

УДК 621.391

И.В. ТРОЦИШИН, Г.Ю. ШОКОТКО

Одесская национальная академия связи имени А.С. Попова

## ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ РАДИОСИГНАЛОВ С АПРИОРИ НЕИЗВЕСТНЫМ ВРЕМЕНЕМ ДОСТУПА К СИГНАЛУ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Рассмотрено принципы построения методов и средств измерения частотных параметров радиосигналов на основе существующих подходов, включая последние разработки. Предложены новые пути повышения точности и быстродействия измерения, при ограниченном времени доступа к сигналам. Любое измерение есть аналого-цифровым преобразованием, - множество значений измеряемой величины, заменяются выбираемым цифровым эквивалентом. Процедура преобразования значений непрерывной физической в отсчеты выборки ее цифровых значений называется квантованием (по уровню, или по времени), и сопровождается появлением погрешностей квантования которые разделятся на методические (зависят о выбранного способа квантования, измерительного преобразования), и инструментальные, вызваны конечной разрешающей способностью практических схем и элементов реальной схемы измерителей. Вопрос точности и быстродействия измерений является основным вопросы теории измерений и теории информации, а с технической или технологической точек означает: тот, кто в полной мере достиг указанного улучшения является лидером в научно - техническом прогрессе и экономической (военной ) мощи страны.

Ключевые слова: методы измерения частоты, точность измерения, быстродействие.

I.V.TROZYSHYN, G. U.SHOKOTKO

Odessa national academy of telecommunicationsn.a. A. S. Popov

## PROBLEMS WITH RADIO FREQUENCY MEASUREMENT PRIORI UNKNOWN TIME ACCESS TO THE SIGNAL AND ITS SOLUTIONS

Principles of construction methods and measuring radio frequency parameters based on existing approaches, including the latest developments. Suggest new ways to improve accuracy and speed measurement, with a limited time to the signals. Any measurement is analog-to- digital conversion - set of measured values are replaced with a selectable digital equivalent .The procedure of converting the continuous physical counts in its digital sampling values is called quantization (level or time ), and accompanied by the appearance of quantization errors are divided into methodological (depending on the chosen method of quantization, measurement conversion), and instrumental caused by a resolution of the final practical circuits and circuit elements of real gauges. Question the accuracy and performance measurement is the main issues of measurement theory and information theory, and a technical or technological point means one who fully reached the threshold for improvement is a leader in the scientific - technical progress and economic (military) power of the country.

Keywords: methods of measuring frequency, accuracy, speed.

### Обзор цифровых методов измерения частоты и тенденции дальнейшего развития

Современные цифровые методы измерения частоты являются наиболее точными и обеспечивают достаточно высокое быстродействие, и имеют выходной сигнал в виде цифрового кода, что позволяет их использовать в автоматизированных РТС и ТКС. Для обеспечения отображения последних мировых достижений за основу возьмем разработки ведущего производителя частотно-измерительной аппаратуры фирмы PENDULUM INSTRUMENTS (Швеция), которая предложила следующую хронологию и уровне развития цифровой частотометрии рис. 1 [1-3, 5, 6, 8].

Tracing the evolution of time stamping over multiple generations of instruments			
EVOLUTION	TIME FRAME	TYPE	RESOLUTION FOR MEASURING TIME OF 1 s
Generation 1	1970	Conventional counters	2 to 8 digits
Generation 2	1980	Reciprocal counters	7 to 9 digits
Generation 3	1990	Interpolating reciprocal counters	9 to 11 digits
Generation 4	2000	Continuously time stamping counters with regression analysis*	12 digits

\*Continuous time stamping was applied for the first time in modulation domain analyzers from Hewlett-Packard Co. (Santa Clara, CA, now Agilent Technologies) at the end of the 1980s, albeit without improvement in resolution.

Рис. 1. Хронология развития цифровой частотометрии

Характерним параметром для сравнения здесь выступает различие частотомера в количестве десятичных разрядов за время измерения 1 секунда. Поэтому именно в таком порядке рассмотрим особенности методов цифрового измерения частоты. Прежде приведем в хронологическом порядке образцы представителей измерителей частоты соответствующих определенным типам (рис.2.) [1, 7, 17, 20].

