

Необычные адаптивные системы СДЦ

Владимир Бартнев (bartvg@rambler.ru)

Целеподобный характер отражённых сигналов от движущихся дискретных помех типа «ангелов» исключает применение для защиты РЛС традиционных адаптивных систем СДЦ (селекции движущихся целей), как режекторных, так и многоканальных доплеровских [1]. Однако предложенный автором этой статьи способ адаптивной разностно-фазовой селекции движущихся целей позволил решить эту проблему, и первым доказавшим это на практике, внедрив метод в серийные РЛС, был Алексей Андреевич Мамаев из Новосибирского НИИ измерительных приборов (НИИИП) (рис. 1). Его памяти и 100-летию со дня рождения создателя первой реализованной на практике адаптивной разностно-временной системы я посвящаю эту статью.

Нелинейные разностно-фазовые системы СДЦ

Прежде чем рассматривать адаптивные разностно-фазовые системы селекции движущихся целей, уместно вспомнить о том, какие системы СДЦ разностно-фазового типа им предшествовали. Сначала это была разностно-частотная, или, лучше сказать, двухчастотная система СДЦ, предложенная Свистовым В.М. [2], в которой за счёт перемножения эхо-сигналов, принимаемых на двух разных несущих частотах, осуществлялась трансформация масштаба доплеровских скоростей движущейся пассивной помехи и уже после этого производилось межпериодное вычитание помехи. Затем такими же свойствами стала обладать разностно-временная система СДЦ, изобретённая Крыловым И.Г. [3], в которой осуществлялось перемножение эхо-сигналов, принятых в двух смежных, разных по длительности периодах непосредствен-

но до вычитания. Причём в этом случае длительность смежных периодов повторения различалась настолько (как и разность несущих частот в двухчастотной системе СДЦ), насколько требовалось ослабить чувствительность скоростной характеристики СДЦ к доплеровскому смещению спектра движущейся пассивной помехи. Главное преимущество этих разностно-фазовых систем СДЦ перед традиционными системами СДЦ состояло в их способности режектировать отражения от дискретных медленно движущихся пассивных помех. Однако из-за нелинейной операции – перемножения – в этих системах происходило как расширение спектра пассивной помехи, так и изменение закона распределения помехи на выходе, что приводило к снижению их эффективности по сравнению с линейными системами СДЦ при работе по отражениям от подстилающей поверхности.

Разностно-временная система СДЦ, предложенная И.Г. Крыловым, в дальнейшем была существенно усовершенствована благодаря работам А.А. Мамаева, Ю.Н. Ложкина, Р.Д. Яхонтова. Блок-схема предложенного ими варианта построения разностно-временной системы [4] изображена на рис. 2.

Это однократная разностно-временная схема череспериодно-

го вычитания, работавшая на промежуточной частоте и, как видно из рисунка, требующая для своей работы не два зондирующих импульса, как обычная однократная череспериодная схема вычитания, а три зондирующих импульса. В состав разностно-временной системы СДЦ входят линии задержки, перемножители и схема вычитания. Важнейшей особенностью разностно-временной схемы вычитания является операция перемножения сигналов смежных периодов повторения перед подачей их на схему вычитания. Чтобы понять сущность работы разностно-временной схемы вычитания, следует вспомнить работу двухчастотной системы СДЦ. В ней ослабление доплеровского эффекта достигается за счёт использования разности несущих частот излучаемых радиоимпульсов. В разностно-временной системе СДЦ параметром, изменяющим масштаб скоростной характеристики, является разность длительности смежных периодов повторения РЛС. При большом сходстве этих двух систем есть и существенное различие между ними. В двухчастотной системе СДЦ перемножаются независимые сигналы, в разностно-временной системе СДЦ перемножаются сильно коррелированные сигналы помехи, разделённые интервалом времени, равным периоду повторения зондирующих импульсов РЛС. Естественно, это должно сказаться на помехозащищённости этих систем. Важным преимуществом разностно-временной системы СДЦ является то, что она реализуется в одном канале, а не в двух, как двухчастотная. Учитывая наличие в ней нелинейных элементов в виде перемножителей, количественная оценка помехозащищённости была произведена по характеристикам обнаружения, а не по энергетическим критериям (коэффициенту подавления, коэффициенту улучшения). Как следует из блок-схемы (рис. 1), на выходе разностно-временной схемы ЧПВ образуется напряжение

$$Z_{\text{вых}} = |Z_1 Z_2^* - Z_2 Z_3^*|, \quad (1)$$

где Z_i – комплексная амплитуда i -го импульса на входе системы СДЦ, состоящая из аддитивной смеси полезного сигнала, пассивной помехи, собственных шумов приёмника.



