

УДК 621.391

А. Н. Потапов

Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского
и Ю. А. Гагарина (г. Воронеж)

Обобщенная формализация сопутствующих признаков функционирования информационных эрготехнических радиоэлектронных систем на основе их структурно-логических моделей

Выполнена обобщенная формализация сопутствующих признаков функционирования информационных эрготехнических радиоэлектронных систем (РЭС), позволяющая создать унифицированное описание функционирования РЭС, инвариантное к их предметному назначению. Возможности осуществления РЭС функций выбора, распределения и перераспределения ресурсов зависят от заложенных в них механизмов управляемости. На основании единого подхода к представлению РЭС с учетом их управляемости уточнено структурно-логическое описание эрготехнических РЭС.

Радиоэлектронная система, структурно-логический, управление, модель, радиочастотные условия, взаимодействие, автоматизированный

Анализ существующего научно-методического аппарата операций применения радиоэлектронных систем (РЭС), основанного на положениях теории информационных конфликтов и теории системных конфликтов, показал, что первый подход не учитывает радиочастотных (РЧ) условий функционирования, а второй – не отражает ресурсно-управляемые возможности РЭС. Таким образом, оба указанных подхода не могут быть использованы в явном виде для РЭС, которые в противовес "антагонистическим" отношениям образуют "дружественные" или независимые отношения. Это не позволяет обеспечить не только защиту операций от конфликта применения различных по целевому назначению РЭС, но и адекватное формирование операций.

Описания РЭС, рассматриваемые в настоящей статье, обеспечивают их единое представление в виде структурно-логических схем, отличительной особенностью которых является учет РЧ-взаимодействий с элементами среды, выраженных через РЧ-действия и РЧ-влияния и образующие причинно-следственные отношения РЧ-условий функционирования РЭС. Для построения структурно-логических схем функционирования эрготехнических РЭС, учитывающих операторскую деятельность, отдельно рассмотрены механизмы их управляемости.

Сопутствующие признаки функционирования.

Все РЭС по своему функциональному предназначению основываются на использовании радиоволн, в

интересах чего осуществляют действия по их излучению и (или) приему. В [1] определена классификация РЭС, подтверждающая справедливость их рассмотрения относительно радиочастотных действий и позволяющая сформировать единый универсальный подход к представлению РЭС, инвариантный к РЧ-условиям. Однако еще остается нерешенной задача унифицированного описания функционирования РЭС, инвариантного к их назначению. Для этого необходимо разработать обобщенную формализацию сопутствующих признаков с учетом структурно-логических схем функционирования информационных эрготехнических РЭС.

В рамках поставленной задачи под РЭС понимается объект S , производящий некоторую целевую совокупность действий $\Delta_S = \{\Delta_{S_i}\}$, $i = \overline{1, N_{\Delta_S}}$ в РЧ-спектре по отношению к среде Q . В свою очередь, среда Q – область окружения РЭС S (которая может содержать разнородные объекты $Q = \{Q_j\}$, $j = \overline{1, N_Q}$, в частности, другие РЭС), влияющая на рассматриваемую РЭС посредством РЧ-воздействий $\Delta_Q = \{\Delta_{Q_j}\}$.

Выработка рекомендаций по применению РЭС должна учитывать как общность действий в РЧ-спектре, так и возможности их реализации.

Под общностью R_f РЧ-спектра будем понимать непустое множество радиочастот $R_f = \{f_k\}$, образующееся в результате пересечения множеств

радиочастот $f_S = \{f_{Sp}\}$ и $f_Q = \{f_{Qj}\}$, используемых РЭС S и средой Q соответственно:

$$R_f : f_Q \cap f_S \neq \emptyset.$$

Элемент f_k множества радиочастот R_f образуется в результате

$$f_k : (f_{Qj} \wedge f_{Si} = f_{Qj}) \vee (f_{Qj} \wedge f_{Si} = f_{Si}).$$

Отсутствие общности РЧ-спектра ($\bar{R}_f = \{\bar{f}_k\}$)

наблюдается, когда $\bar{R}_f : f_Q \cap f_S = \emptyset$, т. е.

$$\bar{f}_k : (f_{Qj} \wedge f_{Si} = 0) \vee (f_{Qj} \wedge f_{Si} = 0).$$

Прямую РЧ-связанность РЭС со средой опишем соотношением $d_f^+ : S \xrightarrow{R_f} Q$. Аналогично представим обратную РЧ-связанность РЭС со средой:

$$d_f^- : S \xleftarrow{R_f} Q.$$

Наличие одновременно d_f^+ и d_f^- означает, что РЭС и среда являются взаимосвязанными в РЧ-спектре:

$$d_f^\pm = d_f^+ \wedge d_f^- = \left(S \xrightarrow{R_f} Q \right) \wedge \left(S \xleftarrow{R_f} Q \right) = S \leftrightarrow Q.$$

