

Обзор идеальной модели мгновенного измерителя частоты СВЧ диапазона Сапожников Д. В.¹, Гамиловская А. В.²

¹Сапожников Дмитрий Владимирович / Sapozhnikov Dmitry Vladimirovich – аспирант;

²Гамиловская Анастасия Вадимовна / Gamilovskaya Anastasiya Vadimovna – аспирант,
кафедра радиотехнических устройств и систем управления, радиотехнический факультет,
Омский государственный технический университет, г. Омск

Аннотация: в данной статье представлен обзор идеальной системы мгновенного измерения частоты, приведены области его применения, а также показана потенциально достижимая точность, которая может быть реализована с применением современных элементов компонентной базы.

Ключевые слова: частотный дискриминатор, мгновенный измеритель частоты, аналого-цифровой преобразователь, радиолокация.

621.37.037

В существующих системах радиоэлектронной борьбы и радиоэлектронной разведки, которыми оснащается современная военная авиация, возникает все большая необходимость в определении частоты исследуемого объекта. Эта информация необходима, например, для постановки пассивных помех, позволяя скрыться самолету с экранов радаров. Также данные о частоте необходимы для распознавания исследуемого объекта. Для достижения этих целей было разработано устройство, которое позволяет извлекать данные о частоте из входящего сигнала. Вышеупомянутая система имеет несколько аббревиатур, но наибольшее распространение в профессиональной среде получили названия «Мгновенный Измеритель Частоты» (МИЧ) и «Волномер». В связи с отсутствием общедоступной, профессиональной литературы, посвященной системам мгновенного измерения частоты, была поставлена задача исследовать проблемы, связанные с точностью определения частоты в МИЧ, а также увеличить точность измерений путем улучшения характеристик частотного дискриминатора. В процессе проводимых исследований рассмотрена упрощенная идеальная модель волномера, определены критерии, оказывающие наибольшее влияние на точность измерения частоты, а также показана максимальная теоретически достижимая точность, с которой такая модель может определять частоту входного сигнала. Для достижения поставленных целей:

- представлена исследуемая модель МИЧ и описан принцип его работы;
- приведены некоторые характеристики узлов, входящих в состав волномера;
- описаны технические проблемы, возникающие при проектировании реальных систем мгновенного определения частоты;
- произведена оценка зависимости точности определения частоты от технических характеристик узлов волномера.

Простейший волномер, изображенный на рисунке 1, состоит из частотного дискриминатора, аналого-цифрового преобразователя (АЦП), флеш памяти, куда записывается код частоты и устройства сравнения.

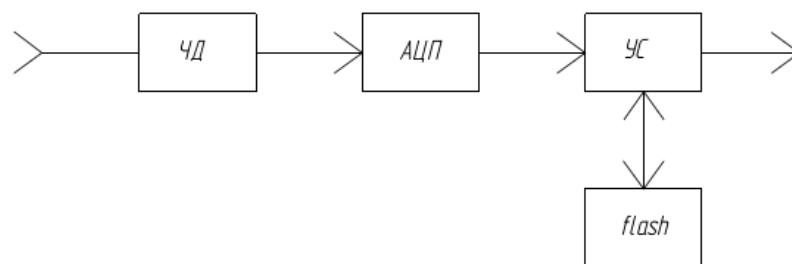


Рис. 1. Мгновенный измеритель частоты

Идеальный частотный дискриминатор преобразует входной сверхвысокочастотный (СВЧ) сигнал в постоянное напряжение, уровень которого зависит от частоты входного сигнала. Его амплитудно-частотная характеристика носит синусоидальный характер и выглядит, как показано на рисунке 2.

