

СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АДАПТИВНЫХ РЕЖЕКТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ

Попов Д.И., д.т.н., профессор кафедры радиотехнических систем Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина, e-mail: adop@mail.ru

SPEED CHARACTERISTICS ADAPTIVE REJECTION FILTERS

Popov D.I.

The analysis of the speed characteristics of non-recursive notch filters with full and partial adaptation to the spectral-correlation properties of interference, depending on the size of the training sample for various parameters of the wobble law, is carried out. Non-recursive adaptive notch filters with time-variable complex weight coefficients are considered, which provide the maximum efficiency of passive interference suppression under conditions of a priori parametric uncertainty. The cumbersomeness of the corresponding algorithms is the reason for the need to simplify them, which leads either to adaptive notch filters with time-variable real weight coefficients, or to notch filters with partial adaptation (autocompensation of the Doppler phase of interference) and a time-variable weight vector optimized in a priori known range of changes in the width of the interference spectrum. As a result of statistical averaging of the transfer functions, the results for the speed characteristics of these filters are obtained, depending on the volume of the training sample and the parameters of the time structure of the processed samples. The analysis of the speed characteristics of the filters was carried out separately for the cutting zone and the transparency zone, depending on the volume of the training sample, without imposing restrictions on the filter parameters, spectral-correlation properties of interference and parameters of the time structure of the processed samples. The analysis allows us to conclude that the use of filters during wobbling, which ensure the adaptation of the rejection zone to the spectral-correlation properties of the interference, leads to the elimination of the contradiction between the tasks of ensuring the linearity of the speed characteristics in the transparency zone and achieving high efficiency of passive interference suppression.

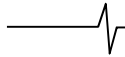
Key words: auto-compensation, adaptation, analysis, wobble of the repetition period, Doppler phase, passive interference, rejection filter, speed characteristic.

Ключевые слова: автокомпенсация, адаптация, анализ, вобуляция периода повторения, доплеровская фаза, пассивная помеха, режекторный фильтр, скоростная характеристика.

Введение

Основной операцией при выделении сигналов движущихся целей на фоне пассивных помех, представляющих собой мешающие отражения от неподвижных или медленно перемещающихся объектов, является режектирование спектральных составляющих помехи [1-4]. Априорная неопределенность спектрально-корреляционных характеристик помехи, а также их неоднородность и нестационарность в зоне обзора дополнительно затрудняют реализацию эффективной защиты от пассивных помех. Преодоление априорной неопределенности параметров помехи основывается на методах адаптации к неизвестным корреляционным параметрам помехи, что приводит, в частности, к алгоритмам адаптивного режектирования помехи с комплексными весовыми коэффициентами и соответствующим адаптивным режекторным фильтрам (АРФ) [5]. Реализация данных АРФ в цифровом виде требует высокого быстродействия выполнения арифметических операций. Избежать указанных трудностей можно путем предварительной компенсации доплеровского сдвига фазы помехи. В работе [6] синтезированы алгоритмы оценивания и предложены принципы построения и структурные схемы автокомпенсаторов

Проведен анализ скоростных характеристик нерекурсивных режекторных фильтров с полной и частичной адаптацией к спектрально-корреляционным свойствам помехи в зависимости от объема обучающей выборки при различных параметрах закона вобуляции. Рассмотрены нерекурсивные адаптивные режекторные фильтры с переменными во времени комплексными весовыми коэффициентами, обеспечивающими предельную эффективность подавления пассивной помехи в условиях априорной параметрической неопределенности. Громоздкость соответствующих алгоритмов является причиной необходимости их упрощения, которое приводит либо к адаптивным режекторным фильтрам с переменными во времени действительными весовыми коэффициентами, либо к режекторным фильтрам с частичной адаптацией (автокомпенсацией доплеровской фазы помехи) и переменным во времени весовым вектором, оптимизированным в априорно известном диапазоне изменения ширины спектра помехи. В результате статистического усреднения передаточных функций получены выражения для скоростных характеристик указанных фильтров в зависимости от объема обучающей выборки и параметров временной структуры обрабатываемых отсчетов. Анализ скоростных характеристик фильтров проведен отдельно для зоны режекции и зоны прозрачности в зависимости от объема обучающей выборки, не накладывая ограничений на параметры фильтра, спектрально-корреляционные свойства помехи и параметры временной структуры обрабатываемых отсчетов. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что использование при вобуляции фильтров, обеспечивающих адаптацию зоны режекции к спектрально-корреляционным свойствам помехи, приводит к устранению противоречия между задачами обеспечения линейности скоростной характеристики в зоне прозрачности и достижения высокой эффективности подавления пассивной помехи.