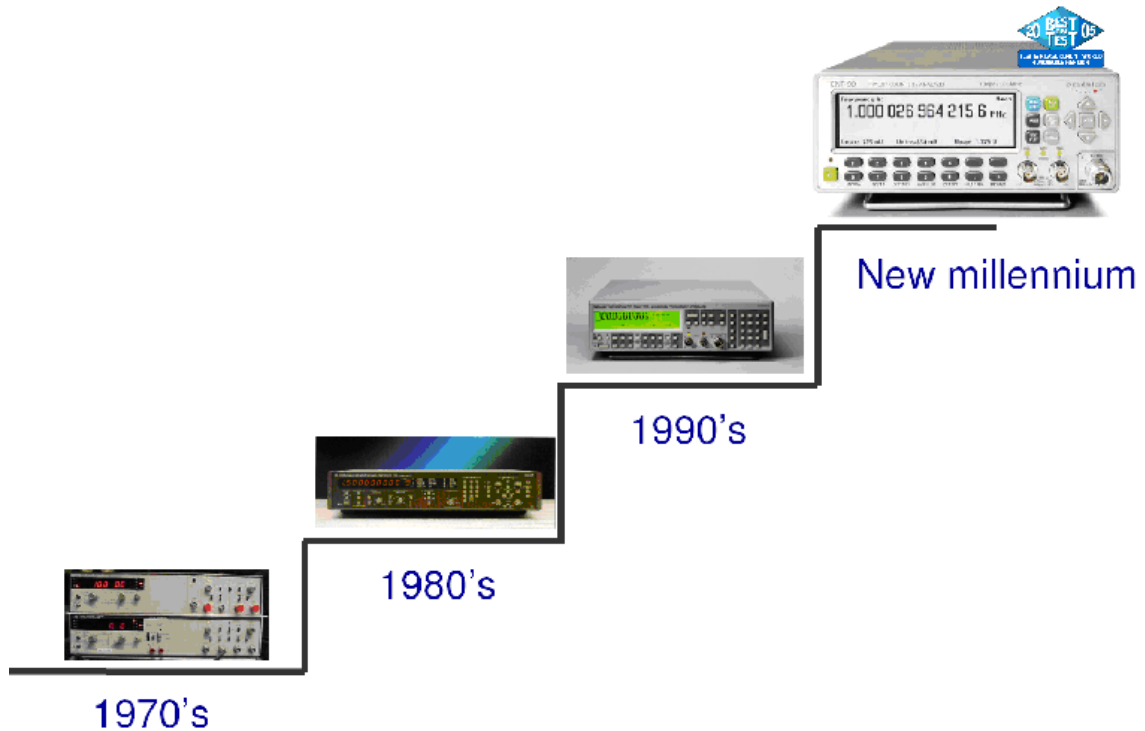


Рис. 2. Представители цифровых измерителей частоты и их хронология

Исторически первым был классический метод измерения частоты, который является очевидным выбранной математической модели параметра частоты периодического гармонического сигнала Рисунок 3, Который получил название электронно-счетного частотомера (дискретного счета, прямого счета) [7, 17, 19].

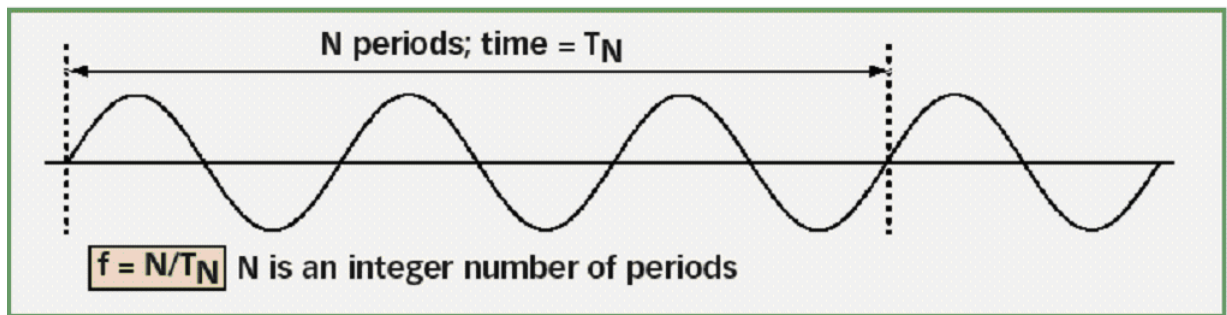


Рис. 3. Принцип измерения частоты по методу дискретного счет

Метод достаточно удобный и простой, а выбирая время измерения кратный 1с, количество подсчитанных импульсов будет непосредственно в Гц, но соответственно, если время измерения 1 миллисекунда, то частота будет в кГц.

Вполне естественным выглядит попытка борьбы с указанной погрешностью путем использования так называемого измерения частоты через измерения периода, и вычисление частоты по известной формуле (рис.3), международное название метода: Reciprocal counting (обратного счета). Типичные зависимости погрешностей измерения и разрешения приведены на рис. 2.7 [4, 11, 19].

Указанные частотомеры выпускались и выпускаются массово, но при увеличении входных частот более 10 МГц, они также начинают давать довольно значительные погрешности, уже за счет метода дискретной счета при измерении периода. Характерным является сравнение методов, которое представлено на рис. 4 [1, 10, 11, 19].

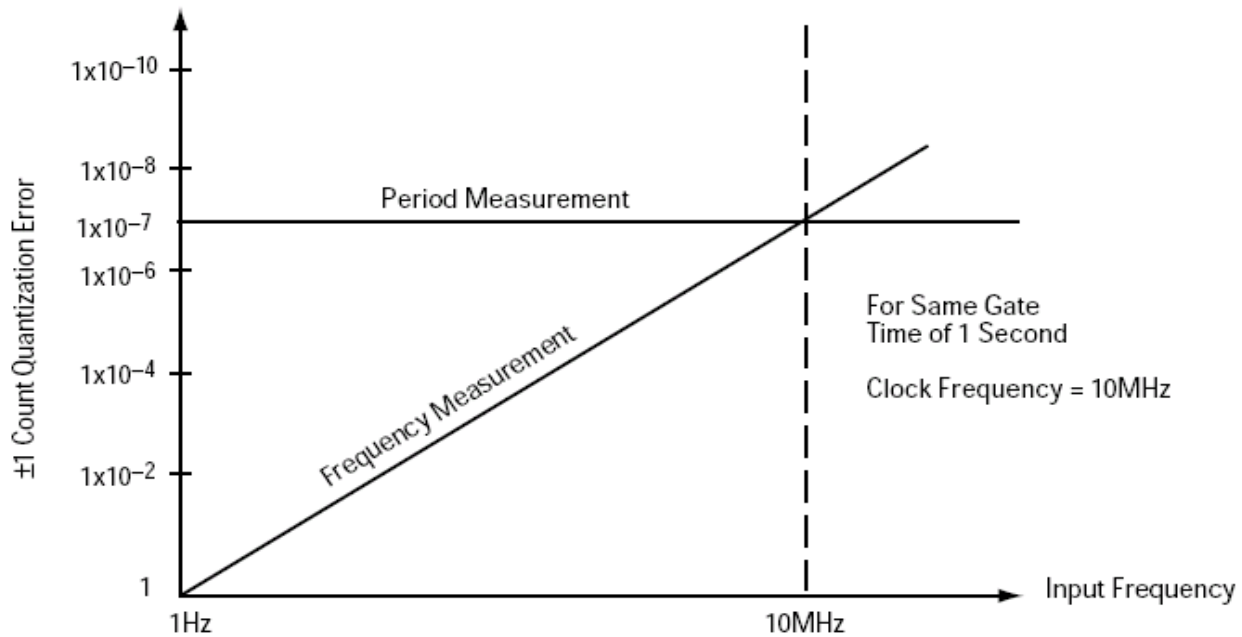


Рис. 4. График сравнения эффективности методов последовательной счета и измерения через период

Поэтому очевидным стало использование известных методов интерполяции для уменьшения погрешности дискретности измерения периода (временного интервала), что и дало название новому классу частотомеров вычислительные с интерполяцией (например двойной нониусный). Структурная схема, временные диаграммы, поясняющие работу типовых схем интерполяции, и фото частотомера, приведены на рис. 5-6 [7, 17, 20].