Рис. 1. Мамаев Алексей Андреевич (11.03.1922–21.06.1995)

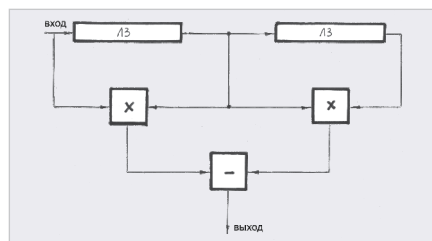


Рис. 2. Разностно-временная система СДЦ

Анализ эффективности подобной системы показал: нелинейная операция перемножения приводит к заметным потерям в обнаружении сигнала цели. Для вероятностей ложных тревог от 10^{-1} до 10^{-4} и коэффициентов корреляции 0,9...0,95 эти потери в пороговом сигнале для вероятности правильного обнаружения 0,5 составляют от 4 до 7 дБ.

Первая адаптивная разностно-фазовая система СДЦ

В основе построения адаптивных разностно-фазовых систем СДЦ лежат алгоритмы оптимальных или квазиоптимальных обнаружителей, но с существенной поправкой. Теперь алгоритмы реализуются с использованием перекрёстных связей между устройствами, формирующими оценки параметров помехи, и устройствами, в которых эти оценки используются для получения результата обработки. Причём, как и в классических разностно-фазовых системах СДЦ, адаптивные разностно-фазовые системы СДЦ требуют или вобуляции (плавное изменение частоты) периодов повторения, или двухчастотной работы.

Но при этом они стали линейными системами с переменными параметрами. Важным преимуществом адаптивных разностно-фазовых систем СДЦ по сравнению с просто разностно-фазовыми системами является сохранение внутриимпульсной модуляции обрабатываемых сложных сигналов, что позволяет применять согласованную фильтрацию (сжатие, корреляционную обработку) как до, так и после системы СДЦ.

Рассмотрим, из каких соображений была создана первая адаптивная разностно-фазовая система СДЦ. Решение этой задачи строилось на общих принципах построения систем обнаружения движущихся целей. Из теории известно [5], что оптимальный обнаружитель должен формировать отношение правдоподобия или его достаточные статистики и сравнивать их с порогом. В частности, структура оптимального по критерию отношения правдоподобия обнаружителя флоктуирующего сигнала на фоне аддитивной гауссовой помехи определяется достаточной статистикой:

$$Z_{\text{ВЫХ}} = Z_{\text{ВХ}}^* M^{-1} Z_{\text{ВХ}}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{ВХ}}$ – N -мерная комплексная входная выборка; N – количество импульсов в пачке, M – известная Эрмитова ковариационная матрица помехи; $*$ – знак транспонирования и комплексного

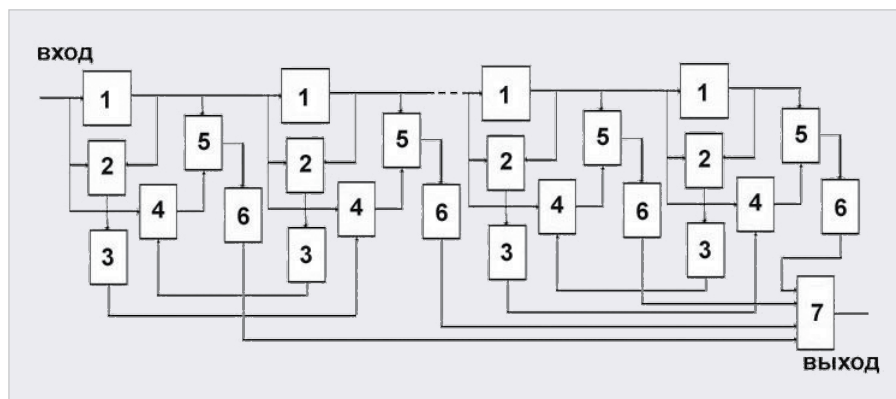


Рис. 3. Первая адаптивная разностно-фазовая система СДЦ

сопряжения. В реальных условиях ковариационная матрица коррелированной помехи неизвестна, поэтому воспользуемся адаптивным байесовским подходом, подставляя вместо неизвестной ковариационной матрицы помехи её оценку максимального правдоподобия.

С целью исключения операции обращения оцениваемой ковариационной матрицы, а значит, и упрощения алгоритмов при адаптивном обнаружении, воспользуемся аппроксимацией реальной коррелированной помехи Марковской m -связной последовательностью. В этом случае обратная корреляционная матрица имеет диагонально-ленточную структуру, причём не равны нулю только ближайшие m поддиагонали вблизи главной диагонали. В частности, для $m = 1$ обратная корреляционная матрица имеет вид:

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -R e^{-j\gamma} & 0 & 0 \\ -R e^{-j\gamma} & R^2 + 1 & -R e^{-j\gamma} & 0 \\ 0 & -R e^{-j\gamma} & R^2 + 1 & -R e^{-j\gamma} \\ 0 & 0 & -R e^{-j\gamma} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

где R, γ – оценки максимального правдоподобия модуля и аргумента межпериодного коэффициента корреляции пассивной помехи.

Тогда на выходе в соответствии с (2) и (3) получим для $m = 1$:

$$Z_{\text{ВЫХ}} = \sum_{i=0}^{N-1} (z_i - z_{i+1} \hat{R} e^{-j\hat{\gamma}}) \times (z_i - z_{i+1} \hat{R} e^{-j\hat{\gamma}})^*$$

Этот алгоритм можно дополнительно упростить, модифицировав обратную матрицу, добавив вместо 1 в правом её нижнем углу квадрат оценки модуля межпериодного коэффициента корреляции. Тогда для $m = 1$ получим:

$$Z_{\text{ВЫХ}} = \sum_{i=0}^{N-1} |z_i - z_{i+1} \hat{R} e^{-j\hat{\gamma}}|^2.$$

Нетрудно видеть, что такая адаптивная обработка включает в себя адаптивное «обеление» помехи с помощью нерекурсивных адаптивных фильтров первого порядка с последующим некогерентным накоплением. Предельное

упрощение достигается при рассмотрении сильно коррелированной помехи, т.е. $R = 1$. В этом случае алгоритм соответствует однократным череспериодным схемам вычитания с весовыми коэффициентами, формируемыми на основе оценок аргумента межпериодного коэффициента корреляции с последующим некогерентным накоплением.

Таким образом, при аппроксимации коррелированных помех односвязанной марковской последовательностью система СДЦ фактически является адаптивным режектором с непосредственным вводом оценок модуля и (или только) аргумента межпериодного коэффициента корреляции с последующим некогерентным накоплением. Однако оценки модуля и аргумента межпериодного коэффициента корреляции для борьбы с «ангелами» должны формироваться с усреднением не по независимым элементам дальности, как в случае протяжённой по дальности пассивной помехи, а по коррелированной пачке импульсов на разных несущих частотах или с использованием двух пачек импульсов с разными частотами повторения с последующим перекрёстным вводом полученных оценок модуля и аргумента межпериодного коэффициента корреляции. Исходя из этого, структурная схема адаптивной разностно-фазовой системы СДЦ будет иметь следующий вид (рис. 3).