доплеровской фазы пассивных помех с прямой и обратной связью. Особенности адаптации к корреляционным свойствам помехи на выходе автокомпенсатора и последующего ее режектирования рассмотрены в работе [7]. Определенное упрощение процедуры адаптации достигается в АРФ каскадного типа [8]. Другим вариантом упрощения процедуры адаптации является переход от комплексных весовых коэффициентов к действительным [9], что ограничивает область целесообразного применения соответствующих АРФ при ограниченной и сравнительно малой в зависимости от порядка фильтра и ожидаемых параметров помехи величине ее доплеровской скорости. Компромиссное решение достигается в фильтрах с частичной адаптацией к доплеровской фазе помехи и оптимизацией характеристик режекторных фильтров в априорном диапазоне изменения спектрально-корреляционных параметров помехи [10]. Повышение эффективности режекторных фильтров высоких порядков достигается при оптимизации их параметров по вероятностному критерию [11].

При постоянном периоде повторения скоростные характеристики АРФ имеют нули в точках, соответствующих доплеровским сдвигам фазы, кратным периоду повторения зондирующих импульсов. Одним из эффективных способов борьбы с этим явлением является вобуляция периода повторения. Однако при стационарных параметрах фильтра данный метод приводит к деформации его скоростных характеристик в зоне режекции, что существенно снижает эффективность выделения сигнала от цели на фоне пассивной помехи.

В [12] рассмотрен синтез нерекурсивных адаптивных режекторных фильтров с переменными во времени комплексными весовыми коэффициентами (АРФ с КВК), обеспечивающими предельную эффективность подавления пассивной помехи в условиях априорной параметрической неопределенности. Громоздкость предложенных алгоритмов является причиной необходимости их упрощения, которое приводит либо к адаптивным режекторным фильтрам с переменными во времени действительными весовыми коэффициентами (АРФ с ДВК) [9], либо к режекторным фильтрам с частичной адаптацией (автокомпенсацией доплеровской фазы помехи) и переменным во времени весовым вектором, оптимизированным в априорно известном диапазоне изменения ширины спектра помехи (ОВК с ЧА) [10]. Представляет интерес анализ скоростных характеристик указанных фильтров в зависимости от объема обучающей выборки и параметров временной структуры обрабатываемых отсчетов.

Передаточная функция АРФ и скоростная характеристика в частотной области

Передаточная функция нерекурсивного режекторного фильтра при вобуляции периода повторения имеет вид:

$$H(iff) = \frac{1}{p} \sum_{l=m}^{p+m-1} \sum_{k=0}^m G_k^{(l)} \exp\{-i2\pi f t_{l-k}\}, \quad (1)$$

где p – ядро вобуляции, m – порядок фильтра, $G_k^{(l)}$ – элементы вектора $\mathbf{G}^{(l)}$ весовых коэффициентов в l -м

периоде повторения, t_l – момент времени, соответствующий l -му периоду повторения.