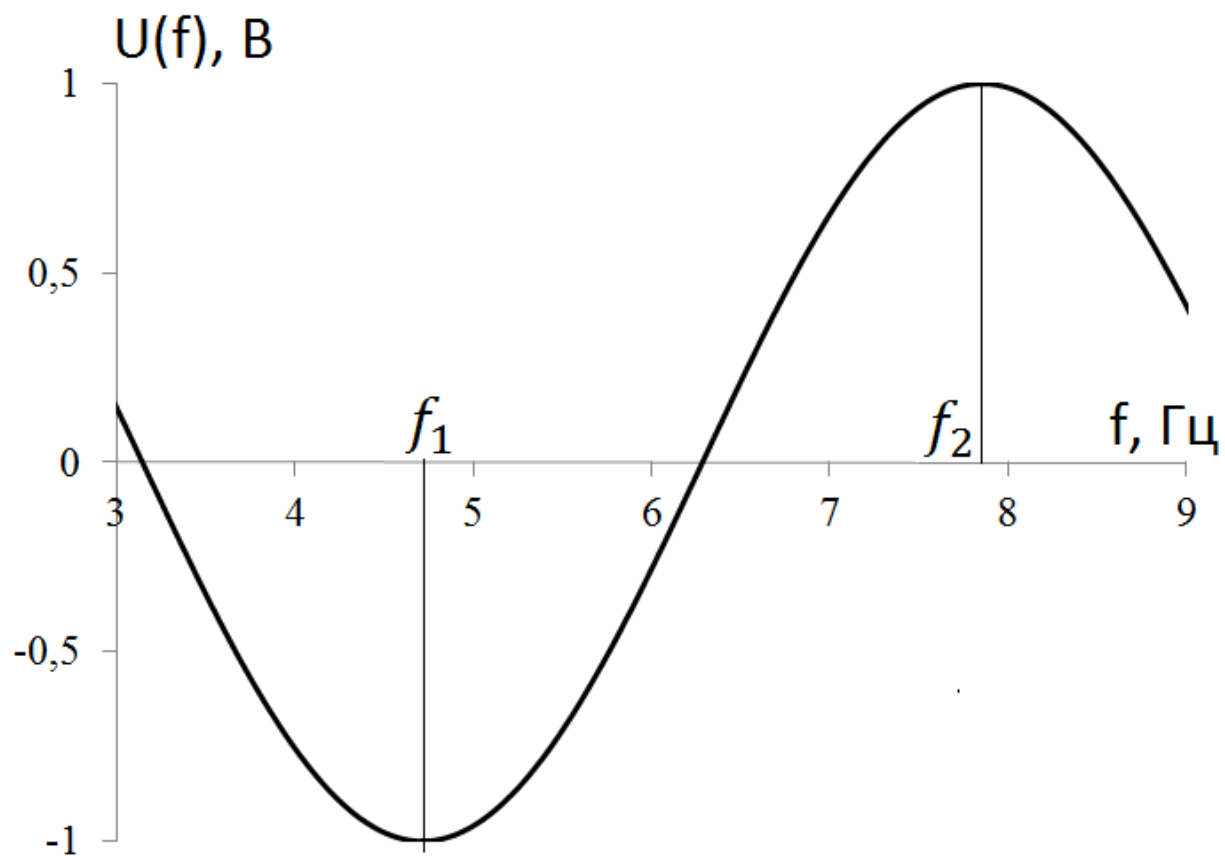


Рис. 2. АЧХ дискриминатор

Таким образом, сопоставляя каждому значению частоты свой уровень выходного напряжения, как показано на рисунке 3, можно однозначно определить диапазон частот от f_1 до f_2 , за пределами которого будет возникать неоднозначность, вследствие периодичности характеристики [2].

