

## Автоматизирано построяване на структурни мрежи на главни преводи с използване на *MS Excel*

Петър Ангелов, Иван Колев, Красимир Иванов

### **Computer-aided construction of Structural Diagrams of Machine tool Main Drives by MS Excel:**

*This paper presents approach toward using of MS Excel chart for construction of structural diagrams for machine tools' main drives. A VBA-macro is developed for generation of all possible design and kinematical variants for a number of rotation frequencies, ranging from 2 to 24. Depending on the number of rotation frequencies, the macro offers either a normal structure or a structure with overlapping frequencies for main drives, operated by one-speed electromotor. The maximum permissible index of the geometric series  $m_{max}$  and maximum permissible regulation factor  $Rn_{max}$  of the main drive are defined for every variant.*

**Key words:** Machine Tools, Main drives, Structural Diagrams, MS Excel.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Етапът “идеен проект” е един от най-важните етапи в процеса на машиностроително конструиране, на който се приемат принципните конструктивни решения, определящи устройството, принципа на действие и основните параметри на проектирания обект.

Сред голямото разнообразие от задачи, които се решават на етап “идеен проект” най-голям интерес и трудност за формализация представляват графичните конструкторски задачи, свързани със синтез на структурни, кинематични, логически и др. функционални схеми [3].

При конструирането на главни преводи за металорежещи машини етапът “идеен проект” е свързан с избора на структура на превода, определяща броя на валове, броя на зъбните предавки, техните предавателни отношения и реда на превключването им [1,4]. На този етап е важно да се получи информация за кинематичните възможности на разработваните варианти. Броят на възможните варианти на превод е значителен и нараства с увеличаване на броя на честотите на въртене. Така например при брой на честотите  $z = 24$  броят на възможните кинематични варианти е 132.

Традиционният графоаналитичен метод за избор на структура на главен превод със степенно регулиране изисква в съвременните условия използване на компютърна техника при построяването на структурни мрежи и планове на честотите.

### **Моделиране на структурни мрежи чрез графи**

Тъй като изображението на структурните мрежи се състои от множество точки, съединени с прави линии, за целите на автоматизираното проектиране е целесъобразно структурните мрежи да се моделират с помощта на графи [2].

Структурната мрежа се представя във вид на ориентиран граф-дърво  $G(V, U)$ , където  $V$  е множеството от върховете на графа, символизиращи честотите на въртене, а  $U$  е множеството от ребрата на графа, съответстващи на лъчите, с които се изобразяват зъбните предавки, свързващи отделните валове.

Графът на структурната мрежа се състои от подграфи, съответстващи на групите зъбни предавки, ребрата на които, на брой, равен на броя на предавките в групите, се строят симетрично спрямо вертикалата, минаваща през изходната точка (фиг.1).

Върховете на графа се разпределят в три непресичащи се подмножества:

- непразно множество, състоящо се от върхове, от които само излизат ребра:

$$\exists v_i \in V \neq \emptyset \rightarrow [(v_{i-1}, v_i) = \emptyset \wedge (v_i, v_{i+1}) \neq \emptyset]. \quad (1)$$

При главните преводи, задвижвани от еднокоростен електродвигател в това множество влиза коренът на дървото, т.е. изходната точка за построяване на структурната мрежа;

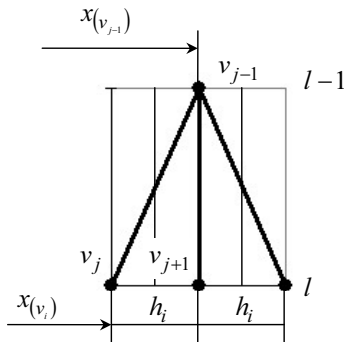
- подмножество от върхове, в които влизат и от които излизат ребра. В това подмножество влизат върховете, съответстващи на честотите на въртене на междинните валове от превода. При преводи, състоящи се от една множителна група, това подмножество е празно:

$$\exists v_j \in V \neq \emptyset \rightarrow [(v_{j-1}, v_j) \neq \emptyset \wedge (v_j, v_{j+1}) \neq \emptyset] \vee v_j \in V = \emptyset ; \quad (2)$$

- подмножество от върхове, в които влизат ребра и не излиза нито едно ребро:

$$\exists v_j \in V \neq \emptyset \rightarrow [(v_{j-1}, v_j) \neq \emptyset \wedge (v_j, v_{j+1}) = \emptyset]. \quad (3)$$

Към това подмножество спадат върховете, съответстващи на честотите на въртене на последния вал от превода.