Скоростная характеристика нерекурсивного режекторного фильтра в частотной области может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} |H(iff)|^2 &= \frac{1}{p} \sum_{l=m}^{p+m-1} \left\{ \left(\sum_{j=0}^m G_j^{(l)} \cos\{2\pi f t_{l-j}\} \right)^2 + \right. \\ &\left. + \left(\sum_{k=0}^m G_k^{(l)} \sin\{2\pi f t_{l-k}\} \right)^2 \right\} = \\ &= \frac{1}{p} \sum_{l=m}^{p+m-1} \sum_{j,k=0}^m G_j^{(l)} G_k^{(l)} \cos\{2\pi f (t_{l-j} - t_{l-k})\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Поделив выражение (2) на среднеквадратический коэффициент усиления $S_0 = \sum_{j=0}^m |G_j^{(l)}|^2$, получим выра-

жение для нормированной скоростной характеристики нерекурсивного режекторного фильтра при обработке неэквидистантной последовательности:

$$\begin{aligned} S^2(f) &= \frac{|H(iff)|^2}{S_0} = \\ &= \frac{1}{p} \sum_{l=m}^{p+m-1} \frac{\sum_{j,k=0}^m G_j^{(l)} G_k^{(l)} \cos\{2\pi f (t_{l-j} - t_{l-k})\}}{\sum_{j=0}^m |G_j^{(l)}|^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Согласно (1-3), найдем выражения, описывающие скоростные характеристики вышеуказанных фильтров.

Скоростные характеристики АРФ с КВК

Весовые коэффициенты АРФ с КВК имеют вид [12]:

$$G_j^{(l)} = g_j(\{\hat{\rho}_l^{(l)}\}) \exp\left\{i \sum_{s=0}^{j-1} \hat{\phi}_s^{(l)}\right\}, \quad (4)$$

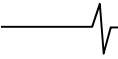
где $g_j(\{\hat{\rho}_l^{(l)}\}) = \hat{g}_j^{(l)}$ – зависимости, определяемые алгоритмами [12], $\hat{\rho}_l^{(l)}$, $\hat{\phi}_s^{(l)}$ – соответственно оценки модулей $\rho_l^{(l)}$ и аргументов $\phi_s^{(l)}$, коэффициентов межпериодной корреляции, $t = \overline{0, H_1 - 1}$, $s = \overline{0, H_2 - 1}$, $H_1 = m(m+1)/2$, $H_2 = m$.

Подставив (4) в (1), получаем:

$$\hat{H}(iff) = \frac{1}{p} \sum_{l=m}^{p+m-1} \sum_{k=0}^m \hat{g}_k^{(l)} \exp\left\{-i \left(2\pi f t_{l-k} - \sum_{s=0}^{k-1} \hat{\phi}_s^{(l)} \right)\right\}.$$

Соответственно выражение (3) принимает вид:

$$\begin{aligned} \hat{S}^2(f) &= \\ &= \frac{1}{p} \sum_{l=m}^{p+m-1} \frac{\sum_{j,k=0}^m \hat{g}_j^{(l)} \hat{g}_k^{(l)} \cos\left\{2\pi f (t_{l-j} - t_{l-k}) - \sum_{\min(j,k)}^{\max(j,k)-1} \hat{\phi}_s^{(l)}\right\}}{\sum_{j=0}^m (g_j^{(l)})^2}. \end{aligned} \quad (5)$$



С учетом асимптотических свойств оценок максимального правдоподобия (ОМП) $\hat{\rho}_l^{(l)}$ и $\hat{\phi}_s^{(l)}$ с векторами средних $\{\rho_l^{(l)}\}$, $\{\phi_s^{(l)}\}$ произведем аналогичные работе [13] усреднения выражения (5), получив формулу для расчета скоростной характеристики АРФ с КВК:

$$S^2(f) = \langle \hat{S}^2(f) \rangle = \frac{1}{P} \sum_{l=m}^{p+m-1} \frac{\left\{ \sum_{j,k=0}^m \cos \left\{ 2\pi f(t_{l-j} - t_{l-k}) - \sum_{s=\min(j,k)}^{\max(j,k)-1} \hat{\phi}_s^{(l)} \right\} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \sum_{c,d=\min(j,k)}^{\max(j,k)-1} F_{cd}^{(l)} \right) \left(g_j^{(l)} g_k^{(l)} + \sum_{c,d=0}^{H_1-1} \frac{\partial g_j^{(l)}}{\partial \rho_c^{(l)}} \frac{\partial g_k^{(l)}}{\partial \rho_d^{(l)}} M_{cd}^{(l)} \right) \right\}}{\sum_{j=0}^m (g_j^{(l)})^2}. \quad (6)$$

где $F_{cd}^{(l)}$, $M_{cd}^{(l)}$ – элементы ковариационных матриц $\mathbf{F}^{(l)}$, $\mathbf{M}^{(l)}$ оценок соответственно $\hat{\rho}_l^{(l)}$ и $\hat{\phi}_s^{(l)}$ [13], зависящих от объема обучающей выборки n , определяемого числом используемых для оценивания $\rho_l^{(l)}$ и $\phi_s^{(l)}$ отсчетов от смежных элементов разрешения по дальности [13].

Выражение (6) позволяет проводить анализ скоростных характеристик нерекурсивных адаптивных режекторных фильтров с комплексными весовыми коэффициентами.

Скоростные характеристики АРФ с ДВК

Весовые коэффициенты АРФ с ДВК могут быть представлены в виде следующей функциональной зависимости [9]: $G_j^{(l)} = \hat{g}_j^{(l)} = g_j(\{\hat{r}_t^{(l)}\})$, где $\hat{r}_t^{(l)}$ – оценки действительных частей $r_t^{(l)}$ коэффициентов межпериодной корреляции, $t = 0, H_1 - 1$.

Соответственно для передаточной функции АРФ получим:

$$\hat{H}(if) = \frac{1}{P} \sum_{l=m}^{p+m-1} \sum_{k=0}^m \hat{g}_k^{(l)} \exp\{-i(2\pi f t_{l-k})\},$$

что позволяет представить нормированную скоростную характеристику АРФ с ДВК в виде:

$$\hat{S}^2(f) = \frac{1}{P} \sum_{l=m}^{p+m-1} \frac{\sum_{j,k=0}^m \hat{g}_j^{(l)} \hat{g}_k^{(l)} \cos\{2\pi f(t_{l-j} - t_{l-k})\}}{\sum_{j=0}^m (g_j^{(l)})^2}. \quad (7)$$

С учетом асимптотических свойств ОМП $\hat{r}_t^{(l)}$ с вектором средних $\{r_t^{(l)}\}$ произведем аналогично [14] соответствующие усреднения в (7), получив выражение для скоростной характеристики нерекурсивного адаптивного режекторного фильтра с действительными весовыми коэффициентами:

$$S^2(f) = \langle \hat{S}^2(f) \rangle = \frac{1}{P} \sum_{l=m}^{p+m-1} \frac{\sum_{j,k=0}^m \cos\{2\pi f(t_{l-j} - t_{l-k})\} \left(g_j^{(l)} g_k^{(l)} + \sum_{c,d=0}^{H_1-1} \frac{\partial g_j^{(l)}}{\partial r_c^{(l)}} \frac{\partial g_k^{(l)}}{\partial r_d^{(l)}} U_{cd}^{(l)} \right)}{\sum_{j=0}^m (g_j^{(l)})^2}, \quad (8)$$

где $U_{cd}^{(l)}$ – элементы ковариационной матрицы $\mathbf{U}^{(l)}$ оценок $\hat{r}_t^{(l)}$, вычисляемые в соответствии с выражением (5) работы [14] и зависящие от объема обучающей выборки.

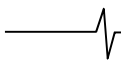
Скоростные характеристики АРФ с ОВК и ЧА

Алгоритм обработки вобулированной последовательности в АРФ с ОВК и ЧА может быть описан весовым вектором с элементами вида [10]:

$$G_j^{(l)} = \tilde{g}_j^{(l)} \exp \left\{ i \sum_{s=0}^{j-1} \hat{\phi}_s^{(l)} \right\}, \text{ где } \hat{\phi}_s^{(l)} \text{ – оценки аргументов } \phi_s^{(l)} \text{ коэффициентов межпериодной корреляции, } s = \overline{0, H_2 - 1}.$$