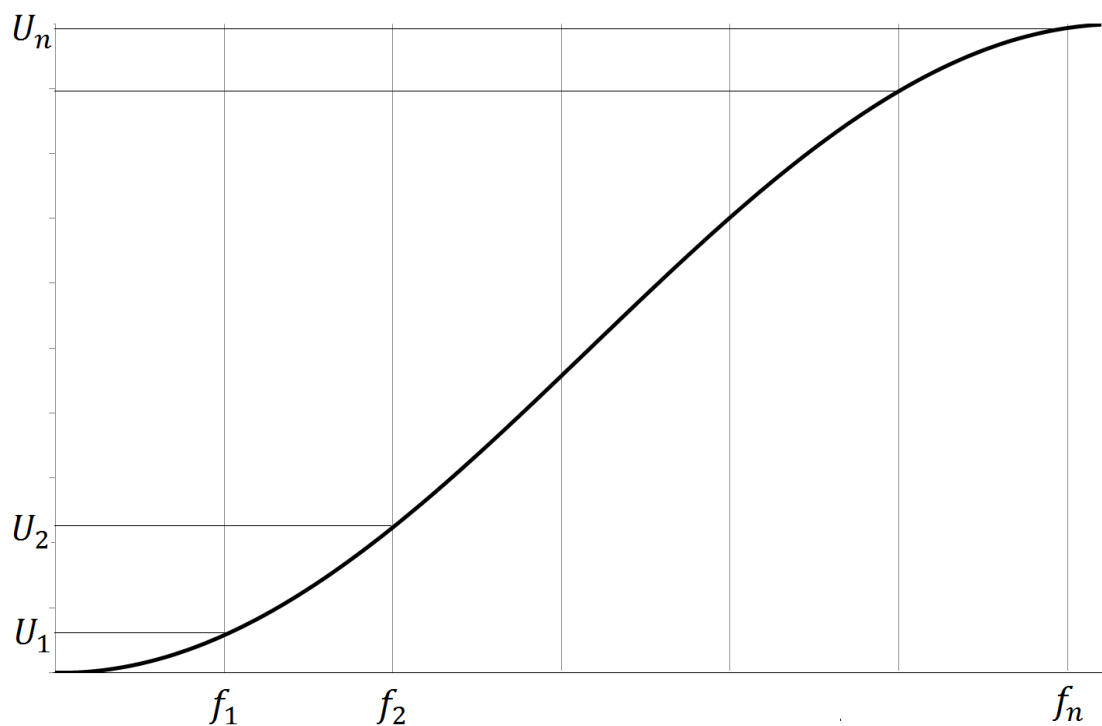


Рис. 3. Пояснение к принципу работы Волномера

Flash память содержит в себе массив, где каждой частоте соответствует свой цифровой код. Устройство сравнения (УС, рисунок 1) принимает данные с платы АЦП, которые представляют собой цифровой код выходного сигнала дискриминатора, и сравнивает это значение с массивом, хранящимся во флеш памяти. При совпадении из памяти извлекается код частоты и подается на выход МИЧ. Для упрощения модели предполагается, что для аналого-цифрового преобразования используется идеальный АЦП. Такое допущение дает нам право утверждать, что точность и разрешающая способность являются фактически тождественными понятиями и могут быть вычислены по формуле $\Delta = \frac{A}{2^N}$, где A – динамический диапазон на входе АЦП, а N – разрядность АЦП. Следовательно, чтобы получить максимальную точность определения частоты, нужно использовать аналого-цифровой преобразователь с максимально возможной разрядностью. В настоящее время у одного из ведущих производителей микросхем аналого-цифрового преобразования «Analog Devices» в линейке выпускаемой продукции присутствуют АЦП с наибольшей разрядностью 32 бит. АЦП с такой разрядностью являются «флагманами» в аналого-цифровом преобразовании на сегодняшний день, и при расчетах точности волномера будет взята разрядность этого порядка.