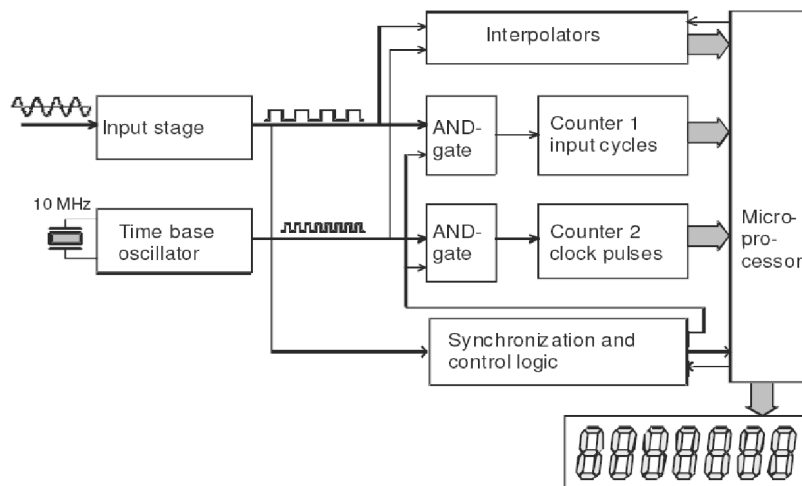


Рис. 6. Структурная схема частотомера с интерполятором

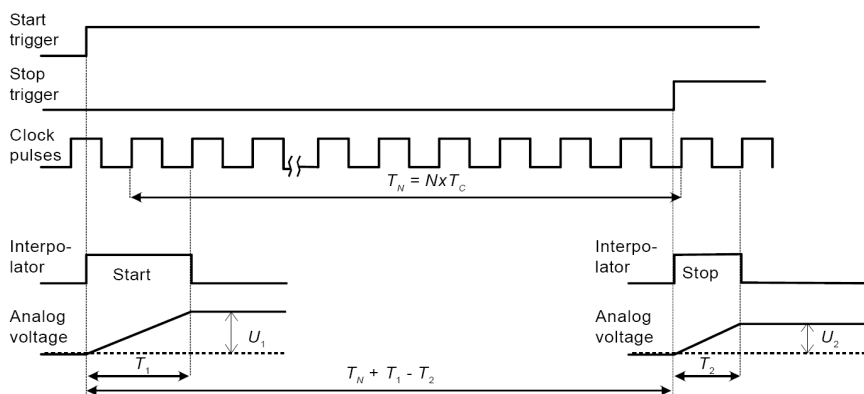


Рис. 7. Временные диаграммы, поясняющие работу схемы интерполяции по методу двойного амплитудного преобразования

Казалось бы, что все проблемы решены, но с переходом человечества к тотальному использованию компьютерной техники, на первый план вышла уже не точность измерений, в нашем анализе она

представлена обобщенным параметром разрешение за время измерения 1с (didits/s frequency resolution), а именно скорость получения информации с максимально возможной точностью, особой остро стоит этот вопрос в современных РТС и ТКС, где человек полностью выведена из процедуры измерения и время в 1с, или даже 0, 1с уже не является достаточным, для компьютеризованных систем.

Поэтому последним прорывом, по мнению разработчиков частотомера CNT -90, является метод частотных выборок (Time stamping counters), для которого введен высказывания " Если CNT-90 не сможет выполнить измерение, то этого не сможет ни один другой счетчик !" [7]. На рис. 8, и 9 приведены структурная схема и фото такого частотомера.

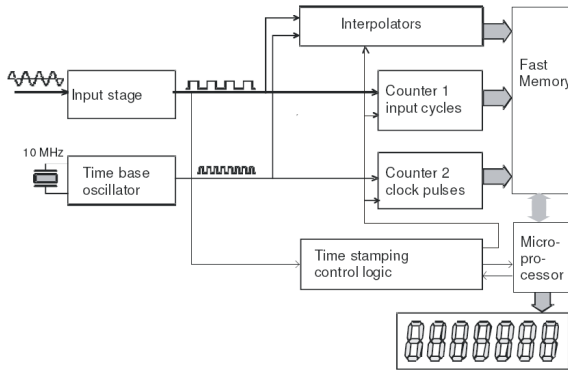


Рис. 8. Структурная схема частотомера за методом выборок



Рис. 9. Серийный частотомер CNT-90 (лучший у 2005 году)

Сравнительные характеристики рассмотреть методов измерения частоты и частотомеров приведена на рис. 10 [7, 17, 20].

**Классический и фазочастотный подходы к определению и измерения частоты в радиотехнических и телекоммуникационных системах**

Для решения поставленных в исследовании задач и получения научной новизны и практической ценности результатов исследования прежде всего необходимо четко дать определение параметра, который подлежит исследованию и установление особенностей его измерения именно в РТС и ТКС.

Классический подход предполагает, как было указано в (1), что частота это:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} [Гц], \tag{1}$$

Графически это можно изобразить как во временной так и частотной областях, как рис. 11а, б, что и является основой классических методов измерения частоты [11, 16].

