

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРИНЦИПА НА ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРИ  
ФУНКЦИОНАЛНО И КОНСТРУКТИВНО ПРОЕКТИРАНЕ****В. Кукенска<sup>1</sup>, М. Динев<sup>1</sup>, П. Минев<sup>1</sup>, И. Върбов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Технически Университет - Габрово***USING THE PRINCIPLE OF DECOMPOSITION IN FUNCTIONAL AND  
STRUCTURAL DESIGN****V. Kukenska<sup>1</sup>, M. Dinev<sup>1</sup>, P. Minev<sup>1</sup>, I. Varbov<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Technical University - Gabrovo***Abstract**

*This paper presents the use of the decomposition principle in solving tasks for designing technical objects in electronics and computer systems. Considered tasks are mainly from the stages of the functional and constructive design.*

**Keywords:** decomposition, system approach, functional design, topological design.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Всяка система може да се разглежда като съвкупност от елементи, които притежават връзки и свойства. Връзките позволяват посредством преход от един към друг елемент да се съединяват два произволни елемента в съвкупност. Свойствата на системата са различни от свойствата на отделните елементи на съвкупността.

Най-общо системите се разделят на големи и сложни. Големи са тези системи, които се състоят от значителен брой еднотипни елементи и еднородни връзки. Сложните системи се състоят от разнотипни елементи и разнородни връзки.

Различието между система, голяма система и сложна система е условно. Много често сложните системи са и големи. Затова и в изложението по-долу не се търси разликата между видовете системи, а се разглеждат подходи, които са приложими за всички системи.

Обект на този доклад е системният подход и по точно приложението на един от неговите принципи – декомпозиция, в от-

делни етапи и задачи при автоматизирано проектиране на схеми, устройства и системи.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

Един от най-изполваните подходи в при автоматизирано проектиране е системният. При него всеки обект се разглежда като система, която може да се раздели на подсистеми. Всяка от тези подсистеми може да бъде разделена на подсистеми (модули) от по-нисък ред. Модулите от най-ниския ред са елементите, чиято вътрешна структура не представлява интерес за решаване на задачите на определено ниво, но нейните свойства влияят на другите подсистеми и на системата като цяло.

При решаване на определени задачи от функционалното и конструктивното проектиране на системи е необходимо да се определят необходимия брой йерархични нива, според спецификата на поставените изисквания в техническото задание.

Основни принципи на системния подход са декомпозиция, модулност и йерархия.

Принципът на декомпозиция (разделяне) е свързан с определяне на подсистемите (модулите) на проектираните обекти, както и с тяхната йерархична структура. Той се използва и като критерии при решаване на задачи от функционалното и конструктивното проектиране.

Обособени части от проектираното устройство или система, които в съответствие с първоначалния проектантски замисъл се характеризират с изпълнението на определени функции в рамките на общия алгоритъм на устройството, представляват функционални модули или функционални възли.

Декомпозицията на една сложна система на отделни подсистеми, които са свързани с други функционални модули и изпълняват конкретни функции, се извършва по йерархичен принцип. Така например функционалните модули от най-ниско ниво (неделими функционални модули) са логическите елементи, отделните чипове памет, микропроцесорните схеми и др. Съвкупността от такива функционални модули образуват функционални модули от второ ниво (например микропроцесорен блок) и т.н.

Функционалното проектиране обхваща избора на структурата, елементите, начина на тяхното свързване и изчисления на количествени показатели.

Етапите на функционалното проектиране са: съставяне на техническо задание за проектиране, синтез, анализ, оптимизация и документирание на полученото решение [2,3,5].

Етапът синтез се състои в избора на принцип, обща структура, съставни елементи, режим на работа и др.. Построява се обща система, която удовлетворява поставените изисквания в техническото задание за проектиране. Тук понятието “система” се използва в неговия най-общ смисъл (функционална, конструктивна и технологична система)[2].

При анализа се определят точните стойности на елементите и режимите на работа. Прави се оценка на получените резултати. Етапът анализ включва в себе си подетапите съставяне на модел и неговото изследване [3].

Една от основните задачи, чието решение се налага при моделиране и анализ е задачата за рационално разделяне (разбиване, декомпозиция) на системата (схемата) на части (подсистеми, подсхеми). Решаването на тази задача се налага от самата същност на диакоптическия подход [1,3,4].

Рационалното разделяне на системата на подсистеми е оптимизационна задача, чието решение позволява отделянето на функционални подсистеми, линейни и нелинейни подсистеми (части), отчитане на повторемост на отделни подсистеми, ориентация на използване на библиотеки с модели на често използвани подсистеми.