Тогда имеют место следующие отношения:

$\bar{d}_f^+ : S \xrightarrow{\bar{R}_f} Q$ – объект S не имеет прямой РЧ-связанности со средой Q ;

$\bar{d}_f^- : S \xleftarrow{\bar{R}_f} Q$ – объект S не имеет обратной РЧ-связанности со средой Q ;

$\bar{d}_f^\pm : S \leftrightarrow Q$ – объект S не имеет как прямой, так и обратной РЧ-связанностей со средой Q .

В соответствии с этим образуются множества отношений РЧ-связанности:

$$d_f = \{d_f^+ d_f^- d_f^\pm\} = \{d_f^\lambda\};$$

и несвязанности:

$$\bar{d}_f = \{\bar{d}_f^+ \bar{d}_f^- \bar{d}_f^\pm\} = \{\bar{d}_f^\lambda\}, \lambda \in (+, -, \pm).$$

Так как между любым элементом Q_j среды и РЭС существуют либо отношения $d_f^\lambda \in d_f$, либо отношения $\bar{d}_f^\lambda \in \bar{d}_f$, то с учетом введенных по-

ятий среда может состоять из множества РЧ-связанных элементов:

$$Q_c = \{Q_{cj} : (Q_j, S) \notin \bar{d}_f\} = \{Q_{cj} : (Q_j, S) \in d_f\}$$

и множества несвязанных элементов:

$$Q_d = \{Q_{dj} : (Q_j, S) \notin d_f\} = \{Q_{dj} : (Q_j, S) \in \bar{d}_f\},$$

причем

$$Q = \{Q_{cj} : (Q_j, S) \in d_f\} \cup \{Q_{dj} : (Q_j, S) \in \bar{d}_f\}.$$

Особый интерес вызывает множество РЧ-связанности Q_c элементов среды с РЭС, так как если $Q_c = \{Q_{cj}\} = \emptyset$, то функционирование последнего для достижения желаемого результата P_S теряет свой смысл. Поэтому $Q_c \neq \emptyset$ – первый сопутствующий признак функционирования РЭС S .

Естественно, что если $Q_c \neq \emptyset$ при $\Delta_S = \emptyset$, то $\Delta_S \subseteq S$ и $\Delta_Q = \emptyset$, $\Delta_Q \subseteq Q$, либо $\Delta_S \neq \emptyset$ и $\Delta_Q = \emptyset$, либо $\Delta_S = \emptyset$ и $\Delta_Q \neq \emptyset$. При этом функционирование РЭС S в целях достижения желаемого результата P_S также теряет свой смысл. Поэтому $\Delta_S \neq \emptyset$ и $\Delta_Q \neq \emptyset$ – второй сопутствующий признак функционирования РЭС S .

Очевидно, что если $\Delta_S \neq \emptyset$ достигает $\Delta_Q \neq \emptyset$, а это возможно тогда и только тогда, когда $Q_c \neq \emptyset$, то возникает множество воздействий $\Pi_{SQ} = \{\Pi_{SQn}\}$ РЭС S на среду Q : $\Pi_{SQ} = \Delta_S \cap \Delta_Q$, $\Pi_{SQ} \subseteq Q_c$. Поэтому $\Pi_{SQ} \neq \emptyset$ – третий сопутствующий признак функционирования РЭС S .

Варианты формирования воздействия Π_{SQ} РЭС S на среду Q могут быть различными: прямое воздействие $\Pi_{SQ}^+ : \left(\Delta_S \xrightarrow{Q_c} \Delta_Q \right)$; обратное воздействие $\Pi_{SQ}^- : \left(\Delta_S \xleftarrow{Q_c} \Delta_Q \right)$; взаимное воздействие $\Pi_{SQ}^\pm : \left(\Delta_S \leftrightarrow^{Q_c} \Delta_Q \right)$.