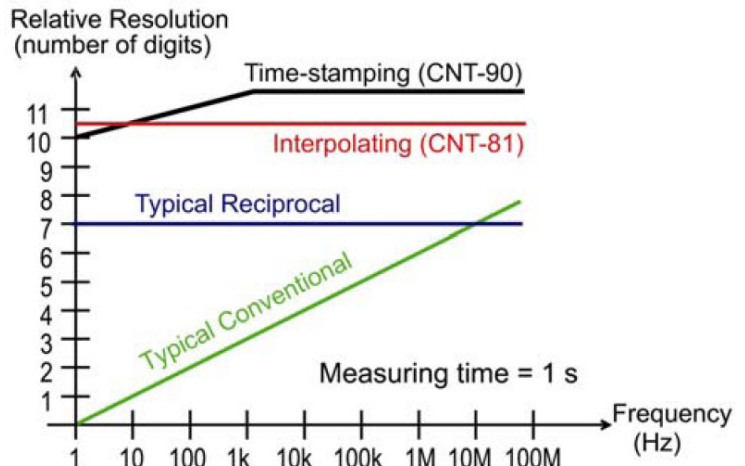


Рис. 10. Сравнение характеристик современных цифровых методов измерения частоты и частотомеров

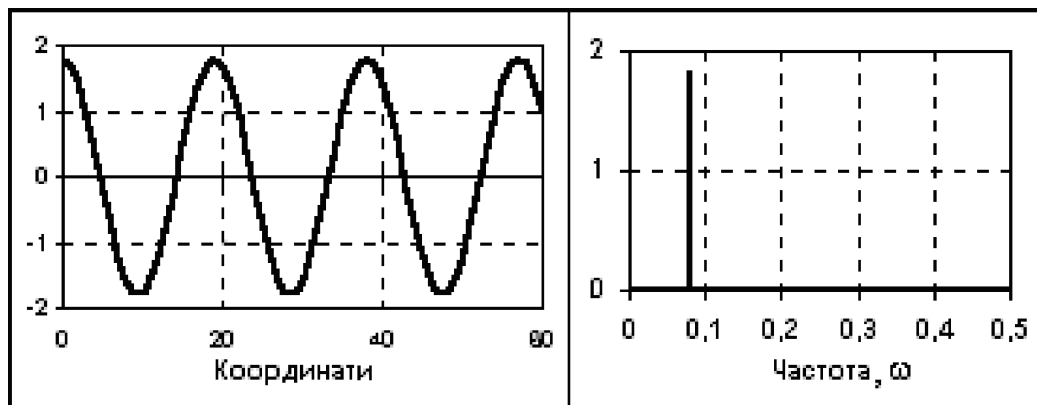


Рис. 11. Изображения гармонического сигнала с частотой, а) - в координатах времени б) - в координатах частоты

В то же время в любой реальной РТС и ТКС сигналы принципиально отличаются от классических даже на коротких промежутках времени, где типично сигнал типа "радиоимпульс" [19, 20], и его можно считать основным типом сигналов, частоту которых нужно измерять не только с высокой точностью, но и за промежуток времени, который меньше его продолжительности, или даже когда его продолжительность заранее (априори) неизвестна. Визуально изображение таких сигналов в тех же самых координатах иметь вид рис. 12.

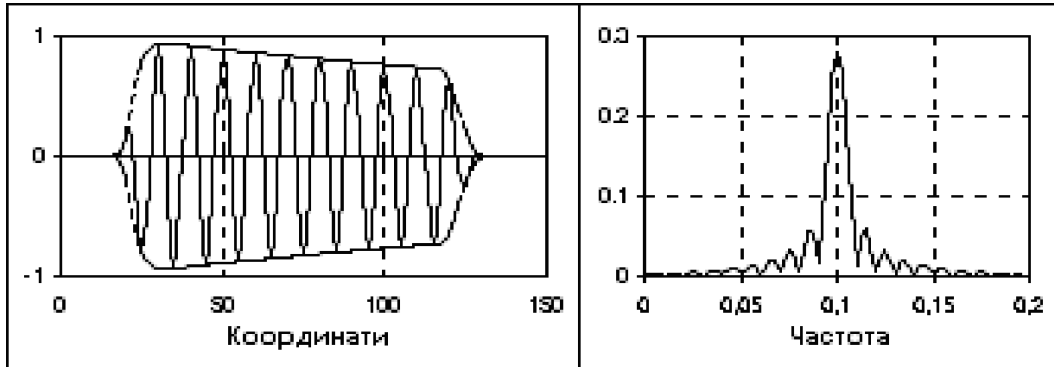


Рис. 12. Изображение радиоимпульсного сигнала с частотой, а) - в координатах времени б) - в координатах частоты

Еще большую наглядность дает использование трехмерного совместного графика изображения радиоимпульса и его поведения в координатах время (Time), частота (Frequency), амплитуда (voltage) [7], изображенный на рис. 13.

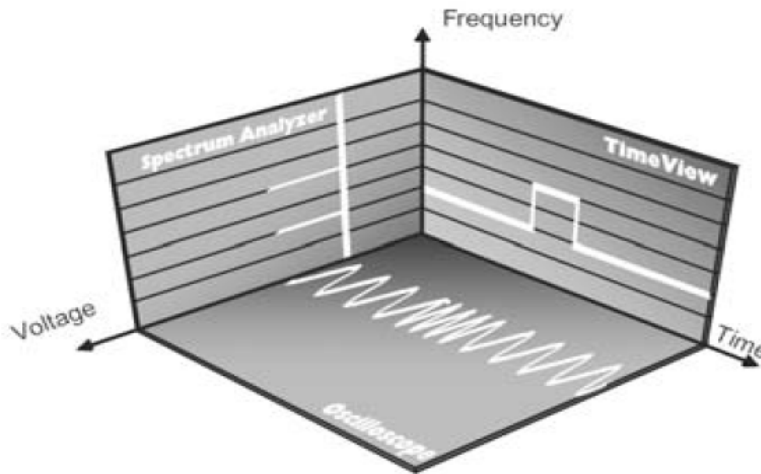


Рис. 13. Трехмерное изображение радиоимпульсного сигнала

Очевидным является факт, что в спектральной плоскости говорить о "частоте" проблематично, так как для сигналов с конечным временем существования вместо одной спектральной линии всегда будет размыт "спектр", вызванный особенностями спектрального анализа. Осциллографические методы дают визуальную картину верно, но точность измерений во временной области в них ограничена и значительно уступает любому частотомер [14, 15]. Поэтому только цифровые измерители частоты, но на новых подходах и методах, способны решить указанные задачи. Таким путем является использование фазочастотной подхода к определению частоты [12, 20], и использование метода коинциденции [18, 20].

