

## ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

В.А. Климчук

(представил д.т.н., проф. Б.Ф. Самойленко)

Рассмотрен выбор показателей эффективности комплекса для измерения параметров электромагнитных помех, необходимых для математического синтеза его структуры. Показаны способы представления показателей эффективности в форме целевой функции.

Разработка показателей эффективности измерительного комплекса является одним из этапов математического синтеза его структуры.

Под показателями эффективности комплекса принято понимать варьируемые числовые характеристики комплекса, изменение каждой из которых при прочих равных условиях существенно влияет на эффективность комплекса, т.е. на степень удовлетворения комплексом предъявляемых к нему тактико-технических требований.

В качестве основного критериального показателя эффективности измерительного комплекса при заданных тактико-технических характеристиках примем его стоимость (суммарные затраты, включающие стоимость самих элементов измерительного комплекса, затраты на их монтаж и эксплуатацию). Остальные установленные показатели эффективности комплекса будем рассматривать как совокупность ограничений типа равенств или неравенств, характер и численные значения которых определяются назначением комплекса и условиями его применения.

При решении задачи синтеза структуры проектируемого измерительного комплекса минимизируемый экономический показатель эффективности  $K$ , должен быть приведен к форме целевой функции, характеризующей зависимость его численных значений от выбранного состава элементов комплекса и численных значений параметров этих элементов.

Рассмотрим целевую функцию задачи синтеза структуры измерительного комплекса.

Приращение стоимости проектируемого комплекса вооружения, связанное с наличием элементов измерительного комплекса для измерения параметров ЭМП, является некоторой суммой приращений стоимости, вызванных наличием каждого элемента измерительного комплекса в отдельности.

Поэтому экономический показатель эффективности комплекса может быть приведен к следующему виду:

$$K_3 = \sum_{N=1}^{N_T} \sum_{i=1}^{n_T} n_{Ni} K_{ЭNi}(\bar{P}_i); \quad (1)$$

$$\bar{P}_i = \{ \bar{Z}_i(\bar{X}_c, \bar{\Pi}_c, \bar{F}_\phi(\bar{X}_c), \bar{F}_d(\bar{X}_c), \bar{F}_k(\bar{X}_c)), \bar{Y}_i \},$$

где:  $K_3$  - экономический показатель эффективности;

$N_T$  - количество видов средств измерения;

$n_T$  - количество типов средств измерения;

$n_{Ni}$  - количество единиц данного средства измерения;

$K_{ЭNi}(\bar{P}_i)$  - функция стоимости элемента измерительного комплекса;

$\bar{P}_i$  - множество параметров  $i$ -го элемента;

$\bar{Z}_i$  - множество варьируемых параметров;

$\bar{X}_c$  - множество элементов измерительного комплекса;

$\bar{\Pi}_c$  - множество параметров измерительного комплекса;

$\bar{F}_{\phi, д, к}(\bar{X}_c)$  - множество функциональных, динамических и конструктивных связей между элементами измерительного комплекса;

$\bar{Y}_i$  - множество условий работы измерительного комплекса.

Найдем аналитическое выражение для целевой функции.

Рассмотрим общий случай. Затраты, связанные с установкой оборудования измерительного комплекса для измерения параметров ЭМП, зависят от численных значений параметров этих элементов  $\{P_{Эij}\} \in \bar{P}_i$ . В этом случае указанная зависимость для  $i$ -го элемента может быть представлена в следующем виде:

$$C_i(P_{Эi}) = \sum_{g=1}^G A_{ig} \prod_{u=1}^U Z_{igu}^{A_{igu}}, \quad i = \overline{1, N_c}, \quad (2)$$

где:  $g = \overline{1, G}$  - условный индекс постоянного параметра;

$u = \overline{1, U}$  - условный индекс варьируемого параметра

$A_{ig}$  - коэффициенты, зависящие от заданных параметров (температура окружающей среды, длительность работы и т.п.);

$Z_{igu}$  - варьируемые параметры (погрешность, чувствительность, параметры надежности и т.п.);

$A_{igu}$  - показатели степени.

Вследствие недостаточности и неточности исходной информации на этапе внешнего проектирования, определение численных значений коэффициентов  $A_{ig}$ ,  $i = \overline{1, N_c}$  сопряжено с определенными трудностями. В некоторой

мере эти трудности могут быть преодолены при использовании теории подобия.

