

# ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

Пискарев Д.М.<sup>1</sup>, Хальметов Д.Н.<sup>2</sup> Email: Piskarev17100@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Пискарев Дмитрий Михайлович – магистрант;  
<sup>2</sup>Хальметов Динар Наилевич - магистрант,  
кафедра специальной робототехники и мехатроники,  
Московский государственный технический университет им. Николая Эрнестовича Баумана,  
г. Москва

**Аннотация:** в статье рассмотрена задача определения влияния зазора механической передачи на характеристики мехатронного модуля, при помощи метода гармонической линеаризации определены частота и автоколебания, а также представлены допустимые ошибки расчета. Приведены результаты синтеза корректирующего устройства и представлены желаемые логарифмические амплитудно-частотные характеристики мехатронного модуля, представлен способ определения решения системы линейных уравнений как точки пересечения амплитудно-фазовой характеристики нелинейного звена с обратной амплитудно-фазовой характеристикой линейной части системы.

**Ключевые слова:** мехатронный модуль, зазор, механическая передача, автоколебания, зона нечувствительности.

## THE GAP EFFECT ON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE MECHATRONIC MODULE

Piskarev D.M.<sup>1</sup>, Khalmetov D.N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Piskarev Dmitry Mikhailovich – Undergraduate;  
<sup>2</sup>Khalmetov Dinar Nailevich - Undergraduate,  
DEPARTMENT "SPECIAL ROBOTICS AND MECHATRONICS",  
BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MOSCOW

**Abstract:** the article analyzes the problem of determining the influence of the mechanical transmission gap on the characteristics of the mechatronic module, using the method of harmonic linearization, the frequency and self-oscillations are determined, and also the admissible calculation errors are presented. The results of the correcting device synthesis and the desired logarithmic amplitude-frequency characteristics of the mechatronic module are presented, a method for determining the solution of a system of linear equations as a point of intersection of the amplitude-phase characteristic of a non-linear link with an inverse amplitude-phase characteristic of the linear part of the system also is presented.

**Keywords:** mechatronic module, clearance, mechanical transmission, self-oscillation, dead zone.

УДК 51-74

### Введение

Параметры механической передачи оказывают значительное влияние на характеристики мехатронного модуля. Наиболее важными характеристиками механической передачи являются пятно контакта [2], из-за которого возникает моментная зона нечувствительности, и зазор. Наличие моментной зоны нечувствительности [3] сказывается на точности системы, а зазор может привести к появлению автоколебаний.

Задачей является анализ влияния зазора на динамические свойства мехатронного модуля.

Распространенный подход к решению поставленной задачи выглядит так:

- 1) с помощью метода гармонической линеаризации определяют амплитуду и частоту автоколебаний;
- 2) изменяют параметры линейной части системы так, чтобы амплитуда автоколебаний была меньше допустимой ошибки.

Другой подход предполагает, что при выполнении НИОКР на этапе эскизного проектирования в ТЗ на последующие этапы выносятся требования на параметры механической передачи.

Формирование ТЗ может выполняться в следующей последовательности:

- 1) проводится анализ динамики и синтез КУ мехатронного модуля, формируется желаемая ЛАЧХ того или иного типа (рис. 1);
- 2) Из требований точности задается допустимое значение амплитуды автоколебаний;
- 3) Решается обратная задача анализа автоколебаний, когда искомой величиной является допустимое значение зазора.

Незатухающие синусоидальные колебания с постоянной амплитудой в замкнутой системе определяются согласно частотному критерию устойчивости прохождением амплитудно-фазовой характеристики разомкнутой системы через точку  $(-1, 0)$ . [1]

Это можно записать через уравнение [1]:

$$W(a, \omega) = -1 \quad (1)$$

которое можно переписать в виде:

$$W_n(j\omega) = -\frac{1}{W_n(a)} \quad (2)$$

где  $W_n(j\omega)$  – один из желаемых ЛАХов;  $W_n(a) = q(a) + jq'(a)$ .

Но в отличие от стандартного подхода мы будем использовать формулу:

$$W_n(a) = -\frac{1}{W_n(j\omega)} \quad (3)$$

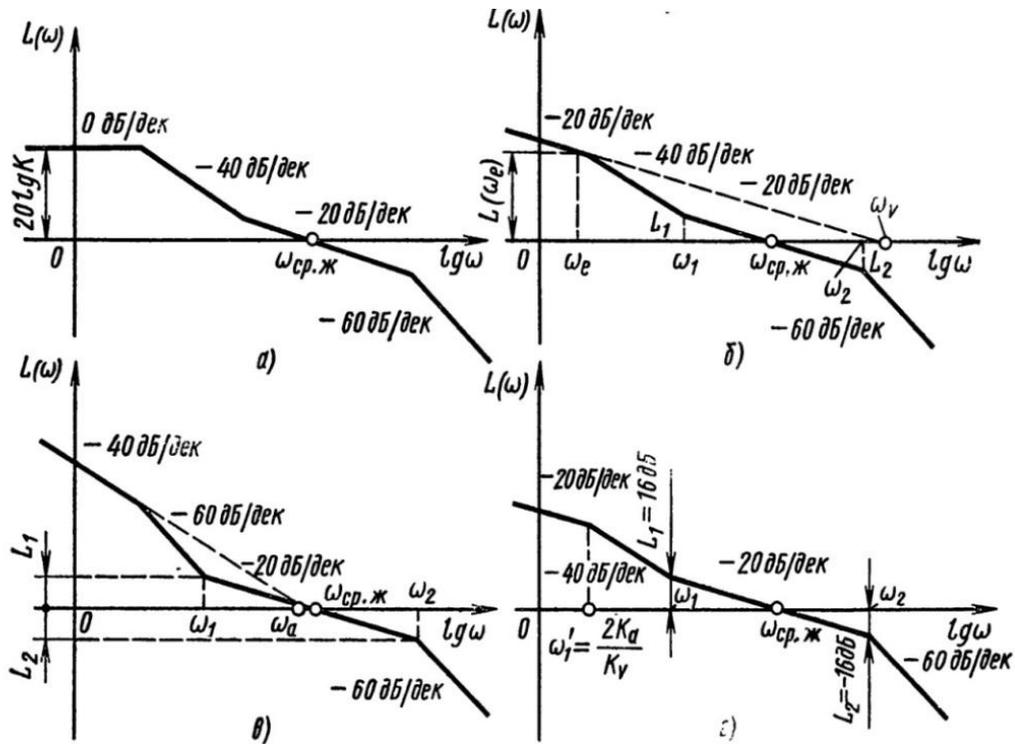


Рис. 1. Типы желаемых ЛАЧХ

Точка пересечения амплитудно-фазовой характеристики нелинейного звена с обратной амплитудно-фазовой характеристикой линейной части системы, взятой с обратным знаком, является решением [4] (рис. 2).

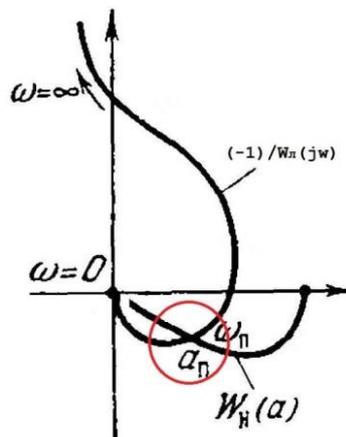


Рис. 2. Годографы

Решение системы линейных уравнений является сравнительно сложной вычислительной задачей. При выборе любого метода решения желательно найти начальные приближения. Будем искать решение в

области частот (рис. 2), где точка пересечения амплитудно-фазовой характеристики нелинейного звена с обратной амплитудно-фазовой характеристикой линейной части системы, взятой с обратным знаком [1]. Далее поиск величины допустимого зазора производится по следующему алгоритму (рис. 3):

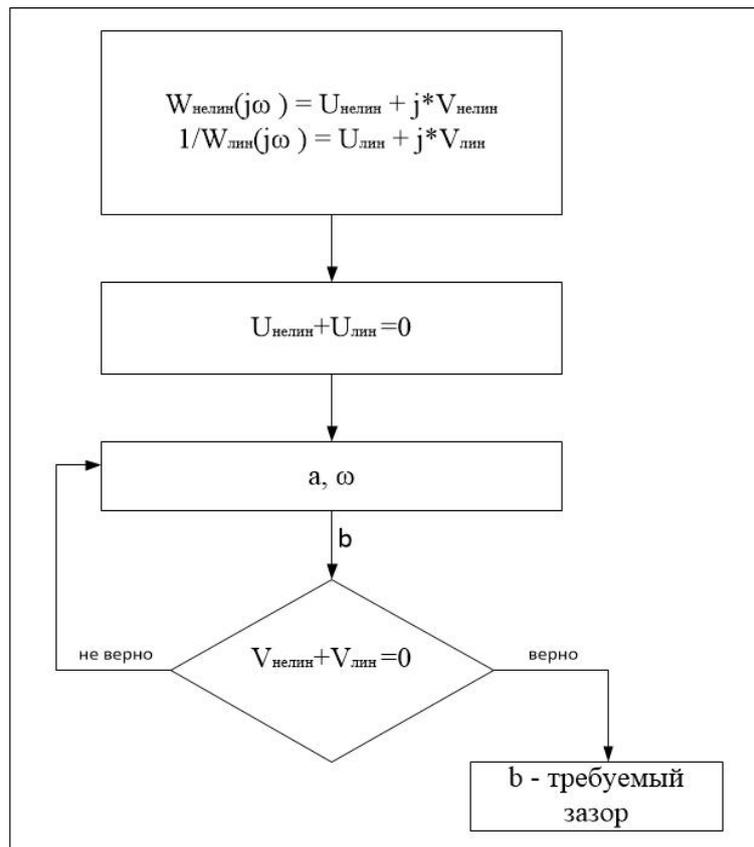


Рис. 3. Алгоритм поиска величины требуемого зазора

1) Передаточные функции линейной и нелинейной части представляем в виде:

$$W_n(j\omega) = U_{\text{нелин}} + j * V_{\text{нелин}} \quad (4)$$

$$\frac{1}{W_l(j\omega)} = U_{\text{лин}} + j * V_{\text{лин}} \quad (5)$$

2) Решаем уравнение:

$$U_{\text{лин}} + U_{\text{нелин}} = 0 \quad (6)$$

3) Из уравнения для всех частот « $\omega$ » и амплитуд «a» находим величину зазора «b».

4) Для найденных значений « $\omega$ », «a» и «b» проверяем условие:

$$V_{\text{лин}} + V_{\text{нелин}} = 0 \quad (7)$$

Если оно выполняется, то величина «b» является требуемым зазором.

Если условие не выполняется, то возврат к пункту № 3.

#### Список литературы / References

1. Бесекерский В.А. Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972. 768 стр.
2. Артоблевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1975. 640 с.
3. Харкевич А.А. Автоколебания / А.А. Харкевич. М.: Либроком, 2009., 176 с.
4. Ланда П.С. Автоколебания в распределенных системах. М.: Либроком, 2015. 320 с.