

Корифеи теории цифровой связи

Уважаемый читатель! 2008 год для теории цифровой связи можно считать трижды юбилейным. Действительно, 75 лет минуло с 1933 г., когда В.А.Котельников опубликовал фундаментальную теорему, получившую впоследствии его имя; 60 лет назад Клод Шеннон опубликовал свою работу, заложившую основы теории информации; и ровно 50 лет назад А.Г.Зюко сформировал базу современной теории эффективности цифровых телекоммуникационных систем. Эти юбилейные даты послужили поводом для решения редколлегии журнала опубликовать серию очерков, объединенных рубрикой «Корифеи теории цифровой связи» посвященную этим известным ученым. Очерки поручено подготовить члену редколлегии проф. Банкету В.Л.

ИСТОКИ ТЕОРЕМЫ ОТСЧЕТОВ

Банкет В.Л.

THE ORIGINS OF THE SAMPLING THEOREM

Banket V.L.

Аннотация. Излагается история создания теоремы отсчетов.

Abstract. The evaluation history of the Sampling Theorem is given.

Вопрос: В ВУЗах связи в курсе «Теория электрической связи» излагается теорема В.А.Котельникова, которая именуется именно так во всей русскоязычной литературе. В то же время, в западной литературе ее называют теоремой Шеннона или же теоремой отсчетов. Как же все-таки правильно называть эту теорему?

В.А.Котельников: Второе название «теорема отсчетов» следует считать точным, поскольку оно соответствует существу дела: дает ответ на вопрос о том, как часто надо брать отсчеты при дискретизации узкополосного сигнала. Над формированием доказательства теоремы работали многие, поэтому, если идет речь о персоналиях, эту теорему следует именовать теоремой Уиттекера-Котельникова-Шеннона. Это будет точно соответствовать хронологии событий.

Из записи интервью с академиком РАН В. А. Котельниковым, г. Грац, Австрия, Международный конгресс по астронавтике, октябрь 1995 г.

Основой представления непрерывных сообщений в цифровом виде являются, как известно, процедуры *дискретизации* и *квантования* и путь к теореме отсчетов, дающей ответ на вопрос о том, как часто надо производить отсчеты непрерывной функции сигнала, был достаточно долгим. Первыми на эту дорогу вступили инженеры-практики. Попытки одновременной передачи нескольких непрерывных сигналов по однопроводной линии связи начались сразу вслед за первым успехом телеграфии по проводам в 1840 г. Первые предложения использовать временное мультиплексирование с применением синхронно вращающихся коммутаторов на передаче и приеме последовали от

F.C.Bakewell (1848), *A.V.Newton* (1851) и *M.B.Farmer* (1853) [1]. Технически более совершенный метод был реализован Бодо (*J.M.E.Baudot*, 1874) [2]. Успехи «многократной» телеграфии побудили инженеров применить идеи временного мультиплексирования для передачи телефонных разговоров с применением быстро вращающегося коммутатора. Первая демонстрация временного мультиплексирования состоялась в 1891г. (*F.J.Patten*). Частота вращения распределителей определялась экспериментально, по качеству речи. Отмечалось, что наилучшие результаты могут быть получены при скорости вращения распределителей, соответствующей, говоря современным языком, частоте 4300 отсч./сек. В то же время было установлено, что частота отсчетов должна соответствовать частоте высших частотных компонент телефонного сигнала. Если учесть, что полоса телефонной аппаратуры в то время не превышала 2 кГц, то можно установить, что эти практические рекомендации вполне соответствуют современной теореме отсчетов. Необходимо отметить, что все последующие разработки вплоть до 30-х годов прошлого столетия, базировались на эмпирических соображениях и экспериментальных данных о связи частоты взятия отсчетов со спектральными свойствами передаваемых сигналов.

Теоретики к решению проблем дискретизации подключились значительно позже. Первое предложение аппроксимации функций по эквидистантным отсчетам с использованием базиса вида $\{(\sin x)/x\}$, было опубликовано в 1908 г. Однако автор *S.J.V.Poussin*, не вскрыл связи между частотой следования отсчетов и скоростью изменения аппроксимируемой функции. Этот недостаток исправил *E.T.Whittaker* (1915 г.), опубликовавший интерполяционную формулу в современном виде [3].

По мнению многих ученых, первым, кто дал точную формулировку теоремы отсчетов и указал области ее применения в сфере связи, как для низкочастотных, так и для полосовых сигналов был В.А. Котельников (1933г.). Однако публикация статьи В.А.Котельникова в малоизвестных трудах конференции [4] не обеспечила быстрого признания приоритета автора в среде ученых и в последующие годы его результаты неоднократно переоткрывались. Даже в некоторых современных источниках можно найти, например, упоминание теоремы *I. Someya* (Япония), опубликовавшего свой вариант теоремы отсчетов в 1949 г., хотя именно в это же время К. Шеннон писал, что "теорема отсчетов представляет общеизвестный в теории связи факт".

Судьба подарила автору этой заметки возможность быть знакомым и общаться с академиком РАН В.А.Котельниковым. Это было в университетском городке Грац (Австрия), на Международном конгрессе по астронавтике. Я не упустил возможности порасспрашивать Владимира Александровича о том, как он пришел к доказательству теоремы. Ответ был таким: «В 1930 году я поступил в аспирантуру при Академии наук. Тогда аспирантура была новым делом, никто ничего не знал, и мне сказали: «Ищи задачу сам!». В то время я имел хорошую математическую подготовку и занялся вопросами интерполяции функций. Оказалось, что теория интерполяции адекватна задачам восстановления сигнала по отсчетам».

На мой вопрос В. А. Котельникову об авторстве теоремы отсчетов был дан ответ, вынесенный в эпиграф этой заметки.

Литература

1. *K.E.Zetsche*. Geschichte der elektrischen Telegraphie. – Berlin:Springer Verlag, 1877.–156 p.
2. *A.E.Granfeld*. Die Mehrfach Telegraphie auf eine drahte. –Vienna: Hartleben's Verlag, 1885.–120p.
3. *E.T.Whittaker*. On the functions which are represented by the expansions of the interpolation-theory//Proc.Roy. Soc.,Edinburg. Vol.35,1915–pp.1565-1596.
4. *Котельников В.А.* О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи//Материалы по радиосвязи к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции связи.–М:Всесоюзный энергетический комитет, - январь, 1933.