Фиг.1. Трискоростна група

За построяване на структурната мрежа се строи мрежа от хоризонтални линии на брой, равен на броя на валовете и вертикални линии на брой, равен на броя на честотите на въртене на превода. Броят на валовете се определя конкретно за всеки конструктивен вариант и е равен на  $m+1$ , където  $m$  е броят на групите, от които се състои превода.

За определяне на разположението на върховете на графа се използва декартова координатна система с начало в горния ляв ъгъл на мрежата. За единици са приети: по оста  $X$  интервали, условно равни на  $lg \varphi$  ( $\varphi$  е показателят на геометричния ред на честотите на въртене) в определен мащаб, по ос  $Y$  – равни интервали с произволна дължина,

символично изобразяващи разстоянието между валовете.

Абсцисата  $X(v_i)$  на връх от графа се определя в брой интервали от мрежата, считано от координатното начало, а ординатата  $Y$  е равна на номера на вала, върху който трябва да се намира съответната честота на въртене.

За целите на автоматизираното построяване е удобно графът на структурната мрежа да се представи алгебрично чрез множеството на върховете и техните обратни съответствия [2]:

$$G = (V_i, \Gamma^{-1}(v_i)), \quad (4)$$

където обратното съответствие  $\Gamma^{-1}(v_i)$  е множество от върхове  $v_j \in V$ , за които съществува ребро  $(v_j - v_i)$  в графа.

Поради спецификата на графа на структурната мрежа, обратното съответствие на всеки връх съдържа само по един връх от графа, отговарящ на честотата на въртене на предходния вал, от която се получава разглежданата честота на въртене. Изключение прави коренът на дървото, за който обратното съответствие е празно множество  $\Gamma^{-1}(v_1) = \emptyset$ .

### Алгоритъм и програма за построяване на структурни мрежи

Алгоритъмът дава възможност да се генерират последователно възможните конструктивни и кинематични варианти при зададен брой на честотите на въртене.

Във всеки случай се определя броят на честотите на въртене на превода  $Z$  в интервала от 2 до 24 (оп.1, фиг.2). Проверява се възможността за използване на нормална

$$y_{(v_j)} = l_{(v_j)}, \quad j=1, m+1. \quad (10)$$

множителна структура, т.е., получаване на зададения брой честоти на въртене чрез последователно свързани дву- или четирикоростни групи. Ако това е възможно, се генерира съответният брой конструктивни варианти. В противен случай се приема разработване на превод с прекриване на честотите на въртене чрез добавяне на една двускоростна група, която да бъде последна, както в конструктивния, така и в кинематичния ред и която да има намалена характеристика. За останалата част от превода се генерират конструктивни варианти по правилата за превод с нормална структура (оп.2 и 3).

За всеки конструктивен вариант се определя броят на кинематичните варианти (оп.4) и се генерират самите варианти, които се съхраняват в масив (оп.5).

При всеки кинематичен вариант се извършва следното:

1. Определят се характеристиките на групите в частта от превода с нормална

$$h_i = h_{i-1} \cdot p_{i-1}, \quad i = 2, m_n, \quad (15)$$

структура (оп.6). Характеристиката на основната група е  $h_1 = 1$ . Характеристиките на множителните групи се определят по формулата:

където  $h_i$  (фиг.1) са характеристиките на групите според мястото им в кинематичния ред,  $p_i$  - брой на предавките в групите, а  $m_n$  - брой на групите в

$$h_m = Z - Z_n, \quad (16)$$

частта от превода с нормална структура.

Ако преводът е с прекриване на честоти на въртене, се определя характеристиката на добавената двускоростна група (оп.7, фиг.2) по формулата:

където  $Z_n$  е броят на честотите на въртене, получавани от групите с нормална структура.