От друга страна всяка система се състои от определен брой елементи и връзки между тях. Това позволява тяхната структура да се представи чрез граф на базата на аналогии. Така за задачата за декомпозиция на дадена система може да се приведе към задача за оптимално разделяне на граф, представляващ топологичен модел на изследваната структура. Основната особеност при решаването на такава задача се явява избор на критерий за разбиване в зависимост от поставените цели. Най-често използваните критерии са: минимална свързаност на подсистемите; минимален брой подсистеми; определен брой елементи в подсистемите [1].

Методите за моделиране на системи се различават по начините на разделяне на системите, начините на представяне на подсистемите, по организацията на уравненията на пълната система, както и по методите за тяхното решаване. Приложението на принципа на декомпозиция е най-силно изразено в методите моделиране с използване на разреждени матрици с блокова структура ( $M_1$ ) и във функционалните методи за декомпозиция ( $M_2$ ) [4].

При методите  $M_1$  задачата за моделиране на системи се привежда към задачата за формиране и решение на матрично - векторни уравнения с матрици със специална структура. Те се характеризират със следното:

- еднократното решение на системата от по-висок ред се свежда към последователно решаване на системи уравнения от по-нисък ред;

- при формиране уравненията на системата (схемата) се използва единен координатен базис и в пълната система уравненията участват всички променливи на системата определени посредством гореспоменатия базис;
- избора на формата на матриците по зададена структура на системата в общия случай не е формален и се осъществява по интуитивни съображения;
- не винаги е лесно решима задачата за привеждане на матриците в желан вид.

Методите от направление  $M_2$  се основават на разделянето на системите (схемите) на подсистеми (подсхеми). Всяка подсистема (подсхема) се разглежда като многополюсен елемент и се представя с функционален модел (макромодел), който описва поведението ѝ в пространството чрез променливите на връзките им. От уравненията за многополюсниците и уравненията на връзките между тях се определя математическия модел на системата.

Ако на множеството на възлите на системата се съпостави множеството на върховете  $V$  на графа  $G(V,E)$ , а на множеството на елементите на системата - множеството на ребрата  $E$ , то за дачата за декомпозиране на системата на части се привежда към задача за разделяне на графа  $G$  на слабо свързани помежду си подграфи  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_N$ .

Математическата формулировка на задачата за декомпозиция на графа  $G(V,E)$  е следната:

Даден е графа  $G(V,E)$ . Да се раздели на  $N+1$  подграфа  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_N, G_C$ , където  $G_m=(V_m, E_m)$ ,  $m=1 \dots N$  са отделените подграфи, а  $G_C=(V_C, E_C)$  е подграф на връзките между отделените подграфи.

Търси се такова разделяне на графа  $G$  на подграфи при което се удовлетворяват следните условия:

1. Броят външни връзки да е колкото може по-малък;

$$V_C = \min(V_C), E_C = \min(E_C) \quad (1)$$

2. Всеки подграф да е различен от нулевия:

$$\forall G_m \neq 0, m=1, N, G_C \neq 0 \quad (2)$$

3. Обединяването на всички подграфи да съответства на изходния граф;

$$(\cup G_m) \cup G_C = G, m=1, N. \quad (3)$$

4. Всеки два подграфа да нямат общи върхове.

$$G_i \cap G_j = 0, i \neq j, i, j = 1, N. \quad (4)$$

Като външни връзки се разглеждат връзките между отделните подграфи (подсхеми, подсистеми), а като вътрешни - връзките между върховете (елементите) в отделните подграфи. Реброто  $E_i$  е вътрешно, ако  $E_i \in E_m$ , в противен случай се счита за външно.

Една друга формулировка на задачата за разделяне на графа се представя със следния запис:

Даден е графа  $G(V,E)$ . Да се раздели на подграфи  $G_m=(V_m, E_m)$ ,  $m=1 \dots N$  при удовлетворяване на следните условия:

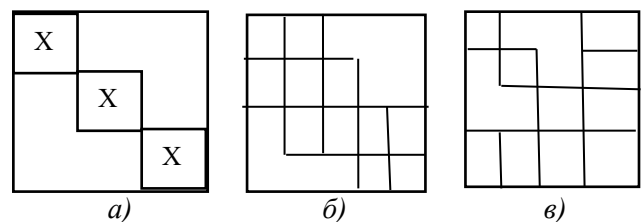
1.  $g_{min} \leq G_m \leq g_{max}$ ,  $m=1, N$ , където  $g_{min}$  и  $g_{max}$  са минималния и максималния размер на отделните подграфи.
2.  $0.6 m_{max} \leq g_{min} < m_{max}$
3.  $m_{max} < g_{max} \leq 1.4 m_{max}$

Диакоптическият подход, може да се приложи както към обекта (системата), така и върху математическия му модел записан в общ вид както следва.

$$Ax=B \quad (5)$$

където  $A$  е матрица за системата, която се построява по определени правила и зависи от избрания метод за моделиране.