Воздействия Π_{SQ} РЭС S на среду Q по природе формирования эквивалентны воздействиям Π_{QS} среды Q на РЭС S , т. е.

$$\Pi_{SQ}^+ \sim \Pi_{QS}^- : \left(\Delta_Q \xleftarrow{Q_c} \Delta_S \right);$$

$$\Pi_{SQ}^- \sim \Pi_{QS}^+ : \left(\Delta_Q \xrightarrow{Q_c} \Delta_S \right);$$

$$\Pi_{SQ}^+ \sim \Pi_{QS}^- : \left(\Delta_Q \xleftarrow{Q_c} \Delta_S \right).$$

Если принять, что $Q_c \neq \emptyset$ и $\Delta_Q \neq \emptyset$ являются влиянием β_Q среды Q на РЭС, то справедлива запись [2]: $\Delta_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ}$.

Аналогичным образом получим логическую цепочку формирования воздействия среды Q на РЭС S : $\Delta_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS}$, где $\beta_S : [(Q_c \neq \emptyset) \vee (\Delta_S \neq \emptyset)]$.

Полученные логические цепочки наглядно представляют процесс формирования воздействий Π_{SQ} и Π_{QS} в РЧ-спектре.

Структурно-логическое представление. С учетом изложенного процесс функционирования, например активно-пассивных РЭС S , можно описать в следующем виде [3]:

– первично РЭС формирует в РЧ-спектре действие Δ_S , направленное на излучение радиоволн y_S ($\Delta_S : y_S$);

– при наличии в РЧ-спектре влияния β_Q среды Q часть действия $\Delta_S : y_S$ трансформируется в воздействие Π_{SQ} , радиоволны y'_S которого являются радиоволнами x'_Q , принимаемыми средой Q , т. е. $\Pi_{SQ} : y'_S = x'_Q$;

– в соответствии с принимаемыми радиоволнами x'_Q среда Q излучает собственные радиоволны y_Q , которые являются ее реакцией $\text{Re}(Q)$ на воздействие Π_{SQ} РЭС S , т. е. $y_Q = \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ}$;

– излучение средой Q радиоволн y_Q характеризует в РЧ-спектре ее действие $\Delta_Q : \Delta_Q : y_Q$;

– при наличии в РЧ-спектре влияния β_S объекта S часть действия $\Delta_Q : y_Q$ трансформируется в воздействие Π_{SQ} , радиоволны y'_Q которого являются радиоволнами x'_S , принимаемыми РЭС S , т. е. $\Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S)$.

Схематично это можно представить в виде

$$\begin{aligned} \Delta_S : y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : (y'_S = x'_Q) \rightarrow \\ \rightarrow \langle y_Q = \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ} \rangle \rightarrow \\ \rightarrow \Delta_Q : y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S). \end{aligned}$$

Аналогичным образом можно представить процесс функционирования [2], [3]:

– пассивно-активных РЭС:

$$\begin{aligned} \Delta_Q : y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S) \rightarrow \\ \rightarrow \langle y_S = \text{Re}(S) : \Pi_{QS} \rangle \rightarrow \\ \rightarrow \Delta_S : y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : y'_S = x'_Q; \end{aligned}$$

– активно-адаптивных РЭС:

$$\begin{aligned} \Delta_S : y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : (y'_S = x'_Q) \rightarrow \\ \rightarrow \langle y_Q = \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ} \rangle \rightarrow \\ \rightarrow \Delta_Q : y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S) \rightarrow \\ \rightarrow \langle y_S = \text{Re}(S) : \Pi_{QS} \rangle; \end{aligned}$$

– пассивно-адаптивных РЭС:

$$\begin{aligned} \Delta_Q : y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S) \rightarrow \\ \rightarrow \langle y_S = \text{Re}(S) : \Pi_{QS} \rangle \rightarrow \\ \rightarrow \Delta_S : y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : (y'_S = x'_Q) \rightarrow \\ \rightarrow \langle y_Q = \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ} \rangle, \end{aligned}$$

где $x'_S \subseteq x_S$; $y'_S \subseteq y_S$; $x'_Q \subseteq x_Q$ и $y'_Q \subseteq y_Q$.

В этих структурно-логических схемах в явном виде отсутствует учет ресурсов РЭС. В [4] рассмотрен пример, из которого наглядно видно, что эффективность применения РЭС зависит не только от располагаемых ресурсов, в частности энергетических, но и от возможности реализации объектом функций их перераспределения, в частности излучаемой мощности.

Возможности осуществления РЭС функций выбора, распределения и перераспределения ресурсов зависят от заложенных в нем механизмов управляемости. Для построения структурно-логических схем функционирования эрготехнических РЭС, учитывающих операторскую деятельность, рассмотрим отдельно механизмы их управляемости.