При этом частота определяется как производная от полной фазы:

$$\omega(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt}, \tag{2}$$

и никаких ограничений на время существования не налагается, потому, что для нахождения производной время доступа к сигналу не является критическим, в отличие от интеграции или определения обратной величины [20]. Графический вид представления зависимости частоты сигнала во времени для классических определений и с использованием фазочастотной подхода показано на рисунке 14.

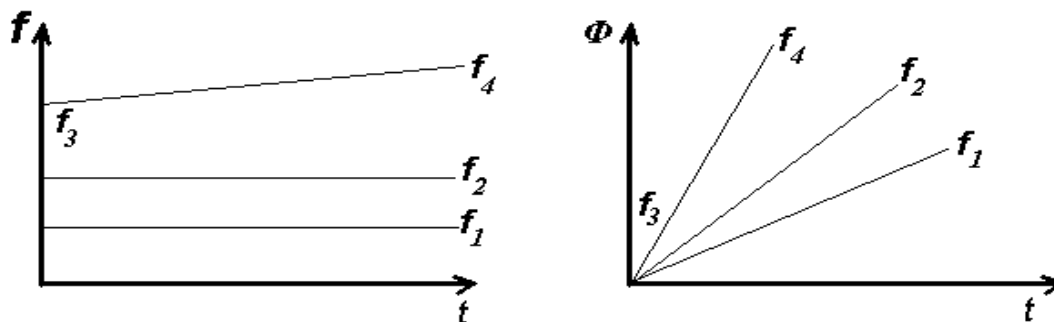
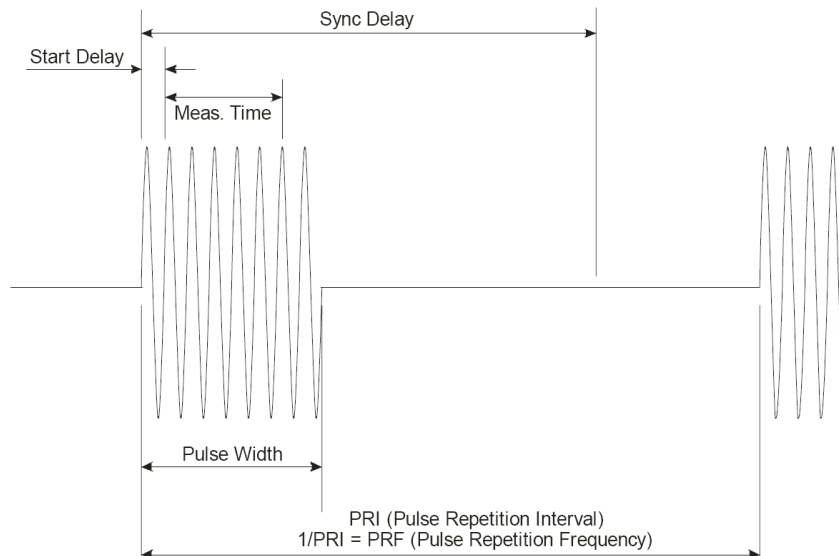


Рис. 14. Представление зависимости частоты сигнала во времени для классических определений и по использованию фазочастотной подхода

**Проблемы и особенности измерения частоты в радиотехнических и телекоммуникационных системах**

Как уже отмечалось выше, измерения параметра - частота, в современных РТС и ТКС является определяющим, ведь без него, их вообще невозможно представить. В отличие от огромного количества различных методов измерения частоты, включая классические подходы теории оптимального обнаружения [1-3, 5, 6, 8], для нашего случая, когда сигнал имеет достаточный уровень сигнал/шум, характерно сигнал который имеет вид рис. 15.



**Рис. 15. Типичный радиопульсового сигнала в современных РТС и ТКС**

Использование международных обозначений параметров позволит унифицировать терминологию, и упростить изложения именно особенностей таких измерений.

С рис. 15 наглядно видно, что сигнал имеет форму "куска" синусоиды, частоту которого нужно определить с максимально возможной точностью. Использование многих известных и рассмотренных выше методов становится невозможным, по той особенности что в реальных системах время существования не только достаточно мал (единицы судьбы миллисекунды и менее), а довольно часто время его существования априори неизвестен.

Таким образом, несмотря на наличие большого количества методов измерения, как частоты, так и фазы, они, каждый в отдельности, так и вместе взятые, могут решать широкий круг измерительных задач для частотных и фазовых параметров радиосигналов, а также и обычных электрических сигналов переменного тока, время доступа к которым ограничен (стробирования) [1-3, 5, 6, 8].

Поэтому пришло время создания и разработки единой концепции фазочастотной подхода к проблеме повышения (непотере) точности при повышении быстродействия измерения фазовых и частотных параметров радиосигналов. Методология создания теории фазочастотных измерений и преобразований радиосигналов (ФЧИ и ПР) заключается в системном подходе к выяснению сути физических процессов (принципов), которые в действительности происходят в реальных условиях измерения, путем использования следующих последовательностей действий и введения определений.

**Принципы и направления разработки методов измерения частоты к сигналам с априори неизвестным временем существования.**

Генеральная линия Квантовой теории измерительного преобразования (КТИП), ЭТО НЕ СОЗДАВАТЬ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ, а ИСКЛЮЧАТЬ условия их образования.