Разделянето на математическия модел на системата се свежда до привеждане на матрица  $A$  към една от следните форми.



фиг. 1. Структури на особени матрични форми.

Привеждането на матрицата  $A$  към една от показаните структури се извършва с преобразуването и по определени правила. От гледна точка на оптимално използване на изчислителни ресурси е удачно да се работи с блоково-диагонални матрици (фиг. 1, а) или с лентови (фиг. 1, б). При функционално проектиране най-използваната структура е блоково-диагонална с ограничения (фиг. 1, в).

Математическият модел на системата, чиято матрица  $A$  е представена в тази форма има вида:

$$\begin{bmatrix} A_{11} \dots & 0 & A_{1r} \\ \dots & A_{22} & 0 & A_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & & A_{nn} & A_{nr} \\ A_{r1} \dots & & & A_{rr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \\ X_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \\ b_r \end{bmatrix} \quad (6)$$

Задачата за привеждане на матрицата  $A$  в блоков вид се свежда до задача за намиране на такава неособена матрица  $T$ , с която да се получи матрицата  $B$ :

$$B = T^{-1}AT \quad (7)$$

В общия случай тази задача изисква решаване на системата от матрични уравнения от вида:

$$AT - TB = 0 \quad (8)$$

Ако разделим системата на подсистеми, преди съставянето на модела, можем да получим необходимата структура на матрицата  $A$  още на етапа на съставяне на уравнения на системата.

При конструктивното проектиране системите се разглеждат като съвкупност от отделни конструктивни модули, свързани помежду си по определен начин. Между конструктивните модули също може да се установи йерархия в зависимост от сложността им. Най-ниско ниво в тази йерархия заемат конструктивните модули, които не могат да се разделят. Следващото ниво са конструктивните модули, изградени от модулите на по-ниското ниво, и т.н.

Конструктивните модули представляват елементи от конструкцията (куплунг, печатна платка, кутия, хранващ блок и т.н.), от които технически се реализират системите. Конструктивните модули също се характеризират със своята сложност и йерархично място в цялостната конструкция на устройството. При конструктивно проектиране се решават задачите, свързани със синтез на конструкцията, верификация и документирание на конструктивния проект. Основна задача при синтез на конструкцията е задачата за компоновка на конструктивните модули по конструктивното поле. Тя включва решаването на три основни задачи: типизация, покритие и декомпозиция. По своята същност тези задачи са оптимизационни. За решаването им прилагат следните критерии: минимална сумарна дължи-

на на връзките между модулите, минимален брой типове модули, минимален брой връзки между модулите и др.

Задачата на компоновката може да се разглежда в два аспекта: компоновка с образуване на произволни функционално-конструктивни модули и компоновка с образуване на предварително зададени функционално-конструктивни модули.

Задачата за компоновка се свежда до декомпозиране на системата на отделни функционални възли, които могат да се поместят в конструктивни модули от различни йерархични нива. Най-използваните критерии за решаване на тази задача са размерът на функционалния модул и броят на външните връзки между отделните функционални възли, разположени в различни конструктивни модули. Съобразно тези критерии задачата за компоновка се свежда до декомпозиране на множеството на елементите  $\{A\} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  на отделни не пресичащи се подмножества  $\{A_{ij}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  по такъв начин, че

$$\{A_i\} \cap \{A_j\} = \{0\} \text{ за } i \neq j, \quad (9)$$

$$\bigcup_{i=1}^m \{A_j\} = \{A\}, \quad (10)$$

Оптималното решение на задачата за декомпозиция е свързано с определянето на минимален брой модули. Ако с  $j$  се отбележи възможният клас разбивания на множеството  $\{A\}$ , то

$$\{A\} = \bigcup_{i=1}^{m_j} \{A_i^j\}, j = 1, 2, \dots, p. \quad (11)$$

Структурата на системата може да се представи чрез графов модел  $G = \{A, V\}$ , при който  $A$  е множеството на върховете  $\{A\} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  съответства на множеството на елементите на системата (подсистемата, модула), а множеството на ребрата  $\{V\} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  – на връзките между елементите. Така задачата за декомпозиция на системата може да се приведе към задача за разделяне на графовия модел на подграфи по определен критерии.