2. От условието за симетрично построяване на лъчите в една група се

$$d_i = (p_i - 1) \cdot 0,5 \cdot h_i, \quad i = 1, m, \quad (17)$$

определят относителните абсциси  $d_i$  на краищата на първите лъчи във всяка група спрямо изходната точка за построяване на групата (оп.8):

където  $m$  е общ брой на групите, от които се състои преводът.

3. С помощта на конструктивния и кинематичен вариант се формира графът на структурната мрежа (оп.9) и се определят координатите на всички върхове спрямо началото на координатната система, които се съхраняват в табличен вид, удобен за построяване на диаграма с MS Excel.

$$x_{(v_i)} = (Z - 1) / 2 + 1. \quad (18)$$

Абсцисата  $x_{(v_i)}$  на изходната точка за построяване на структурната мрежа

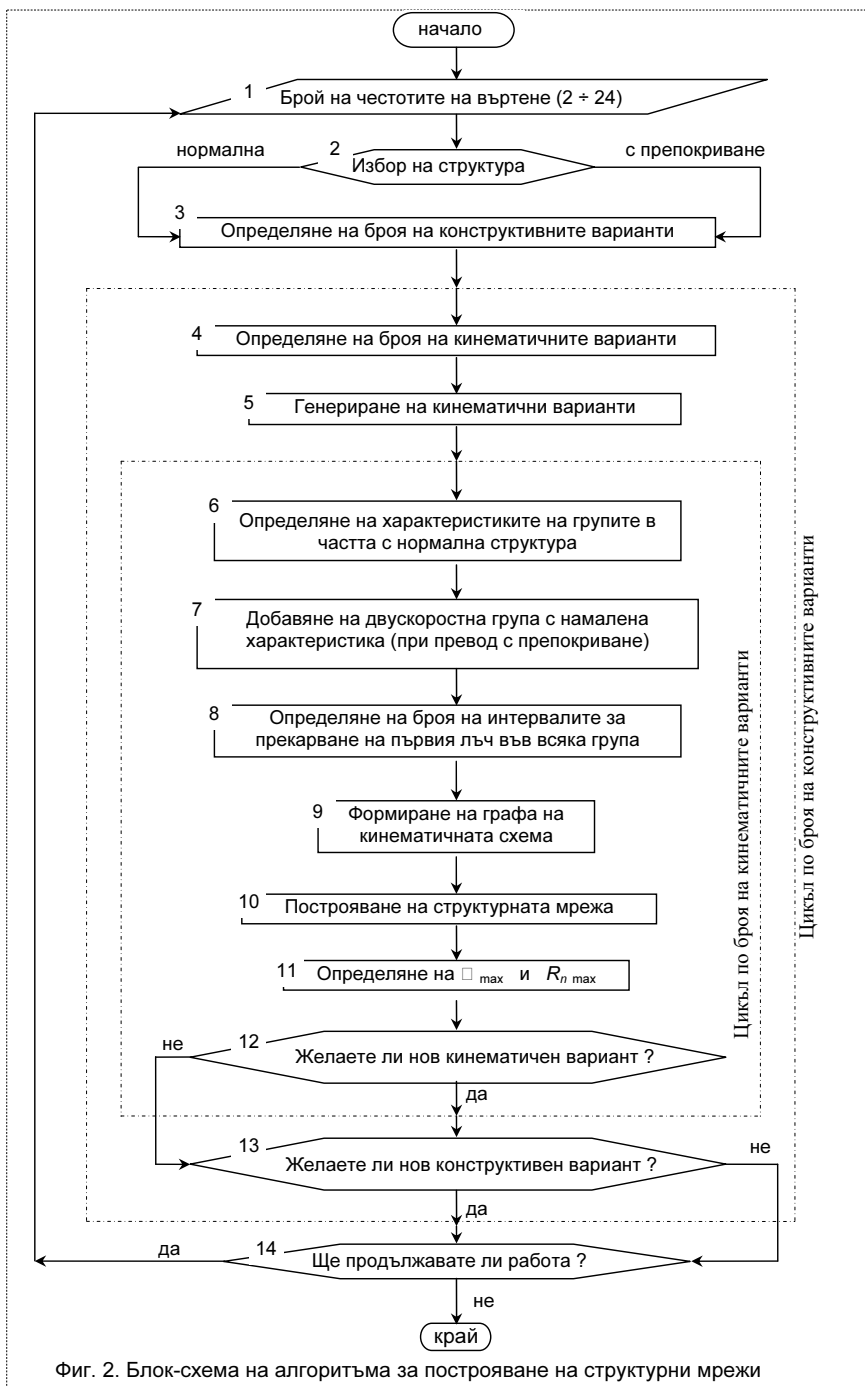
$$x_{(v_j)} = x_{(v_{j-1})} + (k_i - 1) h_i - d_i, \quad \forall (v_{j-1}, v_j), \quad j=2, |V|, \quad i=1, m, \quad k=1, p_i, \quad (19)$$

