



# КИНЕМАТИЧЕН АНАЛИЗ НА ИМПУЛСЕН ЛОСТОВО-ЗЪБЕН ВАРИАТОР С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ОБРАТНИЯ ХОД

А. Вергов

**Резюме:** В настоящата статия е представен кинематичен анализ на лостово-зъбен импулсен вариатор с успоредни геометрични оси на валовете. Кинематичният анализ е извършен аналитично. За целта са използвани елементи от аналитичната геометрия и известни зависимости от механиката. Резултатите от този анализ са зависимости и диаграми, описващи моментната стойност на изходящите кинематични параметри.

**Ключови думи:** аналитичната геометрия, лостови механизми, скорост, зъбен механизъм, импулсен вариатор.

## 1. Въведение

Вариаторите са механизми позволяващи плавно изменение на предавателното отношение между задвижващ и изпълнителен механизъм.

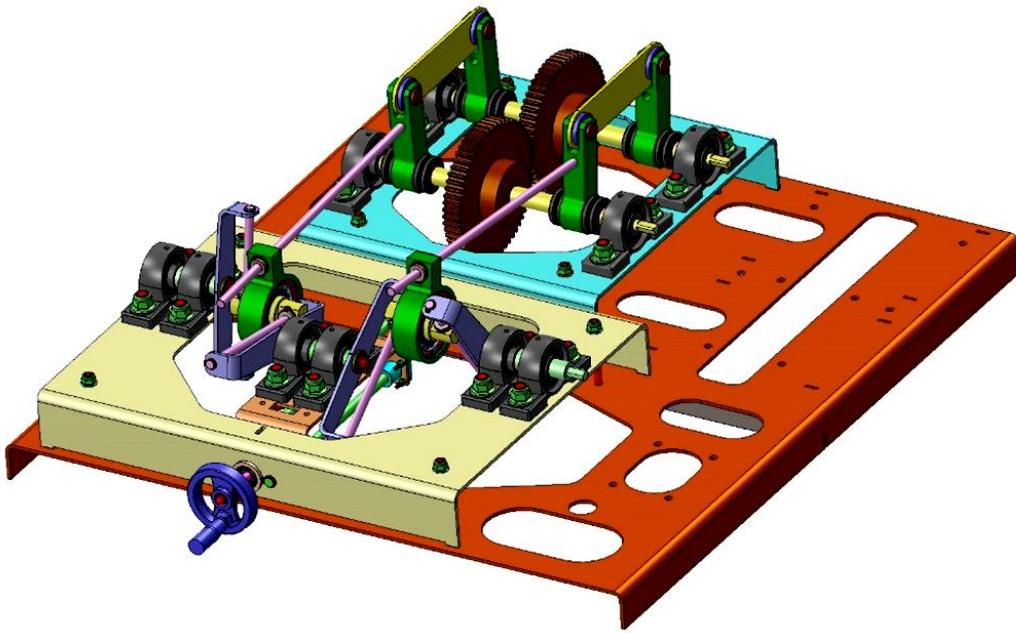
В импулсните предавки (в това число и импулсните вариатори), въртящият момент на изхода се подава под формата на периодични импулси. Това колебателно движение се трансформира в еднопосочно въртеливо движение на изходящия вал с помощта на механизми със свободен ход (МСХ). В [1] авторът дефинира понятието импулсен механизъм. Според [2] в импулсните предавки силовият поток от водещия вал към изходящия вал се предава на отделни импулси. В работата [3] импулси се наричат предавки, при които в установен режим на работа, скоростите на някои звена периодично се изменят.

До момента в редица изследвания и научни разработки са показани разнообразни конструкции на импулсни предавки [2, 3, 5, 6, 7, 9 и др.] Според същите източници в конструкцията на импулсните предавки влизат генератор на колебания (преобразуващ механизъм) и МСХ. Характерно е, че повечето импулсни предавки са предназначени за понижаване честотата на въртене.

На фиг.1 е показан модел на импулсен лостово-зъбен вариатор, с използване на обратния ход. С помощта на втори изходен вал и две еднакви зъбни колела се осъществява използването на обратния ход на симетричния кулисен механизъм (фиг.2).