В реальных системах мгновенного измерения частоты разработчики сталкиваются с множеством проблем при разработке волномеров, связанными с очень высокими техническими требованиями и с трудностью реализации СВЧ устройств в целом [1]. К наиболее трудно реализуемым параметрам можно отнести широкий диапазон частот, в котором требуется обеспечить работоспособность изделия. Так же высокие требования накладываются на быстродействие, то есть промежуток времени, за который должна быть определена частота входного сигнала. Так, если в конце 90-х годов необходимо было обеспечить быстродействие немногим менее 200 нс, то сейчас требуется, чтобы система срабатывала за 50 нс, не более. Такая тенденция обусловлена тем, что существующие системы РЛС оперируют с радиоимпульсами очень короткой длительности. Большое влияние на точность изделия оказывают отклонения характеристик компонентов, входящих в состав МИЧ, от идеальных. Так, АЧХ реального дискриминатора существенно отличается от идеальной (рисунок 4). Эти отклонения проявляются вследствие целого ряда причин: неоднородности в СВЧ трактах, неравномерность характеристик элементов, которые выполнены в полосковом исполнении, разброс параметров дискретных элементов, дисперсия диэлектрической проницаемости среды, в которой распространяется волна.

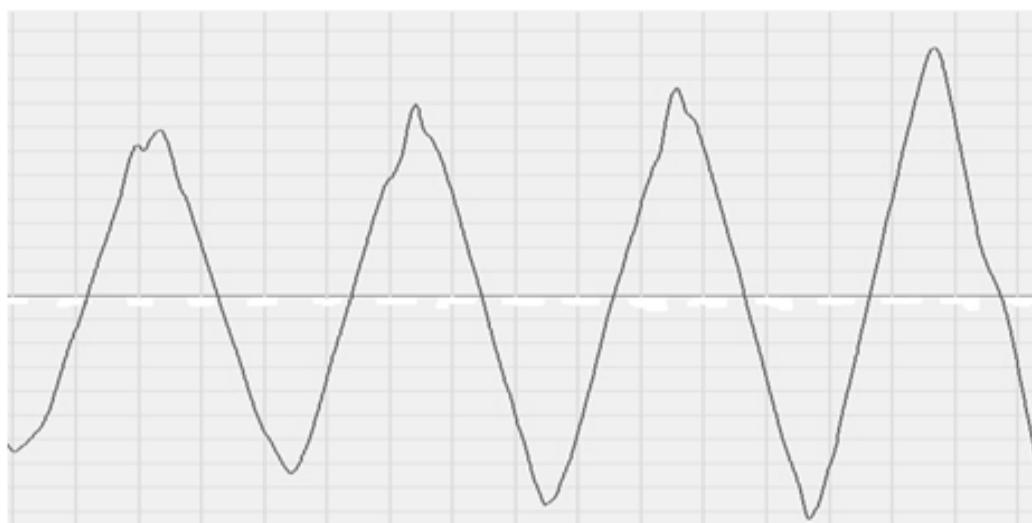


Рис. 4. Фрагмент АЧХ частотного дискриминатора

Эти факторы оказывают существенное влияние на итоговую точность изделия.

Определим теоретически возможную точность волномера, которая для идеальной модели будет выражаться такой же формулой, что и точность АЦП

($\Delta = \frac{A}{2^N}$). Общая зависимость точности определения частоты от разрядности представлена на рисунке 5.

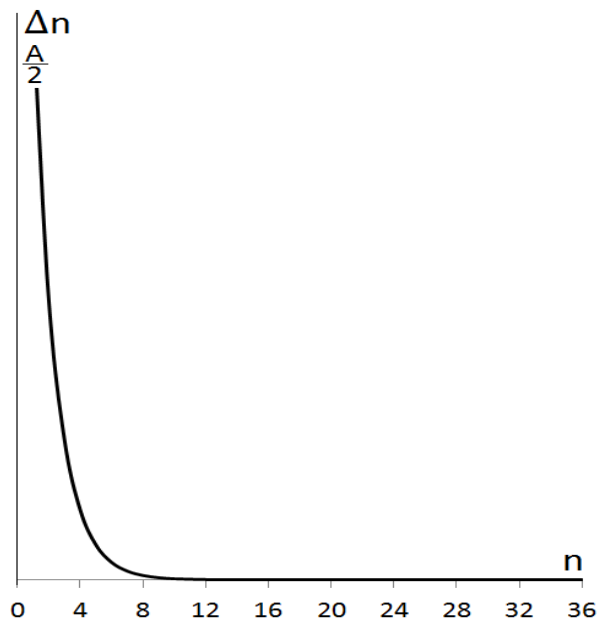


Рис. 5. Зависимость точности МИЧ от разрядности АЦП

Диапазон частот, который можно перекрыть, зависит от шага, с которым будет оцифровываться сетка частот, и разрядности аналого-цифрового преобразователя. Так, если шаг оцифровки составляет 1 Гц, то зависимость диапазона частот от разрядности АЦП будет выглядеть, как показано на рисунке 6.