Для частотомера последовательного счета, погрешность возникает из привязки времени к интервалу времени (1с), при этом разрешении по частоте (методическая погрешность) составляет 1Гц, что никакого отношения к измеряемой частоте не имеет, но получить разрешение меньше 1Гц, за время меньше 1с - НЕВОЗМОЖНО.

Метод обратного счета, имеет МЕТОДИЧЕСКУЮ погрешность, тоже, в следствии не только введении времени измерения, но и привязке его к опорной частоте (образцовой МЕРЕ), которая приводит к таким-же ограничениям!!!

В рамках КТИП предлагается не создавать условий для возникновения МЕТОДИЧЕСКОЙ погрешности вызванной УСТАНОВЛЕНИЕМ времени измерения, именно до начала измерений!!

Например, имея два сигнала с разными частотами, можно наблюдать совпадение фронтов одноименных нуль-переходов, которое будет происходить с разностной частотой. Начинаем измерение (счет импульсов опорной и измеряемой частот) при первом совпадении, а заканчиваем при последующем (а не через 1с, или другое время задаваемое ЧЕЛОВЕКОМ).

Метод такого измерения называют методом коинциденции (двойного совпадения), при этом шкала измерительного преобразования определяется через отношение  $A/B$ , где  $A$  и  $B$  целые числа полных фазовых циклов измеряемой и опорной частот, никаких МЕТОДИЧЕСКИХ погрешностей здесь нет!!

Шкала отношений  $A/B$  есть наиболее мощной и универсальной в теории шкал, и с нее можно получить, как частный случай - более простые. Поэтому она реализует достижение наивысшей точности и быстродействия измерения частоты, по сравнению с другими известными методами,

Причем, разрешающая способность шкалы отношений (коинциденции) определяется значением величины знаменателя ( $B$ ), и уже при значениях в 1000 дает шкалу коинциденции с 300тыс точек, а увеличение в двоичной системе исчисления может быть оценено как в «два в степени два К минус два» - для  $k=10$ , будет  $2 \times 10^{-2} = 18$ , что дает выигрыш в 300 раз, от 1000, что дает 300тыс. точек шкалы.

Увеличивая до  $k=20$ , выигрыш составит  $2 \times 20^{-2} = 38-20 = 18$  двоичных разрядов!!, относительно миллиона, или порядка 250 миллиардов точек шкалы, и т.д.

Но, «методическая погрешность метода коинциденции» значительно меньше ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ уже при емкости счетчиков 10000-100000, которые практически редко лучше погрешности 10 в -9 или даже 10 в -6.

При этом время измерения, а точнее МАКСИМАЛЬНОЕ ЕГО ЗНАЧЕНИЕ зависит только от емкости счетчика (100000) и значения опорной частоты 1ГГц, даст значение 0,1 миллисекунды времени измерения, при разрешении меньше единиц Герц, в диапазоне частот 10МГц-10ГГц!!

Значение результата измерений частоты определяется умножением дроби  $A/B$  на значение опорной, а количество цифр результата (разрешающая способность) выбирается из указанного выше соотношения точек Квантовой шкалы измерительного преобразования (КШИП), а достоверность каждого из младших разрядов может оцениваться «глубиной заполнения счетчиков», которые выбираются на уровне выше разрешающей способности по частоте.

### Выводы

Любое измерение есть аналого-цифровым преобразованием, - множество значений измеряемой величины, заменяются выбираемым цифровым эквивалентом.

Процедура преобразования значений непрерывной физической в отсчеты выборок ее цифровых значений называется квантованием (по уровню, или по времени), и сопровождается появлением погрешностей квантования которые разделятся на методические (зависят о выбранного способа квантования, измерительного преобразования), и инструментальные, вызваны конечной разрешающей способностью практических схем и элементов реальной схемы измерителей.

Например, погрешность измерения частоты зависящая от времени измерения (доступа к сигналу) – методическая, а погрешности вызванные нестабильностью образцовых генераторов, нестабильностями и джиттером срабатывание элементов – инструментальные.

Методические погрешности создает ЧЕЛОВЕК который выбирает метод измерения (последовательного счета, обратного счета), и создав методическую погрешность, потом ГЕРОИЧЕСКИ борется с ней (интерполяция, временные выборки и т.п.).

С инструментальными погрешностями можно бороться, улучшая качество элементов схем и сигналов, например: сигнал/шум, нестабильности, джиттер, и т.п.

Вопрос точности и быстродействия измерений является основным вопросы теории измерений и теории информации, а с технической или технологической точек означает: тот, кто в полной мере достиг указанного улучшения является лидером в научно - техническом прогрессе и экономической (военной) мощи страны.

Установлено и доказано, что для реально существующих сигналов (которые объединены в общий класс и назван радиосигналами), имеющие начало и конец, и все они имеют принципиальные отличия от идеальной "синусоиды". Так, для них не существует понятий "частота" и "фазовый сдвиг", в их классическом понимании которое регламентируется ГОСТами, ДСТУ, так как, эти параметры, как уже указывалось, вводятся и "существуют" только для идеальных сигналов (синусоида без начала и конца), а это абсолютная идеализация.

### Литература

1. A High Frequency Reference Module / Valpey Fisher Corporation // Microwave Journal. - 2005, April.
2. Application note 1473. Agilent Technologies. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.agilent.com>.
3. Hernández D.B., Tyrsa V. E. Método para la medición de frecuencia usando aproximaciones racionales. Revista Mexicana de Física, 52 (4) 359-364. 2006.
4. Fundamentals of the Electronic Counters . Application Note 200. Electronic Counter Series. Hewlett-Packard Co.
5. Fundamentals of the Electronic Counters . Application Note 200. Electronic Counter Series. Hewlett-Packard Co.
6. Busrtseva L., Tyrsa V. E. Maedición de la frecuecnia según el método de las aproximaciones racionales.

Electro 2002. Octubre 2002. ISSN 1405-2172. pp 441-446.