Описание механизмов управляемости. Как определено в [4], формирование РЧ-воздействия Π_{SQ} зависят от множества располагаемых РЭС S ресурсов $R_S = \{f_S, t_S, W_S, \xi_S\}$, где f_S – РЧ-ресурсы (первообразные множества РЧ-связанности $Q_c = \{Q_{cj}\} \neq \emptyset$); t_S , W_S и ξ_S – временные, энергетические и пространственные ресурсы соответственно (первообразные множества действия $\Delta_S \neq \emptyset$).

Ресурсы R_S , которыми располагают РЭС S , могут характеризоваться следующими параметрами [2]:

f_S – рабочей радиочастотой f_{S0} , РЧ-диапазоном Δf_S , полосой пропускания ΔF_S и т. п.;

t_S – моментом времени f_{S0} , возникновения действия Δ_S , длительностью τ_S и периодичностью T_S действия Δ_S и т. п.;

W_S – энергией E_S , затрачиваемой на формирование действия Δ_S , средней мощностью p_S , импульсной мощностью p_{Si} , коэффициентом полезного действия η_S и т. п.;

ξ_S – шириной распространения (проникновения) $\Delta\theta_S$ и $\Delta\Phi_S$ действия Δ_S в азимутальной и угломестной плоскостях соответственно, азимутом θ_S и углом места Φ_S распространения максимума действия Δ_S , пространственной поляризации γ_S действия Δ_S и т. п.

Располагаемые ресурсы R_S определяют потенциальные возможности применения РЭС.

Известно [2], что РЭС S при воздействии Π_{QS} на него среды Q может формировать в РЧ-спектре реакцию $\text{Re}(S)$ в виде ответных действий:

$$\Delta_S = \text{Re}(S) : \Pi_{QS}.$$

Реакция $\text{Re}(S)$ может быть управляемой и неуправляемой.

В свою очередь, РЭС S можно представить в виде [2] $S \subset \Pi_{QS} \times \Delta_S$, $\Delta_S = \text{Re}(S) : (\Pi_{QS}, C_S)$ ("x" – символ декартового произведения множеств) или $\Pi_{QS} \rightarrow C_S \rightarrow \Delta_S$, где C_S – множество состояний S .

Если $C_S \neq C_S(\Pi_{QS})$, то S является условно управляемым в РЧ-спектре. Управление заключается в адаптации его действий Δ_S на воздействия Π_{QS} без изменения C_S :

$$\begin{aligned} \Delta_S &\rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} \rightarrow \Delta_Q = \\ &= \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ} \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} \rightarrow C_S, \end{aligned}$$

Если $C_S = C_S(\Pi_{QS})$, то S является безусловно управляемым в РЧ-спектре, а управление заключается в изменении состояния C_S на воздействия Π_{QS} : $\Pi_{SQ} \rightarrow C_S(\Pi_{SQ}) \rightarrow \Delta_S$.

Объект S может быть комплексно управляемым в РЧ-спектре, т. е. для одной части элемен-

тов множества $C_S = C_S(\Pi_{QS})$, а для другой части – $C_S \neq C_S(\Pi_{QS})$:

$$\begin{aligned} \Delta_S &\rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} \rightarrow \Delta_Q = \\ &= \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ} \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} \rightarrow C_S(\Pi_{QS}). \end{aligned}$$

Необходимо отметить, что помимо внешней управляемости (по радиоканалам) РЭС S он может быть внутренне управляемым (по электрическим цепям).

Внутренняя управляемость состоит в изменении состояния C_S РЭС S в зависимости от текущей полезности q_S его функционирования и желаемого результата P_S для сложившихся РЧ-условий.

Известно [4], что полезность функционирования РЭС S можно представить в виде

$$q_S = q_S(\Pi_{QS}, \Delta_S).$$

Если текущая величина функции полезности РЭС S отличается от желаемого результата P_S , то необходимо сформировать такое управляющее воздействие δ_S на состояние C_S , при котором $q_S \rightarrow P_S$, т. е. $\delta_S(C_S) : q_S \rightarrow P_S$ или $\delta_S = F(q_S - P_S)$, где F – функционал.

В свою очередь, состояние C_S зависит от располагаемых ресурсов R_S [1]: $C_S = \text{Re}(S) : R_S$.