Передаточная функция фильтра:

$$\hat{H}(if) = \frac{1}{P} \sum_{l=m}^{p+m-1} \sum_{k=0}^m \tilde{g}_k^{(l)} \exp \left\{ -i \left(2\pi f t_{l-k} - \sum_{s=0}^{k-1} \hat{\phi}_s^{(l)} \right) \right\}, \text{ соответственно:}$$



$$\hat{S}^2(f) = \frac{1}{P} \sum_{l=m}^{p+m-1} \frac{\sum_{j,k=0}^m \tilde{g}_j^{(l)} \tilde{g}_k^{(l)} \cos \left\{ 2\pi f (t_{l-j} - t_{l-k}) - \sum_{s=\min(j,k)}^{\max(j,k)-1} \hat{\phi}_s^{(l)} \right\}}{\sum_{j=0}^m (\tilde{g}_j^{(l)})^2} \quad (9)$$

Усреднение (9) с учетом асимптотических свойств ОМП $\hat{\phi}_s^{(l)}$ с вектором средних $\{\hat{\phi}_s^{(l)}\}$ позволяет получить выражение скоростной характеристики нерекурсивного режекторного фильтра с автокомпенсацией доплеровской фазы помехи и весовым вектором, оптимизированным в априорно заданном диапазоне изменения ширины спектра помехи:

$$S^2(f) = \langle \hat{S}^2(f) \rangle = \frac{1}{P} \sum_{l=m}^{p+m-1} \frac{\sum_{j,k=0}^m \tilde{g}_j^{(l)} \tilde{g}_k^{(l)} \cos \left\{ 2\pi f (t_{l-j} - t_{l-k}) - \sum_{s=\min(j,k)}^{\max(j,k)-1} \hat{\phi}_s^{(l)} \right\} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \sum_{c,d=\min(j,k)}^{\max(j,k)-1} F_{cd}^{(l)} \right)}{\sum_{j=0}^m (\tilde{g}_j^{(l)})^2} \quad (10)$$

Результаты анализа скоростных характеристик фильтров

Анализ скоростных характеристик фильтров целесообразно разделить на анализ зоны режекции ($0 \leq fT_{\min} \leq 0,1$) и анализ зоны прозрачности ($fT_{\min} \geq 0,4$), где T_{\min} – минимальный период повторения в пределах ядра вобуляции.

На рис. 1-3 представлены скоростные характеристики в зоне режекции соответственно АРФ с КВК, АРФ с ДВК и АРФ с ОВК и ЧА при различных значениях объема обучающей выборки n . Анализ проводился при следующих исходных данных: нормированная ширина спектра помехи в минимальном периоде повторения $\beta_{\min} = 0,05$, доплеровский сдвиг помехи в минимальном периоде повторения $f_n T_{\min} = 0,02$, порядок фильтра $m=3$, вобуляция – линейная, ядро вобуляции $p=8$, глубина вобуляции $\text{mod} = 60\%$. Весовые коэффициенты АРФ с ОВК и ЧА соответствуют оптимальной ширине спектра помехи $\tilde{\beta} = 0,05$.

Как следует из представленных зависимостей, адаптация АРФ с КВК (рис. 1) и ОВК с ЧА (рис. 3) к доплеровской фазе помехи заключается в смещении зоны режекции на частоту, соответствующую центральной частоте спектра помехи. АРФ с ДВК компенсируют доплеровское смещение помехи путем расширения зоны режекции (рис. 2), что приводит к увеличению уровня паразитного лепестка и, как следствие, к снижению эффективности системы [14]. АРФ с КВК и АРФ с ДВК обеспечивают адаптацию к ширине спектра помехи путем соответствующего изменения ширины зоны режекции.

