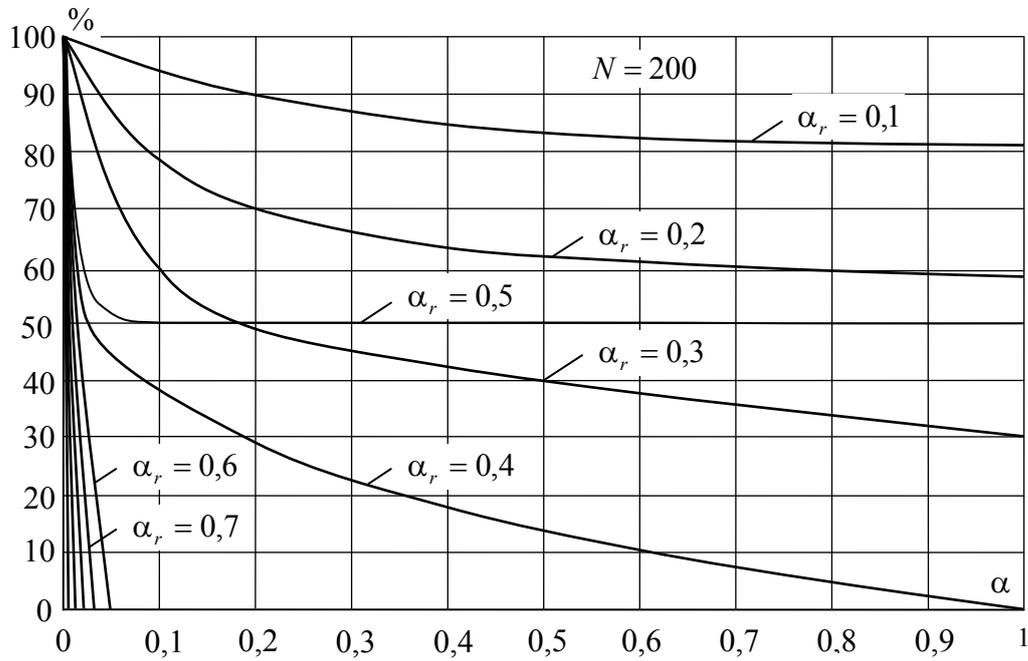


Рисунок 5 – Зависимость вертикального раскрытия глаз-диаграммы от коэффициента скругления спектра

В работе [5] исследование влияния ограничения спектральной плотности селективных сигналов в области верхних частот на величину МСИ было проведено с использованием среды MatCad 2000i Professional. При этом отсутствовала наглядность процесса моделирования, однако данный недостаток компенсировался повышенной скоростью выполнения расчетов.

В заключении следует отметить, что разработанная в среде визуального программирования Agilent VEE Pro 6 блок-схема (см. рис. 2) представляет собой универсальную имитационную модель, позволяющую оценивать по единому критерию влияние различного рода линейных искажений (в том числе неравномерности АЧХ и нелинейности ФЧХ) селективных сигналов на величину МСИ и, в конечном счете, на помехоустойчивость передачи информации.

### **Литература**

1. Сукачев Э.А., Скопа А.А., Гардыман Ж.А. Оценка искажений сигналов в системах с коррелятивным кодированием и угловой модуляцией. Ч. 2 // Труды УНИИРТ. – 1996-97. – №4(8)-1(9). – С. 91-96.
2. Сукачев Э.А., Ильин Д.Ю. Влияние ограничения спектра на форму сигнала в системе с парциальным откликом класса 4 // Труды УНИИРТ. – 2000. – №2(22). – С. 83-88.
3. Пантелеев В.В., Ланько А.А., Гаверилук М.С. Моделювання в середовищі HP VEE способів виділення тактової синхронізації // Праці УНДІРТ. – 1996. – №1(5). – С. 56-59.
4. Гаверилук М.С., Ланько А.А. Перші кроки в Agilent VEE: Посібник. – Одеса: ОНАЗ.– 2002. – 36 с.
5. Сукачев Э.А., Арбузников В.А., Лабунский В.А. Исследование влияния ограничения спектра // Зв'язок. – 2003. – №4. – С. 61-63.
6. Лабунский В.А. Метод определения искажения сигналов вследствие ограничения спектра // Труды УНИИРТ. – 2003. – №2-3(34-35). – С. 91-92.
7. Птачек М. Цифровое телевидение: Теория и техника: Пер. с чеш. / Под ред. Л.С.Виленчика. – М.: Радио и связь, 1990. – 528 с.