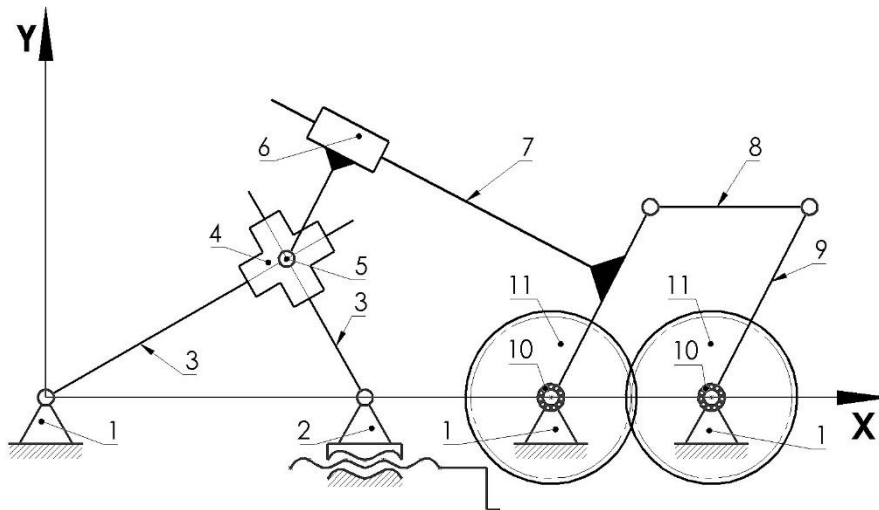
При различните механизми преместванията, скоростите, ускоренията и законите на тяхното изменение могат да бъдат определени с методите на аналитичната геометрия.

Целта на настоящата разработка е аналитично да се определи моментната стойност на изходящите кинематични параметри (преместване, скорост и ускорение), за конкретна лостово-зъбна предавка.



Фиг.1 Модел на лостово-зъбна предавка

Основните елементи на вариатора са показани на фиг.2. С 1 е обозначена стойка, с 2 подвижна стойка(вариаторна), с 3 кулиса, с 4 кръстат плъзгач, с 5 шарнир, с 6 плъзгач, с 7 кулиса-коляно, с 8 мотовилка, с 9 коляно, с 10 МСХ и с 11 зъбно колело. Механизмът, съставен от звената 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7, представлява по същество симетричен кулисен такъв, който е генератор на колебания. Междучентровото разстояние на звената 1 и 2 определя големината на амплитудата на колебанието на генератора.



Фиг.2 Кинематична схема

Механизмът, съставен от подвижните звена 7, 8, 9, и 10, представлява шарнирен четеризвенник. МСХ позиция 10, са с противоположни посоки на включване. Зъбните колела 11 са зацепени помежду си и са твърдо свързани с изходните валове, като по този начин се използва и обратният ход на симетричния кулисен механизъм за предаване на енергия към изхода на вариатора.



## 2. Постановка на задачата

Апроксимираната кинематична схема (с възможност за приложение в среда на CAD/CAE система) на изследвания лостово-зъбен механизъм е показана на фиг.2. Апроксимацията се заключава в намаляване броя на „секциите“ до една.

За апроксимирания зъбно-лостов механизъм ще бъдат определени аналитично:

- моментната стойност на изходящата ъглова скорост;
- скоростта на звеното 7.
- моментната стойност на предавателното отношение.

## 3. Решение на задачата

### 3.1. Аналитично решение на задачата

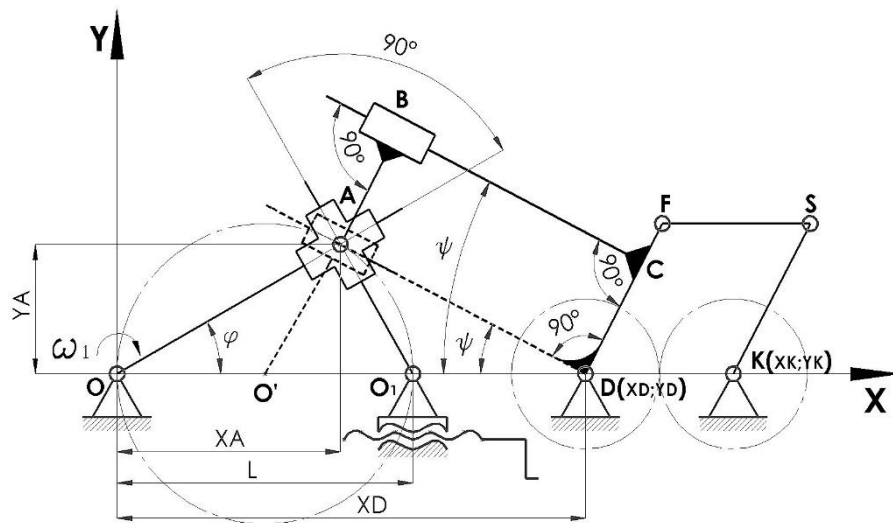
За решението на задачата се използват методите на аналитичната геометрия. За целта е дефинирана помощната геометрична схема - фиг.3. Тя е свързана с едно произволно положение на механизма, като са дефинирани някои основни размери. За решението на задачата се използва алгоритъмът от [10], за решаване на аналогична задача.