Поэтому управляющее воздействие δ_S заключается в выборе и распределении (перераспределении) располагаемого ресурса R_S . С учетом этого процедура внутреннего управления РЭС S , направленная на формирование в РЧ-спектре его действия Δ_S в соответствии с воздействиями Π_{QS} среды Q , может быть представлена как

$$\Pi_{QS} \rightarrow \delta_S = F(q_S - P_S) \rightarrow R_S \rightarrow C_S \rightarrow \Delta_S.$$

Процедура внутреннего управления РЭС S может быть организационной и неорганизационной [2]. Организационное управление РЭС S_0 заключается в выборе и распределении (перераспределении) располагаемого ресурса R_S непосредственно человеком-оператором. Эти действия направлены на минимизацию невязки между действительной полезностью q_S и желаемым результатом P_S функционирования объекта и реализуются оператором с помощью органов управления.

Неорганизационное управление РЭС $S_{н.о}$ – это автоматическое управление располагаемыми

ресурсами R_S , выполняемое без участия оператора на основании действий, которые по отношению к объекту являются внутренними.

Как правило, в РЭС S имеется сочетание организованного и неорганизованного управлений. Такое сочетание уместно называть частично организованным управлением. Введенные понятия эквивалентны следующим понятиям существующей классификации управления РЭС [3]:

ручное управление – организационное управление объекта;

автоматическое управление – неорганизационное управление объекта;

автоматизированное (полуавтоматическое) управление – сочетание организационного и неорганизационного управлений объекта.

В зависимости от реализации указанных типов управления выделяются две группы РЭС:

эрготехнические (S_3) – объекты, ресурсами R_S которых полностью либо частично управляет человек-оператор;

технические (S_T) – объекты, в которых управление их ресурсами R_S производится на техническом уровне без участия человека.

Эрготехнические РЭС S_3 в сочетании или без сочетания с техническими РЭС S_T могут образовывать эрготехнические радиоэлектронные объекты SS_3 более высокого уровня через их внешние действия, характеризующиеся либо общностью R_f РЧ-спектра, либо общностью электрических соединений R_c , либо обеими указанными общностями совместно [2]:

$$SS_3 = \left[\bigcup_{R_f} (S_3, S_T) \right] \vee \left[\bigcup_{R_c} (S_3, S_T) \right] \vee \left[\bigcup_{R_f \wedge R_c} (S_3, S_T) \right].$$

Так, в частности, реализуются системы дистанционного управления техническими объектами с помощью эрготехнических объектов на основании использования радиолиний и электрических цепей.

В свою очередь, совокупность эрготехнических радиоэлектронных объектов в сочетании либо без сочетания с эрготехническими и (или) техническими РЭС могут образовывать эрготехнические радиоэлектронные комплексы (РЭК) KS_3 – системы еще более высокого уровня через внешние действия, аналогичные воздействиям в эрготехнической системе:

$$KS_3 = \left[\bigcup_{R_f} (SS_3, S_3, S_T) \right] \vee \left[\bigcup_{R_c} (SS_3, S_3, S_T) \right] \vee \left[\bigcup_{R_f \wedge R_c} (SS_3, S_3, S_T) \right].$$

Так, например, реализуются наземные радиолокационные комплексы, сочетающие в себе эрготехнические радиолокационные системы (РЛС), работающие на различных принципах и иногда в различных диапазонах радиочастот, но имеющие общность электрических соединений, в частности РЛС обнаружения, РЛС опознавания и РЛС сопровождения целей.

На следующем уровне объединения совокупность эрготехнических РЭК в сочетании или без сочетания с эрготехническими и (или) техническими системами и объектами могут образовывать комплексы более высокого уровня – эрготехнические интегрированные РЭК:

$$IS_3 = \left[\bigcup_{R_f} (KS_3, SS_3, S_3, S_T) \right] \vee \left[\bigcup_{R_c} (KS_3, SS_3, S_3, S_T) \right] \vee \left[\bigcup_{R_f \wedge R_c} (KS_3, SS_3, S_3, S_T) \right].$$

Характерным примером IS_3 является РЭК управления воздушными судами (ВС), сочетающий в себе эрготехнические РЭС, имеющие различное функциональное предназначение, например:

– радиолокационную систему для обнаружения, опознавания, сопровождения цели, выдачи целеуказаний;

– систему радиосвязи для обеспечения радиосвязи с наземными объектами и с другими ВС;

– навигационно-пилотажный комплекс для определения траекторных параметров полета ВС и управления его местоположением, в частности при решении задач межсамолетной навигации.

Как радиоэлектронная система, так и РЭК, а значит, и интегрированный РЭК, в свой состав помимо РЭС могут включать нерадиотехнические средства, которые либо резервируют РЭС, но с более низкой точностью определяют необходимые параметры, либо обеспечивают те параметры, которые не могут быть определены с помощью РЭС.