Предположим, что соблюдены необходимые условия подобия при проведении технико - экономического анализа возможных вариантов выбора численных значений параметров  $\mathbf{u}$ -й совокупности элементов  $\mathbf{X}_{fi} \in \mathbf{X}_f$ , обеспечивающих выполнение  $f$  - й функциональной операции ( $f \in \Phi$ ) при  $i$  - м варианте технической реализации этой совокупности. Примем для каждой такой совокупности подобных элементов  $\{\mathbf{X}_{ifu}\} \in \mathbf{X}_f, f \in \Phi$  систему базисных величин  $C_{if6}(\mathbf{P}_{\text{оif}})$ ;  $A_{igf6} (g = \overline{1, N_{if}})$ ;  $Z_{igfu6} (u = \overline{1, N_{igf}})$ , которые соответствуют показателям и параметрам измерительного средства  $\mathbf{X}_{if6} \in \mathbf{X}_f$ , по которому имеется достаточная и достоверная исходная информация. В этом случае выражение (2) может быть представлено в виде следующей зависимости:

$$\bar{C}_{if}(\mathbf{P}_{\text{оif}}) = \sum_{g=1}^{N_{if}} \pi_{igf} \prod_{u=1}^{N_{igf}} \bar{Z}_{igfu}^{A_{igfu}}, \quad (3)$$

где:  $\pi_{igf} = \frac{A_{igf}}{C_{if6}} \sum_{u=1}^{N_{igf}} Z_{igfu}^{A_{igfu}}$  - критерий подобия;

$$\bar{C}_{if}(\mathbf{P}_{\text{оif}}) = \frac{C_{if}(\mathbf{P}_{\text{оi}})}{C_{if6}(\mathbf{P}_{\text{оi6}})} - \text{относительное значение затрат};$$

$$\bar{Z}_{igfu} = \frac{Z_{igfu}}{Z_{igfu6}} - \text{относительное значение варьируемых параметров}.$$

Так как при  $C_{if}(\mathbf{P}_{\text{оi}}) = C_{if6}(\mathbf{P}_{\text{оi6}})$  и  $Z_{igfu} = Z_{igfu6}$  имеем  $\bar{Z}_{igfu} = 1$ , то должны соблюдаться следующие равенства:

$$\sum_{g=1}^{N_{if}} \pi_{igf} = 1, C_{igf6}(\mathbf{P}_{\text{оi6}}) = \sum_{g=1}^{N_{if}} A_{igf6} \prod_{u=1}^{N_{igf}} Z_{igfu6}^{A_{igfu}}.$$

Отсюда числовые значения  $k$  - го критерия подобия могут быть установлены из следующих зависимостей:

$$\pi_{ikf} = \frac{A_{ikf} \prod_{u=1}^{N_{ikf}} Z_{igfu6}^{A_{igfu}}}{\sum_{g=1}^{N_{if}} A_{igf6} \prod_{u=1}^{N_{igf}} Z_{igfu6}^{A_{igfu}}} = \left[ 1 + \sum_{g=1, g \neq k}^{N_{if}} \frac{A_{igf6}}{A_{ikf6}} \prod_{u=1}^{N_{igf}} Z_{igfu6}^{(A_{igfu} - A_{ikfu})} \right]^{-1},$$

при

$$\sum_{k=1}^{N_{if}} \left[ 1 + \sum_{g=1, g \neq k}^{N_{if}} \frac{A_{igf6}}{A_{ikf6}} \prod_{u=1}^{N_{igf}} Z_{igfu6}^{(A_{igfu} - A_{ikfu})} \right]^{-1} = 1.$$

Для базового варианта технического исполнения элемента измерительного комплекса  $i$  - го вида, обеспечивающего выполнение  $f$  - й функциональной операции, может быть определено численное значение показателя  $C_{if6}$  стоимости этого элемента при принятых численных значениях базисных величин. Тогда результирующий экономический показатель эффективности  $f$ -го элемента измерительного комплекса  $i$  - го вида может быть представлен в виде следующей зависимости:

$$C_{if} = K_{if}^{(c)} C_{ig6} \left[ K_{ifo}^{(c)}(\bar{Z}) + \bar{C}_{if}(\bar{Z}) \right],$$

где:  $K_{if}^{(c)}$  – коэффициент роста стоимости;

$K_{ifo}^{(c)}(\bar{Z})$  – коэффициент, характеризующий относительное приращение стоимости, вызванное обеспечением функционирования  $if$ -го электромеханического элемента.