В сила са следните зависимости:

$$XA = OA \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

$$YA = OA \cdot \sin\varphi \quad (2)$$

$$OA = L \cdot \cos\varphi \quad (3)$$



Фиг.3 Помощна геометрична схема

При заместване на  $OA$  от израз (3) в изразите (1) и (2) се получават изразите (4) и (5).

$$XA = L \cdot \cos^2\varphi \quad (4)$$

$$YA = L \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi \quad (5)$$

От друга страна, ако  $YA$  се изрази чрез правоъгълния триъгълник определен от отсечките  $YA$ ,  $AD$  и  $(XD-XA)$  се получава израз (6).

$$YA = (XD - XA) \cdot \tan\psi \quad (6)$$



При заместване в израз (6) на XA и YA от изразите (4) и (5) се получава израз (7).

$$\psi(\varphi) = \arctan\left(\frac{L \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi}{XD - L \cdot \cos^2\varphi}\right) \quad (7)$$

Диференцираме зависимостта (7), спрямо променливата  $\varphi$  и се получава зависимостта (8), която е аналог на ъгловата скорост ( $A\omega_7$ ) на звено 7.

$$\frac{d\psi(\varphi)}{d\varphi} = \frac{\frac{L \cdot \cos^2\varphi}{XD - L \cdot \cos^2\varphi} - \frac{2L^2 \cdot \sin^2\varphi \cdot \cos^2\varphi}{(XD - L \cdot \cos^2\varphi)^2} - \frac{L \cdot \sin^2\varphi}{XD - L \cdot \cos^2\varphi}}{\frac{L^2 \cdot \sin^2\varphi \cdot \cos^2\varphi}{(XD - L \cdot \cos^2\varphi)^2} + 1} = A\omega_7 \quad (8)$$

Лявата част на (8) се умножава и дели с dt и се получава зависимостта (9).

$$\frac{d\psi}{dt} \cdot \frac{dt}{d\varphi} = A\omega_7 \quad (9)$$

След математическа обработка се получава зависимост (10), която дава възможност да се определи моментната ъглова скорост на звено 7.

$$\omega_7 = \omega_1 A\omega_7 \quad (10)$$

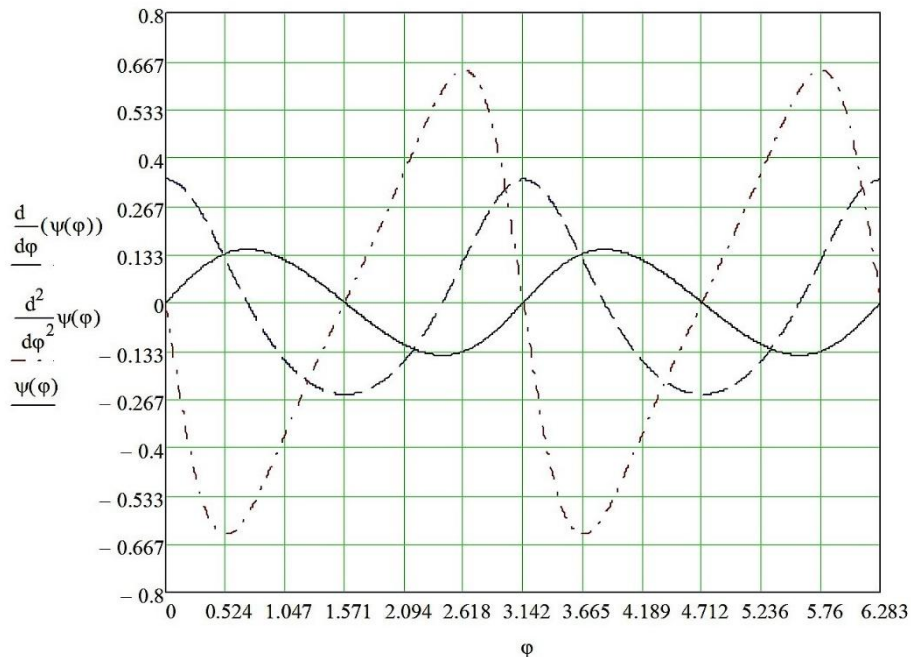
Определя се и моментната стойност на предавателното отношение  $i(\varphi)$ .

$$i(\varphi) = \frac{\omega_7}{\omega_1} \quad (11)$$

Изведената зависимост (11) дава представа за изменението на предавателното отношение в зависимост от положението на водещото звено. Вижда се, че предавателното число е променлива величина. Изведени са зависимости даващи представа за ускорението на звено 7.