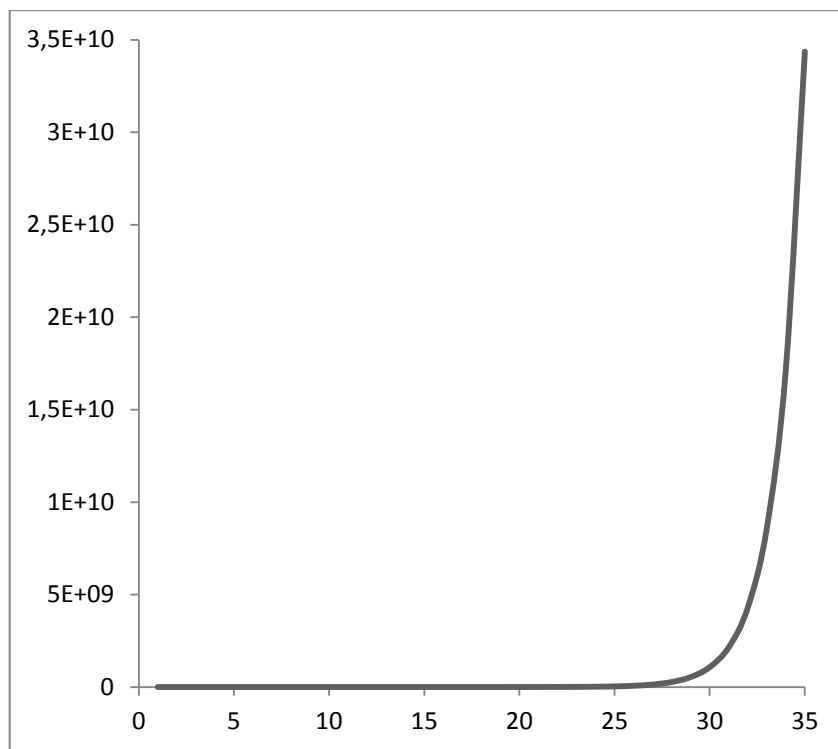


Рис. 6. Зависимость полосы частот от разрядности АЦП

Чем большее значение будет составлять шаг оцифровки, тем больший диапазон можно оцифровать, при заданной разрядности аналого-цифрового преобразователя. Для 32 разрядного АЦП, с динамическим диапазоном 14 (В) (это одни из лучших характеристик на сегодняшний день), максимальная точность равна $\Delta = \frac{14}{2^{32}} = 32,6 \cdot 10^{-10}$ В, что позволяет мгновенному измерителю частоты перекрыть диапазон частот $\Delta f = 2^N = 2^{32} \approx 4.2$ ГГц, при точности измерений 1 Гц.

Таким образом, идеализированная модель мгновенного измерителя частоты, представленная с применением современных компонентов элементной базы, позволяет измерять диапазон частот от 0 ГГц до 4.2 ГГц, при этом обеспечивая точность в 1 Гц. Разумеется, в реальных системах достичь таких показателей невозможно

вследствие разбега фаз в частотном дискриминаторе, наводок извне, а также с использованием АЦП с гораздо меньшей разрядностью (порядка 8-10 бит).

Литература

1. *Belk H. J.* «Instantaneous Frequency Measurement Systems», 1989.
2. *Fahmy M. F., Rhodes J. D.* «The Equidistant Linear Phase Polynomial for Digital and Distributed Networks», 1974.