Фактически это и есть первая адаптивная разностно-фазовая система СДЦ [6], на которую было мной получено авторское свидетельство ещё в 1976 году, в то время аспирантом, вместе с моим научным руководителем д.т.н. Шломоём Александром Михайловичем. В то время о цифровой реализации такой системы можно было только мечтать, поэтому в описании изобретения было сказано, что устройство реализуется в аналоговом виде на

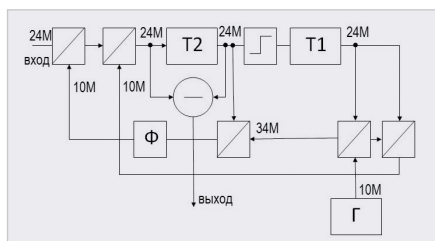


Рис. 4. Блок-схема первой аналоговой адаптивной разностно-временной системы СДЦ, внедрённой Алексеем Андреевичем Мамаевым в НИИИП. Сокращения: М – МГц, T1 и T2 – линии задержки, Ф – фильтр, Г – генератор, круг с минусом – схема вычитания, квадраты с косой чертой – смесители

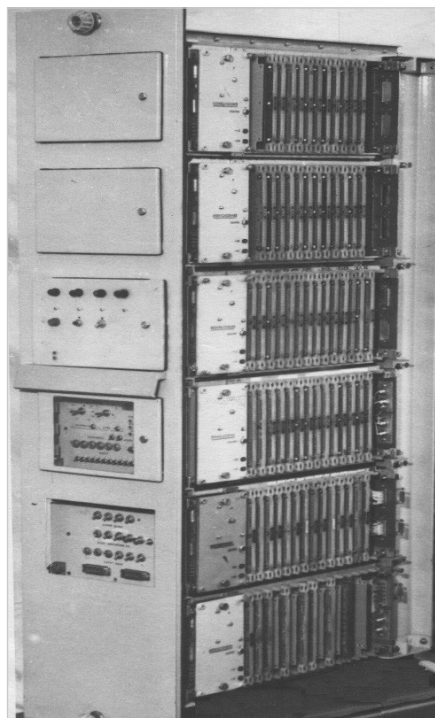


Рис. 5. Внешний вид унифицированной цифровой адаптивной разностно-фазовой системы СДЦ

промежуточной частоте и работает следующим образом. Сигналы возбуждения передатчика формируются с помощью многоотводной линии задержки 1 с возбуждённой временной расстановкой, определяемой длительностью задержки сигнала между отводами. Отражённые эхо-сигналы после внутривременной согласованной обработки подаются на вход устройства. В одной группе первых умножителей 2 производится оценка межпериодного коэффициента корреляции помехи, которая получается путём перемножения сигналов смежных периодов повторения и последующего усреднения этого произведения в блоках усреднения 3. Для учёта амплитуды и фазы этого произведения оценка коэффициента корреляции

производится на промежуточной частоте. Далее напряжение оценки межпериодного коэффициента корреляции вводится перекрёстно во вторые умножители 4, где производится череспериодная компенсация сигналов смежных периодов повторения с учётом амплитуд и фаз, а также оценки межпериодного коэффициента корреляции помехи. Результаты вычитания через детекторы 6 подаются на сумматор 7, где некогерентно накапливаются.

Это было моим главным достижением во время учёбы в аспирантуре – изобретение первой адаптивной разностно-временной системы СДЦ, которая получила дальнейшее усовершенствование и внедрение в РЛС ВНИИРТ (Москва) и НИИИП (Новосибирск).

Поскольку до поступления в очную аспирантуру я работал в отделе, возглавляемом А.А. Мамаевым в Новосибирском НИИ измерительных приборов, то сразу же, получив авторское свидетельство на адаптивную разностно-временную систему СДЦ, ознакомил Алексея Андреевича с моим предложением. А.А. Мамаев внимательно отнёсся к моему изобретению, внедрив его в разрабатываемые изделия (рис. 4).

Несмотря на сложность реализации аналоговой адаптивной разностно-временной системы СДЦ на промежуточной частоте для пачки из трёх импульсов с оценкой межпериодной разности фазы пассивной помехи по двум первым импульсам и с вводом этой оценки при вычитании сигналов второго третьего импульсов, новая система СДЦ была успешно внедрена в серийные РЛС 5Н64, 9С15 и др. Для ввода оценки доплеровского набег фазы на промежуточной частоте использовалось двойное преобразование частоты (см. рис. 4).