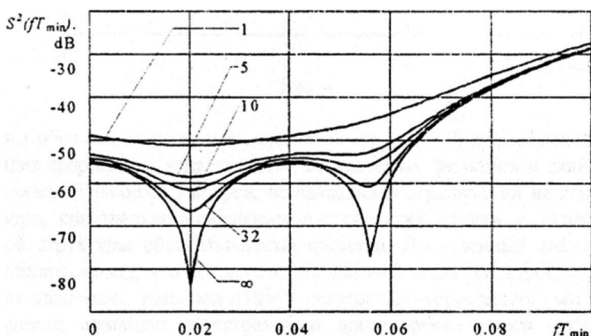


Рис. 1. Скоростные характеристики АРФ с КВК

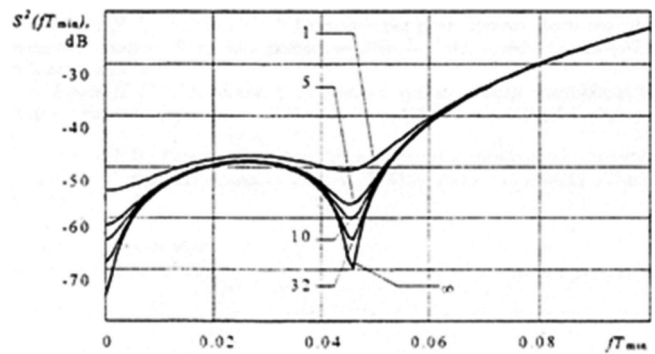


Рис. 2. Скоростные характеристики АРФ с ДВК

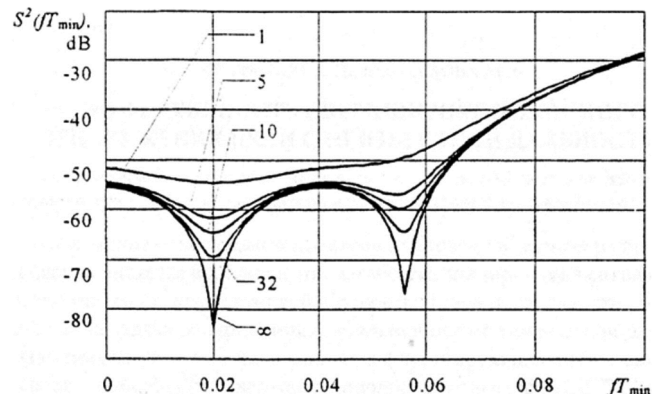
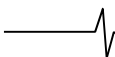


Рис. 3. Скоростные характеристики АРФ с ОВК и ЧА

Необходимо отметить, что форма режекционных провалов скоростных характеристик исследуемых фильтров определяется только спектрально-корреляционными свойствами помехи и объемом обучающей выборки, увеличение которого приводит к формированию зоны режекции, заключающемуся в ее приближении к своей предельной форме ($n = \infty$), однако потери на адаптацию АРФ с КВК больше аналогичных потерь АРФ с ДВК и АРФ с ОВК и ЧА. При этом изменение параметров вобуляции не оказывает существенного влияния на вид скоростных характеристик фильтров в зоне режекции.

На рис. 4 представлены скоростные характеристики АРФ с ОВК и ЧА 3-го порядка в зоне прозрачности при следующих параметрах вобуляции: $p=8$, $\text{mod} = 60\%$, $\phi=0$, вобуляция – линейная (сплошная линия), перекрестная (штриховая линия). Проведенный анализ пока-



зал, что форма скоростной характеристики в полосе пропускания определяется только порядком фильтра и параметрами вобулированной последовательности и не зависит от параметров помехи и объема обучающей выборки.

