

УДК 621.396.96:621.371.3

Е.П. Мсаллам

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОПЛЕРОВСКОГО СИГНАЛА И НОРМАЛЬНОЙ ПОМЕХИ НА УЗКОПОЛОСНЫЙ ФИЛЬТР

В статье приведены результаты исследований сравнительной помехоустойчивости следящего доплеровского фильтра, реализованного на распространенных схемах частотных дискриминаторов: с настроенным контуром и фазовращателем; со смесителями и дифференцированием; с расстроенными контурами; с качанием частоты. В качестве количественной меры ухудшения помехоустойчивости принято отношение эквивалентной спектральной плотности флуктуационной ошибки измерения реального дискриминатора к соответствующей ошибке оптимального дискриминатора.

Ключевые слова: фильтр, сигнал, дискриминатор, ошибка, измерение, белый шум, характеристика, оптимальный, помехоустойчивость.

Введение

В настоящее время все большее применение для управления воздушными и космическими объектами находят автономные средства навигации. К их числу относятся и доплеровские измерители вектора скорости.

В этих измерителях полезная информация о скорости движения объекта извлекается посредством фильтрации доплеровской частоты. При этом используются различные методы построения фильтрующих устройств, в том числе и методы следящей фильтрации, реализуемые с использованием следящих фильтров доплеровской частоты.

Одной из важнейших задач, решаемых следящими фильтрами доплеровской частоты (СФДЧ), является уменьшение флуктуационных помех, т.е. повышение помехоустойчивости приема доплеровского сигнала.

Задача о влиянии флуктуационных помех на работу следящих ФДЧ (СФДЧ) в общем случае является математически весьма сложной из-за трудности вычисления необходимых статистических характеристик.

Поэтому в большинстве работ, посвященных исследованию помехоустойчивости СФДЧ, построенных по схеме частотной автоподстройки (ЧАП) управляемого генератора [1], рассматривается по существу вопрос о действии сигнала и помех на частотный дискриминатор [2 – 4].

Постановка задачи исследования. Цель работы состояла в исследовании сравнительных характеристик оптимального частотного дискриминатора (ОЧД) с практически реализуемыми, достаточно близкими к оптимальному.

Основные результаты

При сравнительном анализе помехоустойчивости различных ЧД в основном рассматриваются

следующие параметры: коэффициент усиления K_{∂} , эквивалентная спектральная плотность мощности сигнала $S_{\text{ЭКВ}}$, характеризующая флуктуационную составляющую ошибки измерения, а в качестве количественного эквивалента ухудшения помехоустойчивости, практически реализуемых схем ЧД по сравнению с ОЧД, отношение

$$\chi = \frac{S_{\text{ЭКВ}}}{S_{\text{ЭКВ,опт}}} \quad (1)$$

Для оптимального ЧД эквивалентная спектральная плотность определяется выражением

$$S_{\text{ЭКВ,опт}} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{h S_0'(\omega)}{1 + h S_0(\omega)} \right]^2 d\omega, \quad (2)$$

где h – отношение сигнал/шум;

$S_0(\omega)$ – спектральная плотность мощности сигнала;

$S_0'(\omega)$ – производная от $S_0(\omega)$.

Если спектральная плотность мощности сигнала $S_0(\omega)$ соответствует белому шуму, прошедшему через гауссовский фильтр, то

$$S_0(\omega) = \exp \left\{ -\frac{1}{4\pi} \left(\frac{\omega}{\Delta f_{\text{эф.с}}} \right)^2 \right\}, \quad (3)$$

где $\Delta f_{\text{эф.с}}$ – эффективная полоса флюктуации сигнала.

Учитывая (2) и (3), получается ОЧД

$$S_{\text{ЭКВ,опт}} \approx \begin{cases} 4\sqrt{2\pi} \frac{\Delta f_{\text{эф.с}}}{h^2} & \text{при } h \ll 1, \\ \frac{\Delta f_{\text{эф.с}}}{(\ln h)^{3/2}} - \frac{3}{2} (\ln h)^{1/2} & \text{при } h \gg 1. \end{cases} \quad (4)$$

Зависимость отношения

$$\frac{S_{\text{экв.опт}}}{\Delta f_{\text{эф.с}}}$$

от отношения сигнал/шум h приведена на рис. 1.