Явные преимущества этой адаптивной разностно-фазовой системы СДЦ состоят, с одной стороны, в том, что в ней может эффективно компенсироваться протяжённая пассивная помеха с произвольным коэффициентом корреляции, а с другой стороны, имеется возможность компенсировать дискретные коррелированные помехи, выбирая соответствующим образом полосу пропускания фильтра после умножителя в канале оценки модуля и аргумента межпериодного коэффициента корреляции.

В последующие годы адаптивные разностно-фазовые системы СДЦ практически модернизировались в Новосибирске (НИИИП), в Горьком (ГНИИРТ) и в Москве (ВНИИРТ). В 1979 году во

ВНИИРТе, куда я был распределён после окончания аспирантуры и защиты диссертации, было получено авторское свидетельство [7] на изобретение адаптивной разностно-временной системы СДЦ, в которой, используя пачку из трёх импульсов с расстановкой их по времени T_A и T_B , удавалось сформировать разностно-временную скоростную характеристику двукратной череспериодной схемы вычитания.

Наиболее совершенной адаптивной разностно-фазовой системой, работающей по возбуждённой пачке из трёх импульсов, можно считать цифровую систему СДЦ (ВНИИРТ, 1982 г.), в которой нашли отражение сразу несколько изобретений. Важно подчеркнуть, что это устройство не только было реализовано и испытано, но и в виде конструкторской документации было передано на Муромский завод радиоизмерительных приборов для модернизации систем СДЦ серийных РЛС. В этом устройстве впервые были применены новые принципы унификации (как в функциональном, так и в конструктивном отношении) на основе блочно-модульного построения. В силу большой повторяемости и взаимозаменяемости отдельных схемных элементов (ОЗУ, АЛУ, умножителей, функциональных преобразователей типа COS, SIN, ARCTG), из которых строится адаптивная система СДЦ, для их построения широко применяются унифицированные функциональные ячейки-модули (рис. 5).

Как уже отмечалось, наряду с улучшением характеристик разностно-временной системы СДЦ за счёт введения адаптивных свойств, такого же улучшения можно добиться и в адаптивной разностно-частотной системе СДЦ. Как и в адаптивной разностно-временной системе СДЦ, операция умножения эхо-сигналов используется только для оценки доплеровской разности фаз в каждом из частотных каналов. Череспериодное вычитание эхо-сигналов в одном из частотных каналов осуществляется с коррекцией по фазе одного из вычитаемых сигналов на основе оценки доплеровской разности фазы, полученной в другом частотном канале [8].

Адаптивные разностно-фазовые системы СДЦ повышенной эффективности

В настоящее время прогресс в области методов параметрического спек-

трального анализа с высоким разрешением и высокопроизводительных средств цифровой обработки сигналов на основе DSP и FPGA дали возможность подойти к реализации более совершенных алгоритмов адаптивных разностно-фазовых систем.

Адаптивная обработка в соответствии с (2) предполагает оценку ковариационной матрицы помехи и её обращение. Но избежать обращения оцениваемой ковариационной матрицы можно, используя не только марковскую модель коррелированной помехи, но и её авторегрессионную модель. Если входной случайный процесс может рассматриваться как процесс авторегрессии порядка p с коэффициентами авторегрессии a_p , тогда на выходе линейного КИХ-фильтра с весовыми коэффициентами, являющимися оценками коэффициентов регрессии, будет белый шум. Важно подчеркнуть, что использование в качестве обелителя авторегрессионного фильтра позволяет эффективно режектировать дискретные движущиеся пассивные помехи, имеющие теперь уже и многомодовые спектры. Так как при формировании оценок коэффициентов авторегрессии с усреднением по пачке принимаемых импульсов формируются весовые коэффициенты фильтра СДЦ, учитывающие свойства и помехи и полезного сигнала, это приводит к фильтрации как помехи, так и полезного сигнала. Поэтому был предложен способ [9], суть которого заключается в том, что для исключения влияния полезного сигнала на оценки коэффициентов фильтра при усреднении оценок коэффициентов авторегрессии по обрабатываемой пачке импульсов предлагается производить ввод весовых коэффициентов фильтра по пачке импульсов, полученной на другой несущей частоте или другой частоте повторения. При этом выбор частот повторения от пачки к пачке или несущих частот для двух выборок производится таким же образом, как и в классических разностно-фазовых системах СДЦ. Для формирования коэффициентов авторегрессии можно использовать разные известные способы, применяемые при параметрическом спектральном анализе высокого разрешения. В частности, для этой цели можно применить метод Берга [10].