В свою очередь, коэффициент  $K_{ifo}^{(c)}(\bar{Z})$  также может быть представлен в форме зависимости (3), т.е.

$$K_{ifo}^{(c)}(\bar{Z}) = \sum_{i=1}^{L_{if}} \pi_{if} \prod_{h=1}^{H_{if}} \bar{Z}_{iflh}^{A_{iflh}}.$$

В итоге результирующий экономический показатель качества  $if$  - го элемента может быть охарактеризован следующей параметрической зависимостью:

$$C_{if} = K_{if}^{(c)} C_{ig6} \left[ \sum_{i=1}^{L_{if}} \pi_{if} \prod_{h=1}^{H_{if}} \bar{Z}_{iflh}^{A_{iflh}} + \sum_{g=1}^{N_{if}} \pi_{igf} \prod_{u=1}^{N_{igf}} \bar{Z}_{igfu}^{A_{igfu}} \right].$$

Следовательно, целевая функция рассматриваемой задачи синтеза структуры измерительного комплекса имеет вид

$$K_3 = \sum_{i=1f \in \Phi}^{Nc} \sum_{i=1f \in \Phi}^{Nc} C_{if} = \sum_{i=1f \in \Phi}^{Nc} \sum_{i=1f \in \Phi}^{Nc} K_{if}^{(c)} C_{ig6} \left[ \sum_{i=1}^{L_{if}} \pi_{if} \prod_{h=1}^{H_{if}} \bar{Z}_{iflh}^{A_{iflh}} + \sum_{g=1}^{N_{if}} \pi_{igf} \prod_{u=1}^{N_{igf}} \bar{Z}_{igfu}^{A_{igfu}} \right]. \quad (4)$$

Из полученного выражения для целевой функции следует, что для нахождения оптимального решения необходимо оптимизировать, во-первых, собственно структуру проектируемого измерительного комплекса, т.е. подобрать наилучшую совокупность входящих в его состав элементов, характеризующихся функцией стоимости элемента  $C_{if}$ ; во-вторых, варьируемые парамет-

ры  $\bar{Z}$  каждого  $i$ -го элемента (погрешность, чувствительность, надежность и т.п.).

Подобная постановка задачи локальной оптимизации структуры измерительного комплекса имеет смысл лишь при введении ограничивающих условий, отражающих эффективность решения задачи измерения параметров ЭМП. В наиболее общем виде ограничивающие условия могут быть выражены через показатели качества измерения параметров ЭМП.

Показатели  $\bar{K}_k$  качества измерения параметров ЭМП характеризуют статические и динамические характеристики измерительного комплекса при нормальных и аварийных режимах его работы и, следовательно, позволяют судить о характере и величине ожидаемых воздействий на элементы системы. Численные значения показателей качества измерения параметров ЭМП  $\bar{K}_k(\bar{X}_c^{(k)}, \bar{P}_i^{(k)}, \bar{F}_d(\bar{X}_c^{(k)}), \bar{Y}_p^{(k)})$ , определяются составом элементов  $\bar{X}_c^{(k)}$  измерительного комплекса, численными значениями их параметров  $\bar{P}_i^{(k)}$ , характером динамических связей  $\bar{F}_d(\bar{X}_c^{(k)})$  и режимом работы измерительного комплекса  $\bar{Y}_p^{(k)}$ .

Таким образом, если анализируемую задачу синтеза рассматривать в математическом аспекте, то она состоит в формировании некоторого конечного множества  $\bar{X}_c$ , отражающего возможные варианты технической реализации функциональных операций  $\{f_i\} \in \Phi$ , необходимых для решения поставленной функциональной задачи, и в нахождении в этом множестве функционально необходимой совокупности элементов  $\{X_i\} \in \bar{X}_c$  (т.е. подмножества  $\bar{X}_c^{(k)}$ ), численных значений параметров  $P_i^{(k)}$  этих элементов  $\{X_i\} \in \bar{X}_c$ , функциональных  $\bar{F}_\Phi(\bar{X}_c^{(k)})$ , динамических  $\bar{F}_d(\bar{X}_c^{(k)})$  и конструктивных  $\bar{F}_k(\bar{X}_c^{(k)})$  связей, доставляющих экстремум целевой функции при удовлетворении накладываемых ограничений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Векслер Г.С., Недочетов В.С., Пилинский В.В. и др. – К.: Техника, 1990. – 167 с.
2. Веников В.А. Применение теории подобия и физического моделирования в электротехнике. – М.: Энергоиздат, 1978. – 250 с.
3. Надежность и эффективность в технике. Том 4 / Ред. совет: В.С. Авдусевский и др. – М.: Машиностроение, 1998. – 278 с.