В связи с тем, что основой построения эрготехнических систем различного уровня интеграции, обусловленных общностью R_f РЧ-спектра и общностью R_c электрических соединений, являются эрготехнические РЭС, а их функциониро-

вание напрямую зависит от подготовленности человека к управлению ими в интересах достижения желаемого результата P_S , целесообразно рассмотреть условия взаимодействия конкретного РЭС со средой. При этом часть элементов среды в условиях общности либо РЧ-спектра R_f , либо электрических соединений R_c , либо при сочетании первых и последних с конкретным объектом могут образовывать эрготехнические системы более высокого уровня.

Поэтому в дальнейшем будем рассматривать эрготехнические РЭС, в которых в зависимости от условий взаимодействия объекта со средой человек, выполняющий функции оператора, может осуществлять помимо гибкого выбора и распределения ресурсов объектов и их перераспределение.

Примем, что взаимодействие оператора с РЭС происходит на основании анализа информационно-управляющего поля $\Xi = \{\Xi_k\}$ и совершения некоторой совокупности сенсорных действий $D = \{D_i\}$, являющейся операцией по использованию органов управления (ОУ) объекта, направленной на достижение поставленной перед объектом цели (желаемого результата P_S) (рис. 1).

Информационно-управляющее поле $\Xi = \{\Xi_k\}$ включает:

- информацию Ξ_q о полезности функционирования объекта q_S , которая в специальном виде отражается на средствах индикации (СИ);
- информацию Ξ_D о состоянии $C_S = \{C_{Sp}\}$ (режимы и параметры функционирования) объекта, которая определяется положением органов управления и вспомогательной индикацией.

Информация Ξ_P , характеризующая желаемый результат P_S , в процессе тренировок фиксируется в памяти операторов в виде перцептивных зрительных (сенсорных) [5] и моторных об-

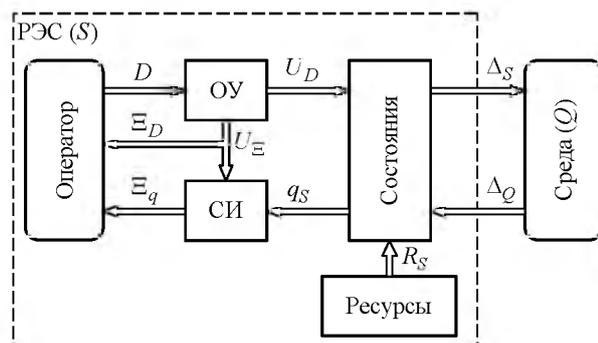


Рис. 1

разов Ψ_S по отработанным типовым ситуациям Ω_S , соответствующим заданным условиям функционирования (Δ_S, Δ_Q) и предписанным операциям применения РЭС D_S . При попадании оператора в какую-либо ранее отработанную ситуацию $\Omega_{Sm} \in \Omega_S$, отождествляемую информационно-управляющим полем Ξ , из его памяти воспроизводятся перцептивные образы $\Psi_{Sm} \in \Psi_S$. Согласно перцептивным образам Ψ_{Sm} , соответствующим предписанным операциям применения РЭС $D_{Sm} \in D_S$, оператор выполняет доведенные за время тренировок до автоматизма действия D (навыки), направленные на достижение желаемого (известного) результата P_S . Сами действия D в конечном итоге должны способствовать переходу $\Xi_q \rightarrow \Xi_P$, т. е. $q_S \rightarrow P_S$.

Успех достижения желаемого результата P_S определяется уровнем подготовленности оператора. Если оператор попадает в ранее им не отработанную ситуацию $\Omega_{Sn} \notin \Omega_S$, то из его памяти воспроизводятся наиболее сходные для этой ситуации варианты перцептивных образов $\{\Psi_{Sm}\}$, на основании которых он либо выбирает конкретный вариант действия $\Psi_{Sm} \in \Psi_S$, либо синтезирует новый вариант $\Psi_{S\Sigma} \notin \Psi_S$. При этом нет гарантии, что выбранный Ψ_{Sm} или синтезируемый $\Psi_{S\Sigma}$ оператором вариант перцептивных образов будет соответствовать желаемому результату P_S . Очевидно, что некоторую гарантию можно обеспечить лишь в процессе тренировок операторов по отработке ситуации Ω_{Sn} . В свою очередь, в соответствии с рис. 1 реализация операции D обеспечивает множество управлений $U_D = \{U_{Dk}\}$ множеством состояний объекта $C_S = \{C_{Sp}\}$, которое зависит от ресурсов объекта $R_S = \{R_{Sl}\}$ и определяет множество $\Delta_S = \{\Delta_{Si}\}$ РЧ-действий объекта в ответ на множество $\Delta_Q = \{\Delta_{Qj}\}$ РЧ-действий среды.

Заметим, что в описанном представлении РЭС не учитываются следующие важные факторы:

- сопутствующие условия функционирования РЭС S , вызванные общностью РЧ-спектра R_f с элементами среды Q ;
- достаточные условия функционирования объекта S , вызванные его ресурсами R_S .

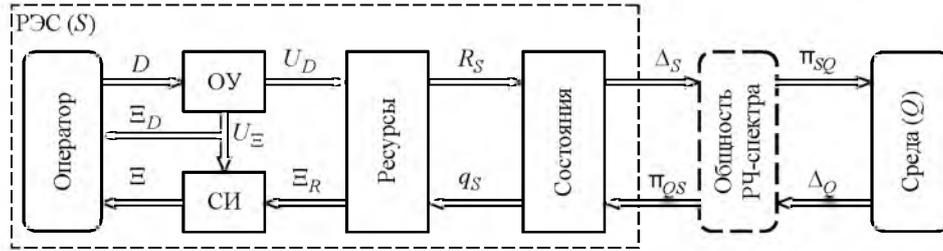


Рис. 2

Ресурсы R_S обеспечивают как формирование РЧ-действий Δ_S , так и формирование информационных потоков Ξ , на основании анализа которых оператор производит операции D по воздействию на органы управления объекта S [5]. С учетом этого функционирование, например адаптивно-пассивного эрготехнического РЭС, можно описать в следующем виде [5]:

– для автоматизированного режима ($\delta_S \neq \emptyset$, $U_S \neq \emptyset$):

$$\begin{aligned} \pi_{QS} \rightarrow \delta_S = F(q_S - P_S) \vee (\wedge) \Xi \rightarrow \\ \rightarrow \langle \Psi_S \rangle \rightarrow D \rightarrow U_D \rightarrow \\ \rightarrow \vee (\wedge) R_S \rightarrow C_S \rightarrow \Delta_S \rightarrow \beta_{SQ} \rightarrow \pi_{SQ} \rightarrow \\ \rightarrow \langle \Delta_Q = \text{Re}(Q) : \pi_{SQ} \rangle \rightarrow \beta_{QS} \rightarrow \pi_{QS}; \end{aligned} \quad (1)$$

– для ручного режима ($\delta_S = \emptyset$, $U_S \neq \emptyset$):

$$\begin{aligned} \pi_{QS} \rightarrow q_S \rightarrow \Xi \rightarrow \langle \Psi_S \rangle \rightarrow \\ \rightarrow D \rightarrow U_D \rightarrow R_S \rightarrow C_S \rightarrow \Delta_S \rightarrow \\ \rightarrow \beta_{SQ} \rightarrow \pi_{SQ} \rightarrow \langle \Delta_Q = \text{Re}(Q) : \pi_{SQ} \rangle \rightarrow \\ \rightarrow \beta_{QS} \rightarrow \pi_{QS}. \end{aligned} \quad (2)$$

Такое описание соответствует обобщенной структуре эрготехнического РЭС S (рис. 2).

Функционирование автоматического РЭС S ($\delta_S \neq \emptyset$, $U_S = \emptyset$) имеет следующее представление:

$$\begin{aligned} \pi_{QS} \rightarrow \delta_S = F(q_S - P_S) \rightarrow R_S \rightarrow \\ \rightarrow C_S \rightarrow \Delta_S \rightarrow \beta_{SQ} \rightarrow \pi_{SQ} \rightarrow \\ \rightarrow \langle \Delta_Q = \text{Re}(Q) : \pi_{SQ} \rangle \rightarrow \beta_{QS} \rightarrow \pi_{QS}. \end{aligned}$$

Аналогичным образом строятся структурно-логические модели функционирования других типов РЭС.