Таким образом, предлагаемый алгоритм имеет следующий вид для первой и второй выборок наблюдений:



Рис. 6. Спектральное представление сигналов дискретной двухкомпонентной помехи с доплеровскими частотами компонент 10 Гц и 20 Гц и полезного сигнала с доплеровской частотой 200 Гц на входе. Амплитуды спектра в децибелах (dB), частота F в герцах с метками через 40 Гц. Две выборки на разных несущих частотах: 500 МГц и 550 МГц

$$Y1[n] = (a11z2[n]+a12z2[n - 1]+...+a1pz2[n - p]),$$

$$Y2[n] = (a21z1[n]+a22z2[n - 1]+...+a2pz2[n - p]),$$

где $a11, \dots, a1p$ – оценки коэффициентов авторегрессии первой выборки наблюдений, $z2[n]$ – n -й отсчёт второй входной выборки наблюдений, $a21, \dots, a2p$ – оценки коэффициентов авторегрессии второй выборки наблюдений, $z1[n]$ – n -й отсчёт первой входной выборки наблюдений.

Проиллюстрируем работу предлагаемого способа на конкретных примерах, прибегнув к моделированию с помощью системы MATLAB. Осуществим фильтрацию двух выборок наблюдений на разных несущих частотах 500 МГц и 550 МГц с постоянным периодом повторения 0,001 с. Зададим параметры полезного сигнала и двухкомпонентной помехи для каждой выборки наблюдений:

$as = 1$ – амплитуда полезного сигнала;

$fs1 = 200$ – доплер полезного сигнала, Гц, для первой выборки наблюдений;

$am = 1$ – амплитуда 1-й компоненты помехи;

$fm1 = 10$ – доплер 1-й компоненты помехи, Гц, для первой выборки наблюдений;

$l1 = 300/500$ – длина волны для первой выборки наблюдений с несущей 500 МГц;

$l2 = 300/550$ – длина волны для второй выборки наблюдений с несущей 550 МГц;

$fc1 = 20$ – доплер 2-й компоненты помехи, Гц, для первой выборки наблюдений;

$ac = 2$ – амплитуда 2-й компоненты помехи;

$vm = fm1 \times l1/2$; $fm2 = 2 \times vm/l2$ – доплер 1-й компоненты помехи, Гц, для второй выборки наблюдений;

$vc = fc1 \times l1/2$; $fc2 = 2 \times vc/l2$ – доплер 2-й компоненты помехи, Гц, для второй выборки наблюдений;

$vs = fs1 \times l1/2$; $fs2 = 2 \times vs/l2$ – доплер полезного сигнала, Гц, для второй выборки наблюдений.

Формирование коэффициентов авторегрессии, метод Берга, 4-й порядок авторегрессии:

- для первой выборки наблюдений: $aa1 = \text{arburg}(z1,4)$ – 4th order model 1-й канал;

- для второй выборки наблюдений: $aa2 = \text{arburg}(z2,4)$ – 4th order model 2-й канал.

Фильтрация с весами-коэффициентами авторегрессии;

- $y1 = \text{filter}(aa1, 1, z1)$ – без перекрёстных связей;

- $y2 = \text{filter}(aa1, 1, z2)$ – фильтрация 2-й выборки наблюдений весами 1-й выборки наблюдений;

- $y3 = \text{filter}(aa2, 1, z1)$ – фильтрация 1-й выборки наблюдений весами 2-й выборки наблюдений.

Спектральное представление на входе двухмодовой дискретной помехи и полезного сигнала представлено на рис. 6. Результаты фильтрации дискретной помехи для двух выборок с разными несущими частотами представлены для способа без перекрёстных связей на рис. 7, а для предлагаемого способа – на рис. 8. Как видно из этих графиков, для способа без перекрёстных связей отфильтровывается и помеха, и полезный сигнал, а в предложенном способе дискретная помеха отфильтровывается, а полезный сигнал остаётся.

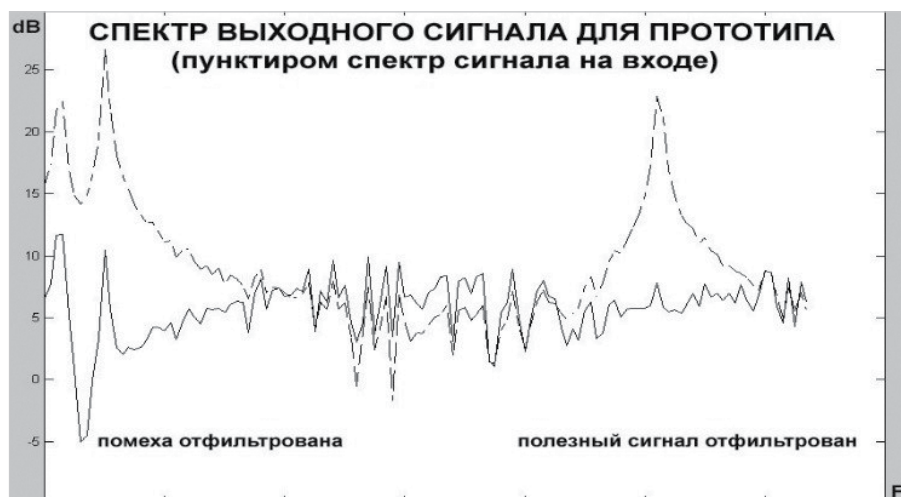


Рис. 7. Спектральное представление сигналов дискретной двухкомпонентной помехи с доплеровскими частотами компонент 10 Гц и 20 Гц и полезного сигнала с доплеровской частотой 200 Гц после фильтрации по способу соответствующего прототипа. Амплитуды спектра в децибелах (dB), частота F в герцах с метками через 40 Гц. Пунктиром показан спектр сигнала на входе

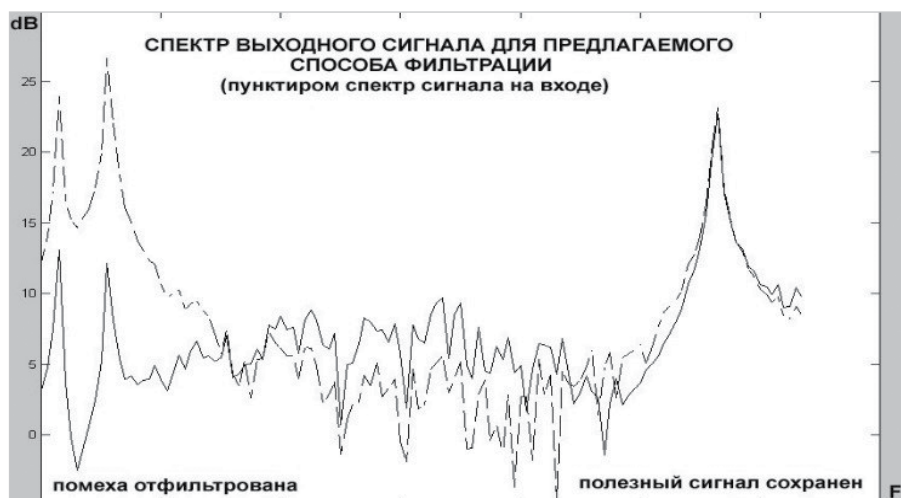


Рис. 8. Спектральное представление сигналов дискретной двухкомпонентной помехи с доплеровскими частотами компонент 10 Гц и 20 Гц и полезного сигнала с доплеровской частотой 200 Гц после фильтрации по предложенному способу. Амплитуды спектра в децибелах (dB), частота F в герцах с метками через 40 Гц. Пунктиром показан спектр сигнала на входе

Заключение

История о разностно-временной системе СДЦ в юбилей Алексея Андреевича Мамаева была бы неполной, если бы я не рассказал об одном эпизоде, сыгравшем важную роль в моей жизни. Дело в том, что научными исследованиями в области защиты РЛС от пассивных помех я занялся ещё на этапе моей дипломной работы, которую я подготовил в НИИИП и защитил на отлично. Затем, приступив к работе по распределению в этом же НИИ, я продолжил работать над этой проблемой. В частности, название моего первого научного доклада, когда я уже стал сотрудником НИИИП, на научной конференции в Ленинграде было таким: «Исследование эффективности разностно-временной системы СДЦ».

Продолжить заниматься этой проблемой я решил, поступив в очную аспирантуру.

Но для поступления в очную аспирантуру требовалась характеристика с места работы. Однако в дирекции НИИИП не спешили подписывать мою характеристику, подготовленную А.А. Мамаевым, в то время он был начальником отдела, в котором я работал. И тогда Алексей Андреевич лично добился подписания в дирекции моей характеристики, за что я ему был очень благодарен. И ещё я с благодарностью вспоминаю, как по указанию Алексея Андреевича был вписан номер моего изобретения адаптивной разностно-временной системы СДЦ в рабочую документацию изделия НИИИП, что и было подтверждением практического

внедрения материалов моей кандидатской диссертации.

И последнее, в конце 2021 года в научном издательстве «Горячая линия – Телеком» вышла книга «Защита РЛС от дискретных помех», в которой рассматривается проблема защиты радиолокационных станций (РЛС) от мешающих дискретных отражений и её решение с помощью адаптивных разностно-фазовых систем селекции движущихся целей. Данная работа является результатом моих продолжительных научных исследований, а приведённые практические примеры построения радиотехнических систем для защиты РЛС от такого рода помех основаны на полученных авторских свидетельствах и патентах.

Эта книга – своего рода памятник к 100-летию Алексея Андреевича Мамаева.

Литература

1. Бакулев П.А., Стетин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986.
2. Справочник по основам радиолокационной техники / под ред. В.В. Дружинина. М.: Военное издательство, 1967.
3. Крылов И.Г. Способ селекции движущихся целей в одночастотном радиолокаторе с возбуждающей частоты повторения и череспериодным вычитанием сигналов на промежуточной частоте. Авт. свидетельство № 1840641 от 19.02.1964.
4. Мамаев А.А., Ложкин Ю.Н., Яхонтов Р.Д. Разностно-временная схема ЧПК. Авт. свидетельство № 68841 от 03.06.1971.
5. Бартнев В.Г., Шлома А.М. О построении адаптивного обнаружителя импульсных сигналов на фоне нормальных помех с неизвестными корреляционными свойствами // Радиотехника. 1978. Т. 33. № 2.
6. Бартнев В.Г., Шлома А.М. Адаптивное устройство обработки сигналов. Авт. свидетельство № 604414 от 05.06.1976.
7. Бартнев В.Г. Устройство подавления мешающих отражений от дипольных отражателей и метеобразований. Авт. свидетельство № 171204 от 14.09.1979.
8. Бартнев В.Г. Селектор движущихся целей для двухчастотной РЛС. Авт. свидетельство № 176330 от 24.01.1980.
9. Бартнев В.Г. Способ адаптивной фильтрации дискретных помех. Патент № 2341015 по заявке № 2007101649 от 17.01.2007.
10. Потёмкин В.Г. Справочник по MATLAB. Анализ и обработка данных // URL: <http://matlab.exponenta.ru/ml/book2/chapter8/>.



**EXPO
ELECTRONICA**

24-я Международная выставка
электронных компонентов, модулей
и комплектующих

expoelectronica.ru

ПОЛУЧИТЕ БИЛЕТ



по промокоду **magazine**
на expoelectronica.ru
и electrontechexpo.ru

12-14 апреля 2022
Москва, Крокус Экспо



**ELECTRON
TECHEXPO**

19-я Международная выставка
технологий, оборудования и материалов
для производства полупроводников,
электронных компонентов и систем

electrontechexpo.ru

ПОЛУЧИТЕ БИЛЕТ



Реклама

0+