В среда на Mathcad е изследван вариант на разглежданата предавка. Зададени са следните стойности:  $XD=292$  mm;  $L=74$  mm;  $\omega_1=0.628$  rad.s<sup>-1</sup> (6RPM). По зададени зависимости софтуерът определя и визуализира в интервала на изменение на ъгъл  $\varphi$ , изменението на ъгъл  $\psi(\varphi)$ , аналога на ъгловите скорост и ускорение на звено 7.

На фиг.4 са показани получените графики за съответните аналози, чрез които може да се придобие представа за изменението стойността на преместването, скоростта и ускорението на звено 7. Генерирани са други диаграми, които не са показани в настоящата работа.



**Фиг.4** Графична визуализация в среда на Mathcad

#### 4. Изводи

- Разработен е геометричен модел на апроксимирания лостово-зъбен механизъм.
- Получени са аналитични зависимости, позволяващи изследване на изходящата ъглова скорост, ъглово ускорение и предавателно отношение. Предавателното отношение е променлива величина.
- Изменението на междуосовото разстояние  $L$  води до промяна на предавателното отношение.
- Получените аналитични резултати са с графична визуализация и могат да бъдат сравнявани посредством симулация на 3D апроксимация на пространствен зъбен механизъм в среда на CAD/CAE система.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2017 (Договор №172ПД0008-24). Авторите изказват своята благодарност на НИС при Технически университет – София.

#### Литература:

1. Крайнев А.Ф. Механика машин.: Фундаментальный справочник. - М.: Машиностроение, 2000. - 904 с.
2. Балжи М.Ф., Леонов А.И. К анализу некоторых схем планетарных импульсных механизмов// Сборник статей «Конструирование и расчет гусеничных машин». - Челябинск: Изд - во ЧПИ, 1967. Вып. 44, - С. 49-50.
3. Благонравов А.А. Механические бесступенчатые передачи нефрикционного типа. - М.: Машиностроение, 1977. -143 с.
4. Балжи М.Ф., Леонов А.И. К анализу некоторых схем планетарных импульсных механизмов// Сборник статей «Конструирование и расчет гусеничных машин». - Челябинск: Изд - во ЧПИ, 1967. Вып. 44, - С. 49-50.
5. Благонравов А.А. Пути развития механических бесступенчатых передач - Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: Сб. кратких научных сообщений Всероссийской научно-



- технической конференции. Отв. ред. А. В. Юркевич. - Курган, Изд-во Курганского гос. ун-та, 2003. - С. 3- 12.
6. Леонов А.И., Дубровский А.Ф. Механические бесступенчатые нефрикционные передачи непрерывного действия. -М.: Машиностроение, 1984
  7. Леонов А.И., Ефимов Н.П. Бесступенчатые рычажно-фрикционные передачи. - М.: Машиностроение, 1987. -135 с.
  8. Мальцев В. Ф. Импульсные вариаторы. М., Машгиз, 1963 280 с.
  9. Мальцев В.Ф. Механические импульсные передачи. - М.: Машиностроение, 1978. - 367 с.
  10. Учкунув Г.,Вергов А. Кинематичен анализ на лостово-зъбен преобразувател на движение. TECHSYS 2016 Пловдив, 2016г.

### **KINEMATIC ANALYSIS OF THE PULSE LEVER-TOOTH VARIATOR USING REVERSE STROKE**

**A. Vergov**

**Abstract:** *This article presents a kinematic analysis of lever-tooth pulse variator with parallel geometric axes of the shaft. The kinematic analysis was performed analytically. For this purpose were used elements of analytic geometry and mechanics known dependencies. The results of this analysis are dependencies and diagrams describing the current value of the output kinematic parameters.*

**Данни за автора:**

Асен Димитров Вергов, асистент магистър инженер, катедра „МУ” при ФУМ, Технически Университет – София, филиал Пловдив Р. България, Пловдив, ул. “Цанко Дюстабанов” № 25, тел.: 0895587267, e-mail: [asen\\_d\\_vergov@abv.bg](mailto:asen_d_vergov@abv.bg)