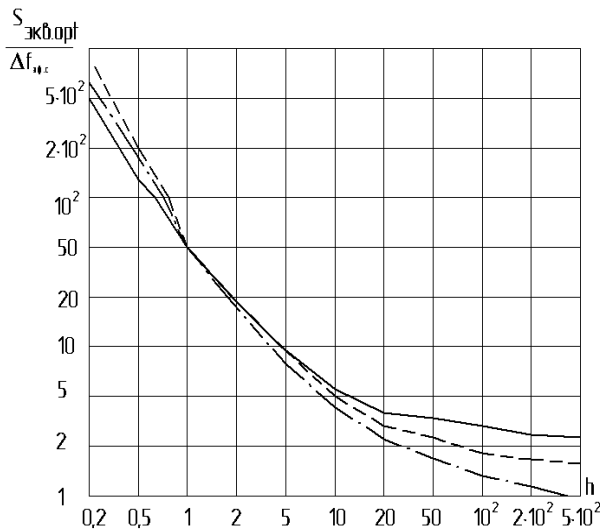


Рис. 1. Графики зависимости отношения $\frac{S_{\text{экв.опт}}}{\Delta f_{\text{эф.с}}}$ от отношения сигнал/шум

Сплошная кривая соответствует спектральной плотности мощности сигнала, эквивалентного белого шума, прошедшему через RC-фильтр, штриховой линией – белого шума, прошедшему через два последовательно соединенных RC-фильтра, штрихпунктирной – если спектр сигнала имеет гауссовскую форму.

Однако не всегда оптимальная ЧД может быть практически точно реализована. Поэтому на практике возникает вопрос приближенной технической реализации оптимального частотного дискриминатора. В этом случае нужно приближенно представить первую производную от логарифма функции правдоподобия, т.е. заменить производную на конечную разность.

Такая замена приводит к формированию дискриминатора из двух каналов, расстроенных на $\pm \frac{\Delta\lambda}{2}$ ($\Delta\lambda$ – параметр расстройки) от измеренного значения параметра.

В настоящее время наиболее распространенными схемами частотных дискриминаторов являются следующие [5, 6]:

- а) схема с настроенным контуром и фазовращателем;
- б) схема со смесителями и дифференцированием;
- в) схема с расстроенными контурами;
- г) схема с качанием частоты.

На рис. 2, 3 приведены соответственно коэффициенты ухудшения качества схемы с настроенным контуром и фазовращателем и схемы с расстроенными контурами.

Для схемы со смесителем и дифференцированием графики не приведены вследствие их идентичности с соответствующими графиками рис. 2.

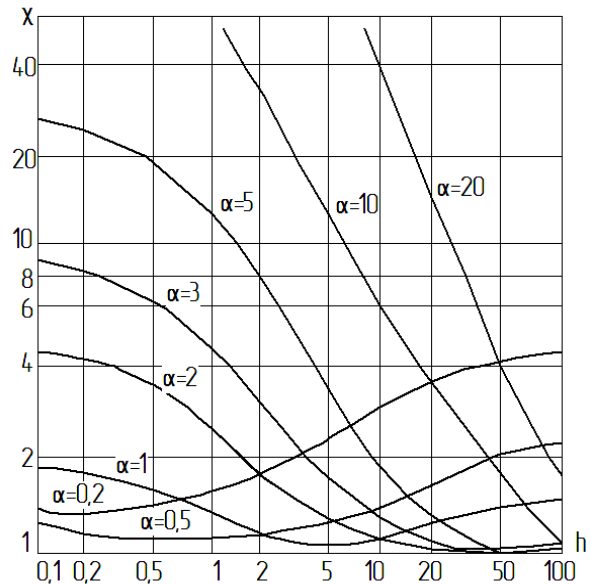


Рис. 2. Графики зависимости ухудшения качества X от h для схемы с настроенным контуром и фазовращателем

На рис. 3 сплошными линиями приведены кривые при $\mu=0,3$, штриховыми линиями при $\mu=1$ и штрихпунктирными – при $\mu=5$.

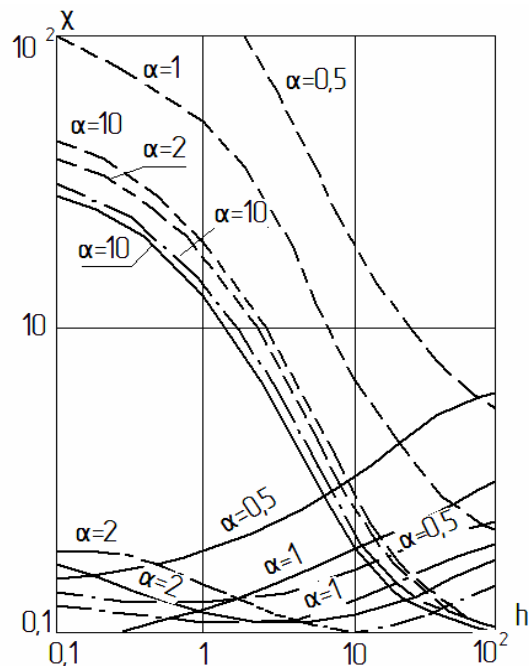


Рис. 3. Графики зависимости ухудшения качества X от h для схемы с расстроенными контурами