(коренът на дървото) се определя по формулата:

Абсцисите на останалите върхове  $x_{(v_j)}$  (фиг. 1) се определят по следния начин:

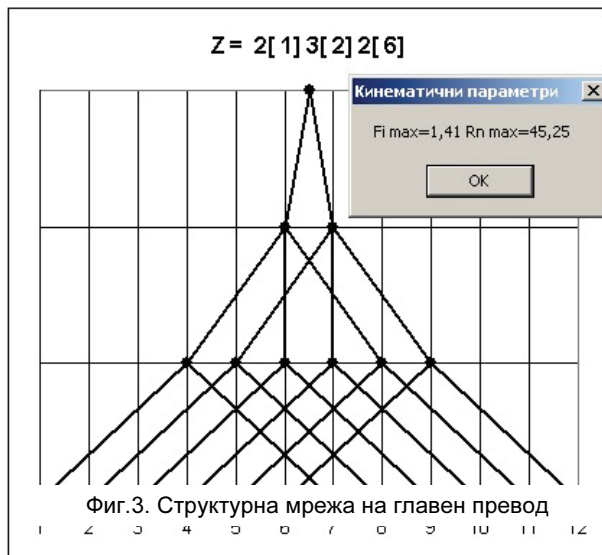
където  $k_i$  е номер на предавката в групата;

Ординатата на всеки връх е равна на номер на вала, върху който се намира съответната честота на въртене:



Фиг. 2. Блок-схема на алгоритъма за построяване на структурни мрежи

4. С масива от координати се построява структурната мрежа чрез диаграма от типа  $XY(Scatter)$  (оп.10, фиг.2). Като заглавие на диаграмата се записва структурната формула на превода, а в отделен прозорец се показват параметрите на построения вариант: максимално допустима стойност на показателя на геометричния ред  $\varphi_{max}$  и максимално допустимият коефициент на регулиране  $Rn_{max}$  (оп.11).



След построяването на структурна мрежа, се предоставя възможност за разработване на нов кинематичен вариант (оп.12). При отказ, се предлага преминаване към следващ конструктивен вариант (оп.13). Работата може да продължи с разработване на друг превод (оп.14).

По предложениния алгоритъм е създадена програма (макрос на *Visual Basic for Application*), работеща в средата на MS Excel, за построяване на структурни мрежи. На фиг.3. е показана структурна мрежа на вариант на превод с брой на честотите  $z = 12$ , построена с помощта на макроса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложени са алгоритъм и програма, позволяващи значително съкращаване на времето за анализ на конструктивни и кинематични варианти при разработване на степенни главни преводи за металорежещи машини. Същите могат да се използват и в учебния процес по дисциплината "Металорежещи машини".

## ЛИТЕРАТУРА

1. Велчев, С. Металорежещи машини. Част 1. Конструирание. Русе, Печ. база при ВТУ "А. Кънчев", 1987.
2. Кристофидес, Н. Теория графов. Алгоритмический подход.-Москва: Мир, 1978.
3. Полозов, В. С. и др. Автоматизированное проектирование. Геометрические и графические задачи. – Москва: Машиностроение, 1983.
4. Попов, Г. Металорежещи машини. Част 2. Конструирание и пресмятане. София, Изд. на ТУ София, 1996.

## За контакти:

Доц. д-р Петър Неделков Ангелов, Катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 237, e-mail: pangelov@uni-ruse.bg

Доц. д-р Иван Колев Иванов, Катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 544, e-mail: Kolev@uni-ruse.bg

Гл.ас.д-р Красимир Атанасов Иванов, Катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 451, e-mail: kivanov@uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран**