

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В.А. Климчук

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

Рассматривается способ представления структуры измерительного комплекса в форме графа. Такой подход позволяет производить направленный выбор элементов структуры по их заданным признакам для оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Разработка математической модели структуры измерительного комплекса является одним из этапов математического синтеза его структуры. В рамках этого этапа различают ряд задач: идентификация объекта исследований, выбор типа модели, идентификация и оценка параметров модели, установление зависимостей между ними.

Для построения математической модели структуры измерительного комплекса предлагается использовать аппарат теории графов. В этом случае в качестве математической модели измерительного комплекса может выступать граф функционально-избыточной структуры.

Возможен способ представления функционально-избыточной структуры комплекса в форме графа $G_1 = (I_a, X_a)$, когда в соответствие элементам $X_{ci} \in X_a$ ставятся дуги графа, а вершины графа отображают результат («продукт») выполнения f_i - й функциональной операции [1].

При указанной форме представления функционально-избыточной структуры проектируемого комплекса число вершин N_{G_1} графа $G_1 = (I_a, X_a)$ равно числу элементов множества

$$N_{G_1} = N_{I_a} = \Phi I_f,$$

где I_f — множество возможных видов «продукта» и допустимых численных значений параметров этого «продукта» при выполнении f - й функциональной операции.

В качестве примера на рис. 1 представлена в форме графа $G_1 = (I_a, X_a)$ функционально-избыточная структура системы измерения напряжения и напряженности поля электромагнитных помех (ЭМП) с помощью селективного микровольтметра.

Из рисунка видно, что в графе $G_1 = (I_a, X_a)$ выбор какого-либо варианта структуры комплекса осуществляется непосредственно в процессе

решения задачи синтеза на основе того или иного критерия оптимальности.

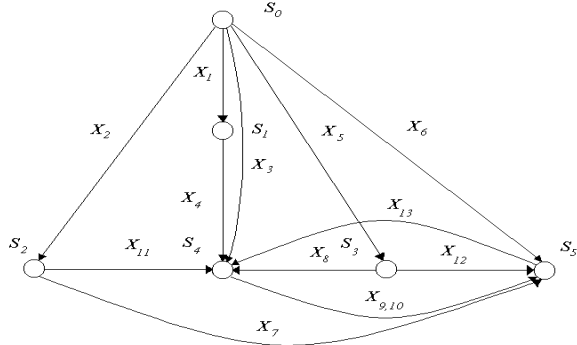


Рис.1. Граф вида $G_1 = (I_a, X_a)$

Такой подход позволяет, придавая дугам графа $G_1 = (I_a, X_a)$ соответствующие веса, получить качественную сетевую модель и использовать таким образом для решения задачи синтеза структуры измерительного комплекса имеющийся математический аппарат решения сетевых задач.

Сетевая модель характеризует ожидаемую «стоимость продуктов», получаемых с помощью элементов $\{X_i\} \in X_a$, функционально - необходимой структуры проектируемой системы в результате выполнения функциональных операций $f_i \in \Phi$. Под «стоимостью продукта» $K_{ij}(P_{ijk})$, где $k = 1 \dots n$, будем понимать численную зависимость принятого показателя эффективности элементов функционально-избыточной структуры от их параметров. Таким образом, значение $K_{ij}(P_{ijk})$ характеризует «стоимость» преобразования с помощью элемента $\{X_i\} \in X_a$ «продукта» i - го вида в «продукт» j - го вида (например, «стоимость» преобразования напряженности электрического поля в напряжение на выходе активной штыревой антенны).

Поставим в соответствие каждой вершине $i \in I_{G_1}$ (где I_{G_1} — множество вершин графа $G_1 = (I_a, X_a)$) число D_i , характеризующее объем полученного «продукта» и называемое интенсивностью вершины, а каждой дуге $U_{ij} \in X_a$ — неотрицательное число R_{ij} , характеризующее допустимый объем производства «продукта» и называемое пропускной способностью дуги (рис. 2).

Вершины графа $G_1 = (I_a, X_a)$, которым принадлежат только начала исходящих из них дуг, рассматриваются как истоки сети и обозначаются I_a , а вершины, которым принадлежат только концы входящих в них дуг, — как стоки сети и обозначаются I_m ; ($I_a \in I_{G_1}, I_m \in I_{G_1}$). Дугам графа

$G_1 = (I_a, X_a)$ ставятся в соответствие также функции стоимости $K_{ij}(P_{ijk})$, где $k = 1 \dots n$, определенные на множестве отображений X_a и характеризующие ожидаемые затраты, связанные с передачей по дуге $U_{ij} \in X_a$ потока (объема «продукта») величиной S_{ij} .