7. Pat. USA . №3924183. J. C. Fletcher, Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3, 924,183. 1975.

8. А.с. 1191839 СССР, МКИ G 01 R 23/02. Устройство для сравнения частот/ В.Е.Брагин, А.В.Макаров (СССР). Опубл. 15.11.85, Бюл. №42. – 5 с.

9. Автоматизация фазоизмерительных устройств и систем : учеб. пособие / Ю. А. Скрипник, А. Ф. Яненко, И. Ю. Скрипник, Л. А. Глазков. - К. : УМК ВО, 1992. – 204 с.

10. Троцишин І.В. Спосіб побудови атенюатора-подільника Троцишина. Патент України 100581. МПК (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06 (200), Опубліковано 10.01.2013, Бюл. № 1

11. Гула О.І. Розробка методу вимірювання фазових зсувів / Гула О.І., І.В.Троцишин, О.П.Войтюк // Вісник ХНУ. - 2011. - №5. - Технічні науки. - С.159-162;

12. Гула. І. Розробка методів вимірювання фази на основі принципів коінциденції / І. Гула, О. Войтюк, І.Троцишин // Матеріали V ої Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми радіо-електроніки, телекомунікацій та приладобудування" СПРТП-2011 19 – 21 травня 2011 року, м. Вінниця. - С. 113-114.

13. Гуляс О.Й. Вимірювання постійної напруги методом коінциденції / О.Й.Гуляс, О.П.Войтюк, І.В.Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2011. - №1. - С89-93.

14. Троцишин І. В. Теорія фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів та напрямки її застосування у військовій техніці / І. В. Троцишин // Пріоритетні напрямки підвищення ефективності діяльності правоохоронних структур і військових формувань України : матеріали наук. – практ. конф., Хмельницький, 17 травня 2007р. Хмельницький – С. 70-71.

15. Троцишин І. Теорія фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів і галузі її застосування / І. Троцишин // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007): матеріали III-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Вінниця, 31 травня - 2 червня 2007р. Вінниця – С. 53-54.

16. Троцишин І.В. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів / Троцишин І.В. Частота, кут фазового зсуву, повний фазовий зсув: - ілюзії та реальність// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –2005. -№2. –С. 193-198.

17. Троцишин І.В. Вимірювання частоти за методом коінциденції та особливості утворення шкали вимірювального перетворення / І.В. Троцишин І.В., О.П. Войтюк., Л.В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький. – 2009. - №3. –Технічні науки. – С.240-244.

18. Троцишин. Ієрархія цифрових методів вимірювання частоти та методологія їх застосування у радіотехнічних та телекомунікаційних системах / І.В. Троцишин, ВТ. Кондратов, Л.В. Троцишина. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2008. - №2. - С. 226-233.

19. Троцишин. Утворення квантованих значень вимірювального перетворення на основі дробово-раціональної шкали вимірювань / І.В. Троцишин, ВТ. Кондратов, Л.В. Троцишина. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2009. - №1. - С. 12-20.

20. Троцишина Л.В. Вимірювання частоти за методом коінциденції / Л.В.Троцишина, О.П. Войтюк, І.В. Троцишин. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2005. - №2. - С. 203-213.

#### References

1. A High Frequency Reference Module / Valpey Fisher Corporation // Microwave Journal. - 2005 , April.
2. Application note 1473 . Agilent Technologies. [ Electron resource] . - Mode of access : [http:// www.agilent.com](http://www.agilent.com).
3. D. Hernández B., V. E. Tyrsa. Método para la medición de frecuencia usando aproximaciones racionales. Revista Mexicana de Física, 52 (4) 359-364 . 2006 .
4. Fundamentals of the Electronic Counters. Application Note 200. Electronic Counter Series. Hewlett-Packard Co.
5. Fundamentals of the Electronic Counters. Application Note 200. Electronic Counter Series. Hewlett-Packard Co.
6. L, Busrtseva, V. E. Tyrsa. Maedición de la frecuecnia según el método de las aproximaciones racionales. Electro 2002 . Octubre 2002 . ISSN 1405-2172. pp 441-446.
7. Pat. USA. Number 3924183 . J. C. Fletcher, Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3 , 924.183 . 1975 .
8. AS 1191839 USSR, MКИ G 01 R 23/02 . Device for frequency comparison / V.E.Bragin , A.V.Makarov (USSR). Publ . 15.11.85 , Bull . Number 42. - 5 seconds.
9. Automation devices and fazoizmeritelnyh System Works : Textbook. Benefit / YA Skrypnyk , AF Yanenka , IY Skrypnyk , LA eyes. - K.: CMD IN 1992 . - 204 .
10. 10 . Trotsishin I.V. Sposib pobudovi attenuator - podilnika Trotsishina . Patent of Ukraine 100581 . IPC (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/ 06 ( 200) , Opublikovano 10.01.2013 , Bull . number 1
11. Gula OI Rozrobka method vimiryuvannya phase zsuviy / Gula OI , I.V.Trotsishin , O.P.Voytyuk / News KNU . - 2011 . - № 5 . - Tehnichni science. - P.159 -162 ;
12. Gula. I. Rozrobka metodiv vimiryuvannya fuzzy on osnovi printsiyiv koitsidentsii / I.Gula , O.Voytyuk , I.Trotsishin // V Materiali oї Mizhnarodnoї naukovi - tehnicnoї konferentsii " Suchasni problemi radio - elektroniki , telekomunikatsiy that priladobuduvannya " SPRTP -2011 19 - 21 2011 travnya rock , m Vinnitsa . - S. 113-114 .
13. Gulyas O.Y. Vimiryuvannya postiynoi naprugi method koitsidentsii / O.Y.Gulyas , O.P.Voytyuk , I.V.Trotsishin // Vimiryuvanna that obchislyvalna tehnika in tehnologichnih process . - 2011 . - № 1 . - C89- 93.