Разработанное в настоящей статье описание функционирования РЭС позволяет наглядно представлять процессы управления РЧ-взаимодействием со средой. Структурно-логические модели (1) и (2) определяют прямую задачу по регулированию РЧ-условий функционирования РЭС за счет выполнения операторами предписанных операций D в соответствии с ранее сформированными у них перцептивными образами. Для определения содержательного компонента учебных упражнений необходимо решение обратной задачи: формирование предписанных операций D в соответствии с РЧ-условиями функционирования и с ресурсными возможностями РЭС. При этом следует учитывать не только возможные стратегии действий РЭС D'_S и действий среды D'_Q , но также целевую ориентацию и взаимное влияние операций. Необходимо отметить, что в зависимости от целевой ориентации операций РЭС и элементы среды могут быть дружественными, антагонистическими и независимыми, а в соответствии со взаимным влиянием могут находиться в сотрудничестве, в конфликте и в безразличии. Однако отсутствие единых подходов в представлении отношений операций не позволяет найти универсальное решение рассматриваемой обратной задачи, а значит, сформировать метод защиты содержательного компонента учебных упражнений от конфликта применения РЭС, инвариантный к их целевому и функциональному предназначениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапов А. Н. Автоматизация тренажной подготовки операторов радиоэлектронных объектов управления воздушным движением. Воронеж: Изд-во ВАИУ, 2010. 136 с.
2. Дикарев В. А., Потапов А. Н., Султанов Р. В. Обеспечение качества применения компьютерных систем тренажа. Балашов: Изд-во "Николаев", 2002. 89 с.

3. Дикарев В. А., Потапов А. Н. Особенности профессиональной подготовки космонавтов при использовании компьютерных систем тренажа // XXXIV Научные чтения, посвященные разработке творческого наследия К. Э. Циолковского, Калуга, 14–16 сент. 1999 г.: тез. докл. М: ИИЕТ РАН, 1999. С.181–187.

4. Потапов А. Н., Сысоев Е. С. Особенности функционирования эргатических радиоэлектронных средств управления воздушным движением // Научные чтения им. А. С. Попова: сб. ст. региональной науч.-практ. конф. курсантов, студентов, молодых ученых, Воронеж, 16 окт. 2012 г. / ВУНЦ ВВС "ВВА". Воронеж, 2012. С. 38–42.

A. N. Potapov

Air Force Academy n. a. Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin (Voronezh)

5. Потапов А. Н. К вопросу разрешения конфликтов в практической подготовке лиц группы руководства полетами // Теория конфликта и ее приложение: материалы I Всерос. науч.-техн. конф., Воронеж, 26–29 июня 2000 г. / ВГТА. Воронеж, 2000. С. 24–27.

Generalized Formalization Related Signs of Functioning Ergo Technical Information Electronic Systems on the Basis of Their Structural and Logical Models

Performed a generalized formalization related signs of functioning ergo technical information radio electronic systems (RES), which allows to solve the problem of unified description of the functioning of the RES, with invariance to their substantive appointment. The possibility of implementation of the RES functions selection, allocation and reallocation of resources depend on its inherent mechanisms of control. On the basis of a unified approach to the representation of the RECs, as well as given their handling, refined structural and logical description of ergo technical RES.

Radio-electronic system, structural-logic, control, model, radio conditions, interference, automated

Статья поступила в редакцию 8 февраля 2016 г.

УДК 621.372.55

Ю. М. Иншаков

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

А. В. Белов

Институт экспериментальной медицины (Санкт-Петербург)

Перестраиваемый активный RC-фазовый контур

Рассмотрена реализация схемы активного RC-фазового контура второго порядка с независимой перестройкой частоты и добротности. Частота фазового контура перестраивается в девять раз с помощью одного потенциометра при постоянстве крутизны фазочастотной характеристики и единичном значении коэффициента передачи в рабочем диапазоне частот.

Активный RC-фазовый контур, независимая перестройка частоты и добротности

При разработке современной аппаратуры связи, а также систем автоматического регулирования, возникает необходимость применения перестраиваемых активных фазовых RC-корректоров, поскольку коррекция фазовых искажений, например в системах связи, относится к эффективным и в то же время к сравнительно простым средствам повышения их качественных и количественных показателей [1]. Фазовые искажения, вносимые каналами связи и амплитудными корректорами, можно скорректировать с помощью перестраиваемых фазовых контуров (ФК). Вопросам их проектирования уделено внимание в [1]–[3]. Регулировка по частоте фильтров второго порядка при сохранении постоянства добротности обычно возможна при

одновременном синхронном изменении двух частото задающих элементов, как правило, резисторов. С помощью одного регулируемого резистивного элемента перестройка возможна в небольшом диапазоне частот и при изменении добротности.

Целью настоящей статьи является рассмотрение вопросов синтеза активного RC ФК с независимой перестройкой в широких пределах частот нулей, полюсов и его добротности. Синтез передаточной функции (ПФ) ФК осуществляется использованием дополнительного топологического преобразования исходной схемы инвертирующего перестраиваемого активного полосового RC-фильтра, описанного в [4].

Схема активного ФК получена на основе дополнительного топологического преобразования