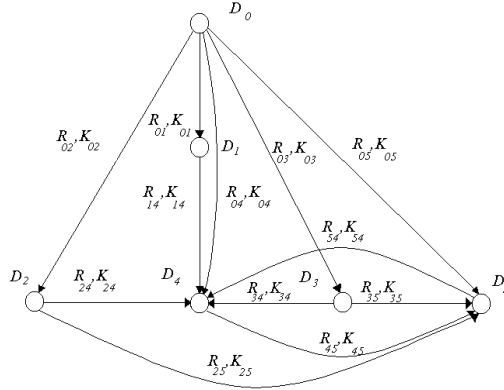


Рис. 2. Сетевая модель функционально-избыточной структуры

Величина потока S_{ij} характеризует «производительность» элемента $X_{ij} \in X_a$ и, следовательно, является варьируемым параметром этого элемента. Поскольку величина «производительности» элемента (например, расчетный поток информации о измеренных параметрах ЭМП) определяется «внешними» по отношению к этому элементу причинами, то этот показатель будем рассматривать как внешний параметр.

Под количественной мерой потока сети будем понимать множество неотрицательных чисел $S = \{S(U_{ij}), U_{ij} \in G_1 = (I_a, X_a)\}$, поставленных в соответствие дугам U_{ij} сети, и в соответствии с теоремой о существовании однородного потока в сети [2] удовлетворяющим следующим линейным ограничениям:

$$S_k = \sum_{i=1}^{NG_1} S(U_{ik}) - \sum_{j=1}^{NG_1} S(U_{jk}) = \begin{cases} - \sum_{j=1}^{NG_1} S(U_{kj}), & \text{если } k = a \text{ (исток)} \\ 0, & \text{если } k \neq a, k \neq m \\ \sum_{i=1}^{NG_1} S(U_{ik}), & \text{если } k = m \text{ (сток)} \end{cases}, \quad (1)$$

$$S_a \geq 0, D_m \geq 0, 0 \leq S(U_{ik}) \leq R_{ik}, \quad (2)$$

где $i, j, k \in G_1$ - индексы вершин сети;

$S(U_{ik})$ - величина потока по дуге U_{ik} .

Представление функционально-избыточной структуры проектируемой системы в форме графа $G_1 = (I_a, X_a)$ приводит к тому, что появляется возможность формировать структуру проектируемого комплекса не путем перебора заранее составленных ее вариантов, а путем направленного выбора элементов структуры этого комплекса по заданным признакам непосредственно в процессе решения задачи синтеза.

Придадим конкретный физический смысл элементам сетевой модели.

1. Пусть каждой вершине I_i , где $i = 1 \dots N_{IG1}$, графа $G_1 = (I_a, X_a)$ соответствует электромагнитная энергия определенного вида и параметров, численные значения которых определяются множеством возможных видов и значений параметров электромагнитной энергии при возникновении ЭМП, их распространении и промежуточных преобразованиях, которые могут иметь место при их измерении.

2. Каждой дуге $U_{ij} \in X_a$, $i = 1 \dots N_{IG1}$, $j = 1 \dots N_{IG1}$ поставим в соответствие определенный тип основных или вспомогательных средств измерений параметров ЭМП.

3. Под количественной мерой потока дуги U_{ij} будем понимать численное значение потока информации о параметрах ЭМП S_{ij} , передаваемого через элемент $X_{ij} \in X_a$, соответствующий дуге U_{ij} .

4. Под функцией стоимости $K_{ij}(S_{ij})$ будем понимать зависимость показателя эффективности средства измерения $X_{ij} \in X_a$ от передаваемого через него потока информации S_{ij} (в качестве показателя эффективности может служить стоимость, надежность, к.п.д. устройства и т.п.).

5. Сделаем допущение о том, что пропускные способности R_{ij} дуг U_{ij} неограничены. Такое допущение корректно, поскольку, в общем случае, при проектировании измерительного комплекса возможно использование любого измерительного средства.

Таким образом, использование сетевой модели структуры измерительного комплекса позволяет применить для решения задачи оптимального синтеза хорошо разработанные топологические методы решения экстремальных сетевых задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Векслер Г.С., Недочетов В.С., Пилинский В.В. и др. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания – К.: Техника, 1990. – 167 с.

2. Ермолаев Ю.М., Мельник И.М. Экстремальные задачи на графах. К.: Наукова думка, 1968.