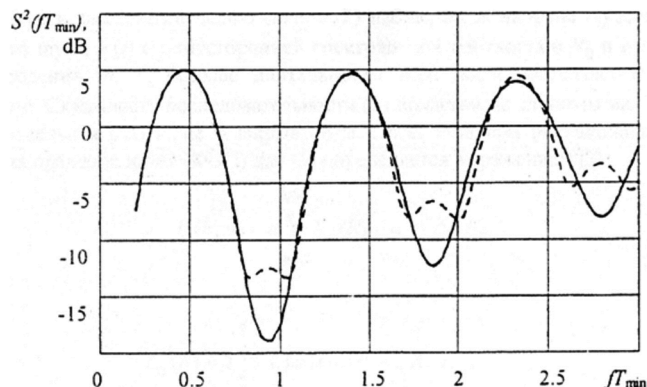


Рис. 4. Скоростные характеристики АРФ с ОБК и ЧА в зоне прозрачности

Заключение

Таким образом, полученные выражения (6), (8), (10) позволяют проводить анализ скоростных характеристик исследуемых фильтров в зависимости от объема обучающей выборки, не накладывая ограничений на параметры фильтра, спектрально-корреляционные свойства помехи и параметры временной структуры обрабатываемых отсчетов. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что использование при вобуляции фильтров, обеспечивающих адаптацию зоны режекции к спектрально-корреляционным свойствам помехи, приводит к устранению противоречия между задачами обеспечения линейности скоростной характеристики в зоне прозрачности и достижения высокой эффективности подавления пассивной помехи.

Литература

1. Skolnik M.I. Introduction to Radar System, 3rd ed., New York: McGraw-Hill, 2001. 862 p.

2. Richards M.A., Scheer J.A., Holm W.A. (Eds.). Principles of Modern Radar: Basic Principles. New York: SciTech Publishing, IET, Edison. 2010. 924 p.

3. Melvin W. L., Scheer J.A. (Eds.). Principles of Modern Radar: Advanced Techniques. New York: SciTech Publishing, IET, Edison, 2013. 846 p.

4. Справочник по радиолокации: в 2 кн. Кн. 1 / под ред. М.И. Скольника; пер. с англ. под ред. В.С. Вербы. М.: Техносфера, 2014. 672 с.

5. Попов Д.И. Адаптивные режекторные фильтры с комплексными весовыми коэффициентами // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». 2015. № 2. С. 21-26.

6. Попов Д.И. Автокомпенсация доплеровской фазы пассивных помех // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 30-33.

7. Попов Д.И. Адаптивное подавление пассивных помех // Цифровая обработка сигналов. 2014. № 4. С. 32-37.

8. Попов Д.И. Адаптивные режекторные фильтры каскадного типа // Цифровая обработка сигналов. 2016. № 2. С. 53-56.

9. Попов Д.И. Адаптивные режекторные фильтры с действительными весовыми коэффициентами // Цифровая обработка сигналов. 2017. № 1. С. 22-26.

10. Попов Д.И. Оптимизация нерекурсивных режекторных фильтров с частичной адаптацией // Цифровая обработка сигналов. 2018. № 1. С. 28-32.

11. Попов Д.И. Оптимизация режекторных фильтров по вероятностному критерию // Цифровая обработка сигналов. 2021. № 1. С. 55-58.

12. Попов Д.И. Режектирование пассивных помех при вобуляции периода повторения // Радиотехника. 2015. № 5. С. 97-101.

13. Попов Д.И. Анализ алгоритмов адаптивного режектирования пассивных помех // Радиотехника. 2016. № 8. С. 148-152.

14. Попов Д.И. Анализ режекторных фильтров с действительными весовыми коэффициентами // Радиотехника. 2018. № 5. С. 49-54.

Уважаемые авторы !

Редакция научно-технического журнала «Цифровая обработка сигналов» просит Вас соблюдать следующие требования к материалам, направляемым на публикацию:

1) Требования к текстовым материалам и сопроводительным документам:

- Текст – текстовый редактор Microsoft Word.
- Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. На все рисунки, таблицы и библиографические данные указываются ссылки в тексте статьи.
- Объем статьи до 12 стр. (шрифт 12). Для заказных обзорных работ объем может быть увеличен до 20 стр.
- Название статьи на русском и английском языках.
- Рукопись статьи сопровождается: краткой аннотацией на русском и английском языках; номером УДК; сведениями об авторах (Ф.И.О., организация, должность, ученая степень, телефоны, электронная почта); ключевыми словами на русском и английском языках; актом экспертизы (при наличии в вашей организации экспертной комиссии).

2) Требования к иллюстрациям:

- Векторные (схемы, графики) – желательно использование графических редакторов Adobe Illustrator или Corel DRAW.
- Растровые (фотографии, рисунки) – М 1:1, разрешение не менее 300dpi, формат tiff.