Обозначения на графиках рис. 2, 3 следующие:

$$\alpha = \frac{\Delta f_k}{\Delta f_c},$$

$$\mu = \frac{\Delta \omega}{4\Delta f_c},$$

где Δf_k – полоса пропускания контура, $\Delta \omega$ – расстройка контуров в схеме частотного дискриминатора на расстроенных контурах.

Выводы

Сопоставляя схемы частотных дискриминаторов, замечаем, что первые три при надлежащем выборе их параметров дают результаты, близкие к оптимальному дискриминатору.

Последняя схема имеет меньшую точность, она чувствительна к легко создаваемым помехам с периодической модуляцией и, кроме того, к ней предъявляются жесткие требования на идентичность положительных и отрицательных полупериодов опорного напряжения.

Схема с расстроенными контурами обеспечивает помехоустойчивость, близкую к потенциальной. Однако при небольших изменениях параметров схемы ее ошибки могут возрасти довольно значительно, т.е. к недостаткам схемы относится критичность по отношению к параметрам.

Также нужно отметить, что при дискриминации на достаточно высоких частотах требуется иметь два фильтра, настроенные на близкие, но не равные частоты. Нестабильность этих частот может

привести, помимо появления систематической ошибки измерения, к существенному изменению флюктуационной ошибки измерения и даже к прекращению работы дискриминатора, если частоты настройки станут одинаковыми или разойдутся слишком далеко.

Список литературы

1. *Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах. Ч.1* / [Меркулов В.И., Канащенков А.И., Перов А.И. и др.]; под ред. А.И. Канащенкова, В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2004. – 312 с.
2. *Тузов Г.И. Выделение и обработка информации в доплеровских системах* / Тузов Г.И. – М.: Советское Радио, 1967. – 225 с.
3. *Белавин О.В. Основы радионавигации: учебное пособие для вузов* / Белавин О.В. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Советское Радио, 1977. – 320 с.
4. *Вопросы статистической теории радиолокации: в 2 т.* [П.А. Бакулев, И.А. Большаков, Б.М. Герасимов и др.]. – М.: Советское радио, 1964. т. 2; под ред. Г.П. Тартанова. 1964 – 1080 с.
5. *Бартон К. Справочник по радиолокационным измерениям* / К. Бартон, Г. Вард. – М.: Сов. радио, 1976. – 325 с.
6. *Максимов И.В. Радиолокационные следящие системы. Синтез методами теории оптимального управления* / И.В. Максимов, В.И. Меркулов. – М.: Радио и связь, 1990. – 250 с.

Поступила в редколлегию 1.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Печенин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОПЛЕРОВСЬКОГО СИГНАЛУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЗАВАДИ НА ВУЗЬКО СМУГОВИЙ ФІЛЬТР

К.П. Мсаллам

В статті приведені результати досліджень порівняльної завадостійкості доплеровського фільтру, реалізованого на поширених схемах частотних дискримінацій: з налагодженим контуром і фазообертачем; зі змішувачем та диференціюванням; з розлагодженими контурами; коливанням частоти. В якості кількісної міри погіршення завадостійкості прийнято співвідношення еквівалентної спектральної щільності флюктуаційної похибки вимірювання реального дискримінатора до відповідної похибки оптимального дискримінатора.

Ключові слова: фільтр, сигнал, дискримінатор, похибка, вимірювання, білий шум, характеристика, оптимальний, завадостійкість.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF DOPPLER SIGNAL OF AND NORMAL HINDRANCE ON A NARROW-BAND FILTER

Ye.P. Msallam

The results of researches of comparative antijammingness of tracker Doppler filter, realized on the widespread charts of frequency discriminator are resulted in the article: with the adjusted contour and phase changer with mixers and differentiation; stagger-tuned; with swinging of frequency. As a quantitative measure of worsening of antijammingness attitude of equivalent spectral closeness of fluctuation error of measuring of real discriminator is accepted toward the proper error of optimum discriminator.

Keywords: filter, signal, discriminator, error, measuring, white noise, description, optimum, antijammingness.