На върха  $a_i$  може да се поставят за оценки за сложност и свързаност. Сложността на елемента  $S(a_i)$  се определя от общия брой на входовете и изходите му, а свързаността  $E(a_i)$  – от връзките елемента с оста-

налите елементи в системата. За всяко подмножество  $\{A_i\}$  от елементи също могат да се поставят аналогични оценки  $S(A_i)$  и  $E(A_i)$ , като

$$S(A)_i = \sum_{a_i \in A_i} S(a_i), \quad (12)$$

$$E(A_i) = S(A_i) - \sum_{s \in I(A_i)} d_1(s) - \sum_{s \in B(A_i)} d_2(s) \quad (13)$$

където:

$\{I(A_i)\}$  - е подмножеството от всички върхове, инцидентни само с върховете на елементите от подмножеството  $\{A_i\}$ ;

$\{B(A_i)\}$  - подмножеството на външните върхове на подмножеството  $\{A_i\}$ , инцидентни поне на един от върховете от  $\{A_i\}$  и едновременно с това представляващи входове или изходи на елементите, неучастващи в подмножеството  $\{A_i\}$ ;

$d_1(s)$  и  $d_2(s)$  - са съответно броят на ребрата, свързващи  $\{A_i\}$  с  $\{I(A_i)\}$ , и на ребрата, свързващи  $\{A_i\}$  с  $\{B(A_i)\}$ .

При решаване на задачата за компоновка е необходимо да бъдат изпълнени и следните условия:

$$S(A_i) \leq S_0 \text{ за всяко } i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$E(A_i) \leq E_0, \quad (15)$$

където  $S_0$  и  $E_0$  представляват горните допустими оценки на сложността на конструктивния модул и на външните му връзки с останалите модули.

При формулиране на задачата за декомпозиция на графовия модел се използва критерия за минимален брой външни връзки между отделните конструктивни модули тогава. Броят на връзките между два конструктивни модула  $i$  и  $j$  се означава с  $b_{ij}$  ( $i \neq j$ ) и отново се търси такова разбиване на системата на модули, при което е налице еднозначно съответствие между модула  $i$  и подмножеството  $\{A_i\}$  от елементи на системата. Общият брой връзки между всички модули тогава се дава с

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij}, \quad (16)$$

където  $k$  е общият брой на модулите, на които е разделена системата.

Ако се въведат и разстоянията между отделните конструктивни модули  $c_{ij}$  ( $i \neq j$ ), общата дължина на връзките между модулите може да се определи по формулата

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k c_{ij} b_{ij} \quad (17)$$

Под оптимална компоновка тогава ще се разбира това декомпозиране на системата на модули, при което  $W_{\text{обр}} = \min W$

$$W_{\text{обр}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k c_{ij}^l b_{ij}^l \quad (18)$$

При компоновката с образуване на функционално конструктивни модули с предварително зададени характеристики, реализирани с конструктивни модули от най-ниско йерархично ниво, основен критерий за успешна компоновка е реализацията на цялата система при минимална цена, изразена във функция от цените на отделните модули. В този случай задачата се свежда до декомпозиране на системата на модули  $T_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ), всеки от които има определена цена  $p_i$ . Ако с  $x_i$  означим честотата на използване на модула  $T_i$ , то може да се определи минималната цена на системата.

$$C = \min \sum_{i=1}^k p_i x_i \quad (19)$$

За модулите, които представляват неделимна конструктивна единица критериите за сложност и брой на външните връзки на отделните модули отпадат, доколкото тези характеристики не подлежат на промяна.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледани са основните задачи от етапите на функционално и конструктивно проектиране на системи, в които се прилага принципа на декомпозиция.

Декомпозирането на системите на подсистеми води до намаляване на изчислителните ресурси, необходими за изследване на проектните решения.

Декомпозирането на системите може да се реализира на различни нива на абстрактно представяне.

Приложението на принципа на декомпозиция може да се комбинира с прилагането на различни критерии.

## **БЛАГОДАРНОСТИ:**

Настоящият документ е изготвен с финансовата помощ на договор № 2209Е за провеждане на научни изследвания по проект на тема: „Виртуална лаборатория за обучение по проектиране на цифров хардуер“ към Технически университет – Габрово.

## **ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА**

[1]Kukenska V., Development of modular educational research dialog system for

automated design in electronics., dissertation, Gabrovo, 1998.

[2]Kukenska V. P. Minev, Automation of engineering work, University Press “Vasil Aprilov”, Gabrovo 2016,

[3] Dimitrov, Y. B., L. H. Raykovska, V. I. Furnadjiev, Design and build automation in electronics, Technology, Sofia, 1991.

[4] Garvanov I., Modeling of processes and systems, Sofia, 2014

[5] Hristov M., R. Radanov, B. Donchev, K. Mihaylov, D. Pukneva, O. Antonowa, D. Arabadjieva, Microelectronics Design Systems Laboratory Manual, Sofia, 2004.