14. I. V. Trotsishin . Teoriya phase frequency vimiryuvan that peretvoren radiosignaliv that napryamki її zastosuvannya have viyskoviy tehniitsi / I. V. Trotsishin // Prioritetni napryamki pidvischennya effektivnosti diyalnosti pravoohoronnih structures i viyskovih formuvan Ukrainy : materiali Sciences . - Pract . conf . , Khmelnytsky , 17 travnya 2007r . Khmelnytsky - S. 70-71 .

15. I. Trotsishin . Teoriya phase frequency vimiryuvan that peretvoren radiosignaliv i galuzi її zastosuvannya / I. . Trotsishin // Suchasni problemi radioelektroniki , telekomunikatsiy that priladobuduvannya ( SPRTP 2007 ) materiali III- Ji - Mizhnarodnoi naukovyi tehnicnoi konferentsii , Vinnitsa , 31 travnya - 2 chervnya 2007r . Vinnitsa - S. 53-54 .

16. I.V. Trotsishin . Vimiryuvannya that peretvorennya phase frequency parametriv / Trotsishin I.V. Frequency, phase zsuvu kut , povny phase zsu : - ilyuzii that realnist // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . -2005. - № 2 . -С . 193-198 .

17. I.V.Trotsishin I.V. Vimiryuvannya frequency over by kointsidentsii that osoblivosti utvorennya scale vimiryuvannogo peretvorennya / I.V.Trotsishin I.V. , O.P.Voytyuk , L.V.Trotsishina // News Khmelnytsky natsionalnogo universitetu . - Khmelnytsky . - 2009 . - № 3 . Tehnicni - science . - P.240 -244 .

18. I.V.Trotsishin . Ierarhiya digital metodiv vimiryuvannya frequency now that metodologiya ih zastosuvannya have radiotehnicnih that telekomunikatsiy with systems / I.V.Trotsishin , VT.Kondratov , L.V. Trotsishina . // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . - Khmelnytsky , 2008 . - № 2 . - S. 226-233 .

19. I.V.Trotsishin . Utvorennya value quantizer vimiryuvannogo transition tvorennya osnovi the shot - scale ratsionalnoi vimiryuvan / I.V.Trotsishin , VT.Kondratov , L.V. Trotsishina . // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . - Khmelnytsky , 2009 . - № 1. - S. 12-20 .

20. L.V. Trotsishina . Vimiryuvannya frequency over by kointsidentsii / L.V.Trotsishina , O.P.Voytyuk , I.V.Trotsishin . // Vimiryuvanna that obchislyuvanna tehnika in tehnologichnih process . - Khmelnytsky , 2005 . - № 2 . - S. 203-213 .

Рецензія/Peer review : 12.9.2013 р.

Надрукована/Printed :7.1.2013 р.

**УДК 621.3.095.21:621.3.018**

**К.Л. ГОРЯЩЕНКО**

Хмельницький національний університет

## **АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ СУМАРНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ БАГАТОШКАЛЬНОГО ФАЗОВОГО МЕТОДУ АНАЛІЗУ СТАНУ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ. ПОВІДОМЛЕННЯ 2**

*Розглянуто особливості застосування фазового методу визначення пошкоджень в провідниковій лінії при застосуванні обмежень, що накладаються властивостями об'єкту дослідження – провідниковою лінією. Визначено, що отриманий сумарний сигнал буде складатись з сигналів відбиттів, які мають різну частоту обертання вектору кута відбиття. Встановлено, що при застосуванні методів цифрового спектрального аналізу потрібно визначення складових сигналу при апіорі невідомих значеннях початкового зсуву фази, а також при апіорі нецілій кількості періодів, що попадають у вікно аналізу.*

*Ключові слова: вікно аналізу, початковий кут зсуву фази, зсув фази*

K.L. HORIASHCHENKO

Khmelnytsky National University

### **ANALYSIS OF SPECTRAL COMPONENTS FOR PHASE METHOD WITH MULTIPLIES FREQUENCIES FOR USE IN COMMUNICATION LINES. MESSAGE 2.**

*In article feature usage of the phase method with multiplies frequencies for determining damage in wiring line when applying constraints imposed properties of the object of study - conductor line. Found that lower frequency boundary is due to the stabilization parameter of line, upper boundary – by upper allowed frequency for signal passing.*

*Determined that the total received signal will consist of signal reflections that have different rotational speed of reflection angle. The analysing signal must always be within the allowable frequency. This leads to the fact that the reflection signals get additional value of phase shift as initial angle.*

*It is established that the usage of different methods of digital spectral analysis require to determine the signal components with unknown values of the initial phase shift, as well as with noninteger number of periods that fall within the window of analysis.*

*Keywords: window analysis, the initial angle of phase shift, phase shift.*

#### **Вступ**

Фазовий метод визначення стану провідникової лінії, що базується на відбиттях від пошкоджень є достатньо зручним інструментом для аналізу стану лінії. Простота аналізу отриманих даних широко застосовується в задачах радіонавігації, в задачах вимірювання відстаней до будь-якого об'єкту. В сучасних дослідженнях неодноразово вказувалось на однозначність в трактуванні отриманої інформації. Так в роботах [1, 2] показано застосування фазових вимірювань, а у [3] – принципи побудови ноніусних фазометричних вимірювачів.

#### **Постановка задачі дослідження**

В попередньо проведених дослідженнях – в роботі [4] було показано, що незважаючи на те, що сигнали відбиття у фазовому методі на кожній частоті є векторною сумою гармонійних сигналів на частоті зондування, але сумарний вектор буде змінюватись в залежності від частоти сигналу. Причина полягає у зміні сумарного кута зсуву фази в кожному випадку, для якого він визначається приростом кута зсуву фази для кожного відбиття від частоти. А отже, як це було показано, в першій частині роботи ([5]), має місце так зване обертання вектору відбиття (або еквівалентна йому за сенсом швидкість зміни кута зсуву фази відбиття) від частоти з певною кутовою швидкістю, яка визначається згідно виразу [5]: