

Склярів Р. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Склярів Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 621.3+62-83

Р. Склярів, канд. техн. наук; В. Шанайда, канд. техн. наук; М. Савчук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Резюме.* Розроблено з використанням інформаційних технологій системи VisSim структурні схеми електропривода металорізального верстата (МРВ). Проведено дослідження перехідних процесів у електроприводі МРВ, які виникають при різних режимах навантаження. Досліджено стійкість системи за критерієм Найквіста при різних значеннях моменту інерції електропривода. Встановлено раціональні параметри математичної моделі для досліджуваних структурних схем.

*Ключові слова:* металообробне обладнання, електропривод, комп'ютерне моделювання.

**R. Sklarov, V. Shanayda, M. Savchuk**

## THE INVESTIGATION OF TRANSITIONAL PROCESSES OF ELECTRIC GEAR IN METAL PROCESSING EQUIPMENT USING INFORMATION TECHNOLOGIES

*The summary.* The structural schemes of electric gear in metal cutting equipment were developed using the VisSim system information technologies. The investigation of transitional processes in the electric gear in metal equipment occurring at different load regimes was conducted. The study of system resistance at different values of electric gear inertia momenta according to Nyquist criteria was carried out. Rational parameters of the mathematical model for the investigated structural schemes were determined.

*Key words:* metal processing equipment, the electric gear, computer modeling.

**Постановка проблеми.** Одна із основних вимог до металорізальних верстатів (МРВ) – якість оброблюваних поверхонь деталей, зокрема, шорсткість поверхонь, точність розмірів, допусків і т. ін. Це досягається за рахунок забезпечення плавності ходу головного руху та рухів подач. У свою чергу плавність головного руху залежить від динамічних характеристик електропривода, зокрема, від стійкості до імпульсних та ударних навантажень на деталь, швидкості обробки тощо. Для їх дослідження існує ряд методів та підходів. Найперше – це натурний підхід з використанням відповідних приладів. При всіх перевагах ці методи є трудомісткі та часозатратні. Одночасно із натурними методами аналізу електропривода широко використовують методи математичного моделювання. Для реалізації цих методів застосовують готові програмні засоби моделювання на персональному комп'ютері. Наприклад, системи схемотехнічного моделювання Elektroniks Workbench, PSpice та ін.

Як показав огляд літературних джерел та Інтернет-пошук для вирішення завдань аналізу електропривода МРВ майже не використовується достатньо потужна комп'ютерно-моделююча система VisSim. Ця система має широкі можливості та ряд переваг щодо дослідження й аналізування динамічних характеристик електропривода.

**Аналіз досліджень і публікацій.** При дослідженні систем електропривода металорізальних верстатів, як і при моделюванні будь-яких інших об'єктів, вирізняють три етапи: складання математичної моделі; технічна реалізація цієї моделі; отримання необхідних результатів [1, 2].

На першому етапі вирішують завдання, пов'язані з пошуком та вибором моделі об'єкта досліджень із переліку тих, які вже сформовані для дослідження об'єктів

подібної групи. Головна проблема полягає у чіткості й коректності формулювання припущень, які забезпечують адекватність математичної моделі до реального фізичного об'єкта, і, як наслідок, достовірність отриманих результатів.

Великий вплив на наповнення математичної моделі об'єкта досліджень має рівень технічного забезпечення для реалізації моделі й ті вимоги, які необхідно виконати при підготовці інформації для комп'ютерної системи моделювання. Як правило, подібну вхідну інформацію подавали у вигляді системи диференціальних рівнянь, яка записана в нормальній формі Коші або системи рівнянь, яка представлена у вигляді структурної чи принципової схеми математичної моделі для реалізації дослідження.

На другому етапі моделювання задачі проводять верифікацію інформаційного потоку і встановлюють відповідність прийнятої моделі до мети досліджень. Використовуючи можливості пакета прикладних програм VisSim, обирають один із методів розв'язання математичної моделі з переліку тих, що записані у внутрішній пам'яті цього програмного продукту.

На третьому етапі досліджень здійснюють аналіз отриманих результатів за допомогою алгоритмів, які закладені у бібліотеках пакета прикладних програм VisSim чи інших комп'ютерних програм відповідного рівня. При цьому виконують порівняльний аналіз технічних можливостей програмного продукту для найбільш коректного відтворення об'єкта досліджень та проводять корекцію технології досліджень методами математичного моделювання.

Математичне та функціональне моделювання широко застосовують для аналізу й синтезу систем електропривода [3]. Наявне комп'ютерне програмне забезпечення для реалізації моделюючих програм можна розділити на такі групи: математичного моделювання; моделювання структурних схем по передатних функціях; моделювання електронних схем; моделювання фізичних процесів, полів і т.п.

Програми математичного моделювання застосовують на етапі первинного аналізу досліджуваних систем. За їх допомогою визначають базові технологічні параметри досліджуваної системи.

Програми моделювання структурних схем оцінюють реакцію системи на різні збуджуючі керуючі впливи, проводять аналіз перехідних процесів, а також забезпечують виконання фазово-частотного аналізу. За допомогою таких програмних продуктів проводять оцінювання відповідності вибраної структурної схеми і коригувальних ланок до реальної досліджуваної системи.

Пакети програм для проектування електронних схем формують з елементів принципові схеми електронних вузлів електропривода, визначають їх раціональне розташування в заданих габаритах друкованої плати, виконують автоматичне трасування плати, готують проектну документацію для виготовлення друкованих плат.

**Мета роботи.** Дослідити характер перехідних процесів у приводі головного руху МРВ для визначення інерційних характеристик його складових елементів за допомогою програми VisSim.

**Постановка завдання.** Визначити межі допустимого інерційного навантаження електропривода МРВ з умови забезпечення стійкості системи; дослідити реакцію системи на зміну моменту інерції ланцюга навантаження; розробити моделі структурних схем для опису систем електропривода МРВ; сформулювати комплекс систем рівнянь для характеристики компонентів структурних схем; визначити можливість використання пакета прикладних програм VisSim для дослідження електропривода МРВ.

**Результати дослідження.** В основу математичної моделі електропривода закладено системи диференціальних, алгебраїчних та логічних рівнянь. У першому випадку реалізовано опис елементів системи диференціальними рівняннями та

відповідними їм передаточними функціями. Така форма зручна при використанні спеціалізованих програмних продуктів (наприклад, MATLAB, VisSim), до складу яких входять моделі типових ланок [3–5]. Складання систем рівнянь, що описують об'єкт, здійснюється програмним продуктом автоматично. Завдання підготовки моделі в цьому випадку полягає у складанні структурної схеми електропривода та розрахунку її параметрів. У випадку дослідження вузлів систем електропривода на основі спеціалізованих систем схемотехнічного моделювання (таких, як PSpice, Electronics Workbench тощо) вхідна інформація подається у вигляді принципових схем, створених за допомогою графічних редакторів, які входять до складу цих програмних продуктів.

Для побудови, дослідження й оптимізації різноманітних моделей технічних об'єктів і систем, у тому числі й систем керування, призначена програма VisSim [3]. До її структури входить окремий модуль Simulink, який дозволяє забезпечити візуальне сприйняття середовища моделювання. У програмному середовищі VisSim проводиться автоматичне формування математичної моделі згідно з запропонованою користувачем структурою досліджуваної системи, її керуючих та технічних параметрів, а також характеру складових елементів досліджуваної системи та зв'язків між ними.

Вхідними даними для побудови моделі в VisSim є структурно-функціональна схема системи, процесу або об'єкта дослідження [4]. Кожен елемент цієї схеми описаний типовим диференційно-алгебраїчним рівнянням або операторною функцією. Реальні системи й об'єкти складаються з окремих, пов'язаних і взаємодіючих один з одним елементів. Для всієї системи в цілому і для її окремих елементів можна вказати місце подачі збуджуючого сигналу, яке називають "входом", і місце прояву реакції системи на вхідний вплив, яке називають «виходом».

Модель досліджуваної системи у програмі VisSim формували з окремих елементів – блоків. Блок – це віртуальний аналог фізичного елемента реальної системи. Взаємодія між блоками відображається лініями зв'язку, які вказують напрямки передавання впливів (сигналів) від одного блоку до іншого.

Відомо, що застосування відносних одиниць спрощує математичний опис будь-яких об'єктів, полегшує виконання порівняльних досліджень. Перехід до системи відносних одиниць здійснюється незалежно від форми математичного опису об'єкта. Якщо основою моделі є структурна схема, то доцільно реалізовувати алгоритм для її переведення до системи відносних одиниць.

Розглянемо ланку структурної схеми з передатною функцією, коефіцієнти якої у загальному випадку можуть бути як лінійними, так і нелінійними:

$$W(p) = \frac{U_{вих}(p)}{U_{вх}(p)}, \quad (1)$$

де  $U_{вих}$ ,  $U_{вх}$  – значення відповідно вхідного та вихідного сигналів.

Якщо  $U_{вх}^*$  і  $U_{вих}^*$  – базові величини вказаних сигналів, то їх відносні значення

$$u_{вх}(p) = \frac{U_{вх}(p)}{U_{вх}^*}; \quad u_{вих}(p) = \frac{U_{вих}(p)}{U_{вих}^*}. \quad (2)$$

Підставивши (2) в (1), отримаємо:

$$W(p) = \frac{u_{вих}(p) \cdot U_{вих}^*}{u_{вх}(p) \cdot U_{вх}^*}, \quad (3)$$

$$w(p) = \frac{u_{\text{вих}}(p)}{u_{\text{вх}}(p)} = W(p) = \frac{U_{\text{вих}}^*}{U_{\text{вх}}^*}, \quad (4)$$

де  $w(p)$  – передаточна функція ланки у відносних одиницях.

Якщо для всіх "входів" і "виходів" ланок структурної схеми визначено параметри базових величин, то для переходу до структурної схеми у відносних одиницях достатньо помножити передатні функції кожної ланки на коефіцієнт, який дорівнює співвідношенню базових величин на її вході та виході.

Оскільки вигляд передатної функції у відносних одиницях визначається базовими величинами, то їх вибір є важливим завданням. При встановленні базових величин дотримувались таких вимог: по-перше, в точках структурної схеми, де відбувається складання сигналів, усі "вхідні" і "вихідні" змінні мали одну і ту ж базову величину (дотримання цієї умови забезпечує сталість усіх контурних коефіцієнтів підсилення після переведення схеми в систему відносних одиниць); по-друге, вибирали такі базові величини, щоб якомога більша кількість коефіцієнтів передавання структурної схеми дорівнювали одиниці (виконання цієї вимоги можна забезпечити у випадку, коли для розглядуваної ланки задати тільки одну базову величину – на її "вході" або "виході").

Для електроприводів постійного струму за базові приймали номінальні значення напруги  $U^* = U_{\text{н}}$  та струму  $I^* = I_{\text{н}}$  якоря, напруги  $U_{\text{з}}^* = U_{\text{зн}}$  та потоку  $\Phi^* = \Phi_{\text{н}}$  збудження.

Структурна схема електропривода зображена на рис. 1.

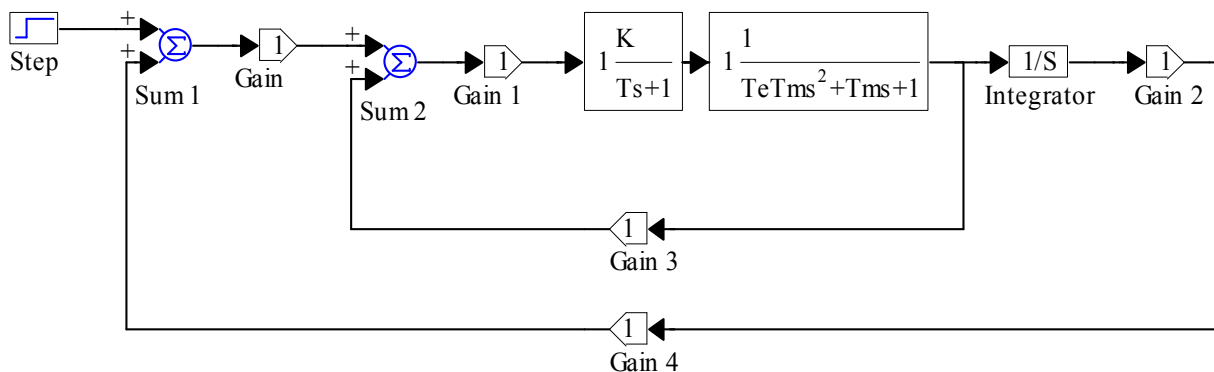


Рисунок 1. Структурна схема електропривода

Опис вузлів системи:

- Step – джерело керуючого впливу, задає величину напруги 5 В.
- Sum 1, Sum 2 – порівняльні пристрої (суматори).
- Gain, Gain 1 – коефіцієнти підсилення в контурі положення й швидкості відповідно,  $K_{\text{nid}1}=7$ ,  $K_{\text{nid}2}=8$ .
- Transfer FCN – передаточна функція привода головного руху,  $W_{\text{тпн}}(s) = \frac{K}{Ts + 1}$ .
- Transfer FCN1 – передаточна функція двигуна,  $W(s) = \frac{1}{Te \cdot Tm \cdot s^2 + Tm \cdot s + 1}$ .
- Integrator – редуктор-суматор описується інтегруючою ланкою,  $1/s$ .
- Gain 4 – коефіцієнт редуктора.

- Gain 2, Gain 3 – коефіцієнти додатного зворотного зв'язку за швидкістю й положенням кута відповідно,  $K_{дзз}$ ,  $K_{дзз\alpha}$ .

На основі поданої структурної схеми в програмі VisSim проведено моделювання електропривода при різних режимах навантаження. Ми проаналізували реакції системи при різних значеннях моменту інерції  $J_{\Sigma}$ . Величина цього параметра впливає на величину коефіцієнта  $T_m$ , який, в свою чергу, формує амплітуду передаточної функції двигуна.

За допомогою пакета VisSim досліджено процеси, які відбуваються у структурі системи електропривода металорізального верстата. Для цього використано блоки візуалізації даних і зображення. При цьому структурно-функціональна схема мала вигляд як на рис. 2.

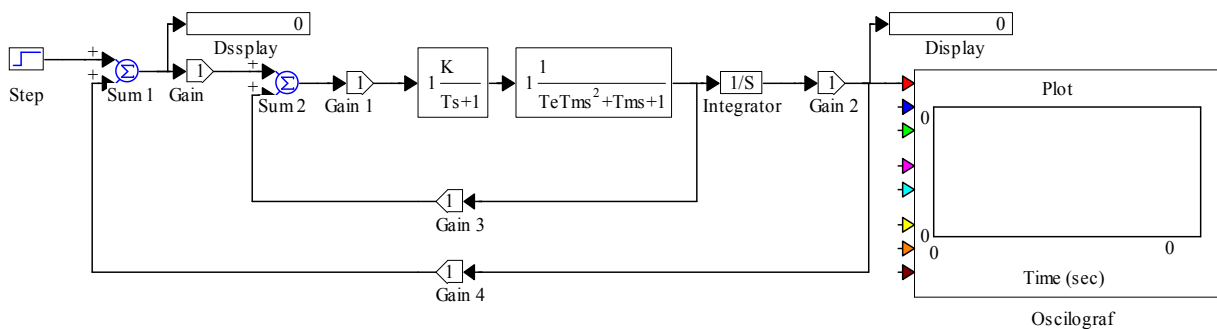


Рисунок 2. Схема моделювання електропривода з елементами відображення інформації

Проведення досліджень здійснювали за трьома схемами, які відрізняються між собою передаточними функціями двигуна. На рис. 3 зображено схему моделі електропривода з гальмом та тахогенератором; на рис. 4 – схему моделі електропривода з урахуванням приведенного моменту інерції до валу двигуна (I випадок); на рис. 5 – схему моделі електропривода з урахуванням приведенного моменту інерції до валу двигуна (II випадок).

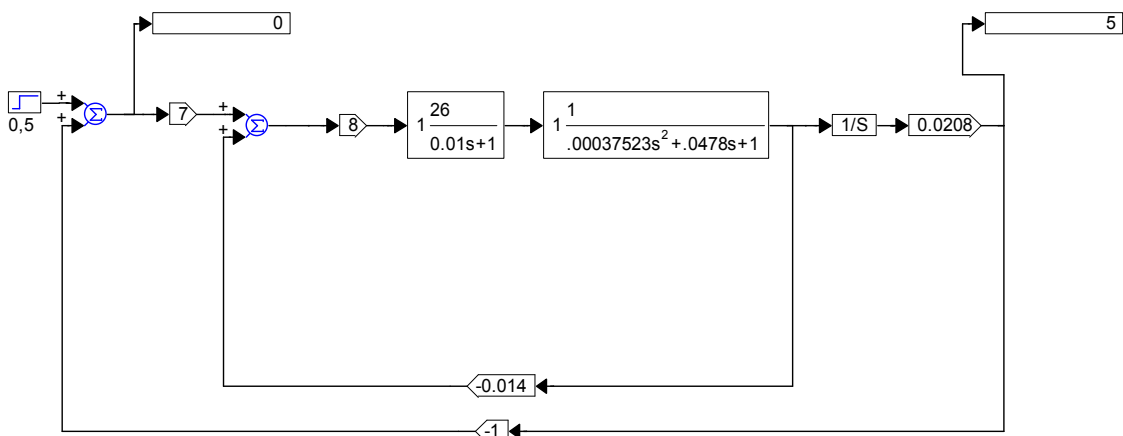


Рисунок 3. Модель електропривода з гальмом та тахогенератором

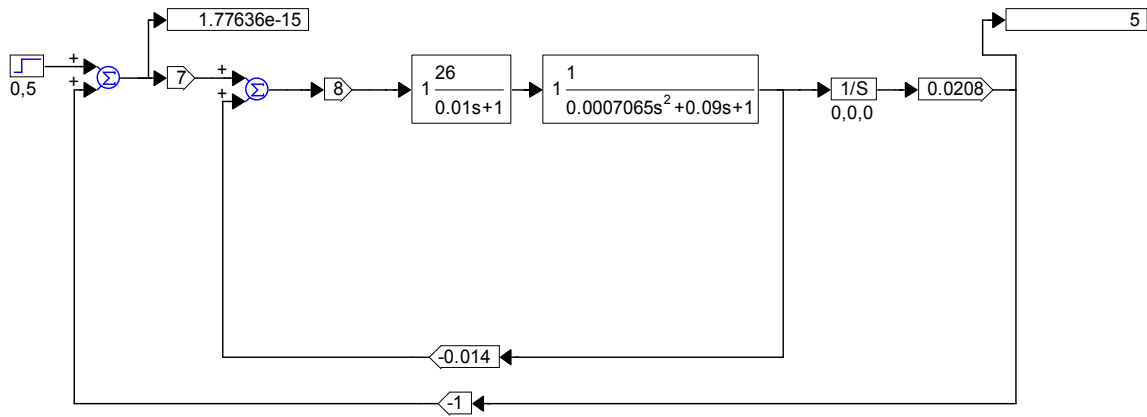


Рисунок 4. Модель електропривода з урахуванням приведенного моменту інерції до валу двигуна (I випадок)

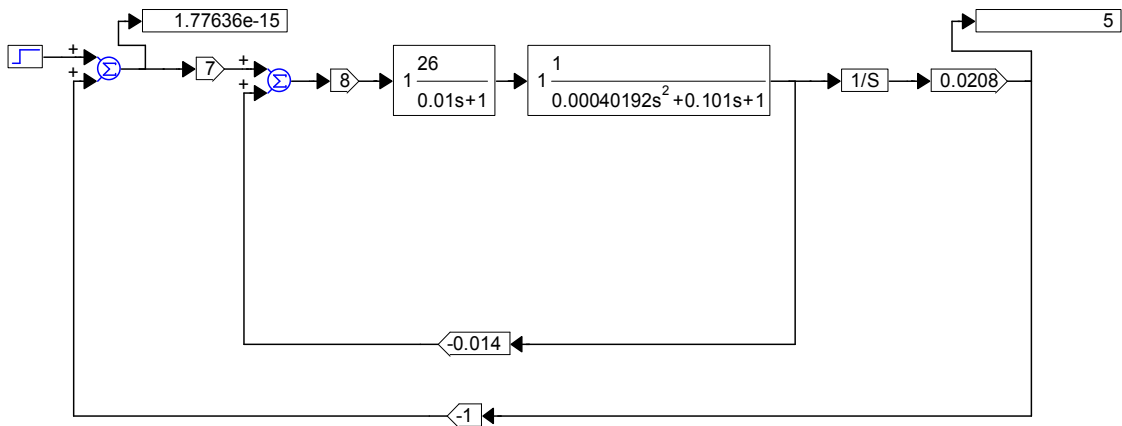


Рисунок 5. Модель електропривода з урахуванням приведенного моменту інерції до валу двигуна (II випадок)

Результатом аналізу досліджуваної системи у програмному середовищі VisSim є побудовані криві, котрі вказують на характер процесів, що відбуваються в електроприводі верстата під час вмикання електродвигуна. При цьому ми встановили наявність перехідних процесів у системі електропривода (рис. 6).

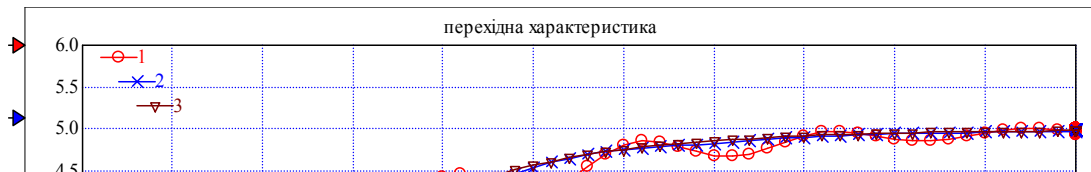


Рисунок 6. Перехідні процеси в системі електропривода металорізального верстата у момент пуску електродвигуна: 1 – двигун з гальмом і тахогенератором; 2 – навантажений привід (I випадок); 3 – навантажений привід (II випадок)

Програмне середовище VisSim забезпечує проведення дослідження стійкості системи за критерієм Найквіста при різних значеннях моменту інерції електропривода. За цим критерієм ми оцінювали стійкість замкненої системи за частотною характеристикою розімкненої системи. Замкнена система є стійкою у випадку, коли стійкою є розімкнена система. Про стійкість розімкненої системи стверджують у випадку, коли АФХ розімкненої системи  $W(j\omega)$  не охоплює точку з координатами  $(-1, j0)$  при зміні  $\omega$  від  $0$  до  $\infty$ . Аналіз стійкості системи демонструє можливість системи витримувати багатоциклічний вплив керування і її реакцію на безперервний гармонійний вплив.

У першому випадку розглянуто стійкість системи при пуску двигуна з урахуванням гальма і тахогенератора (рис. 7), а в другому – проведено аналіз стійкості системи при врахуванні приведенного до вала двигуна моменту інерції шпинделів (рис. 8).

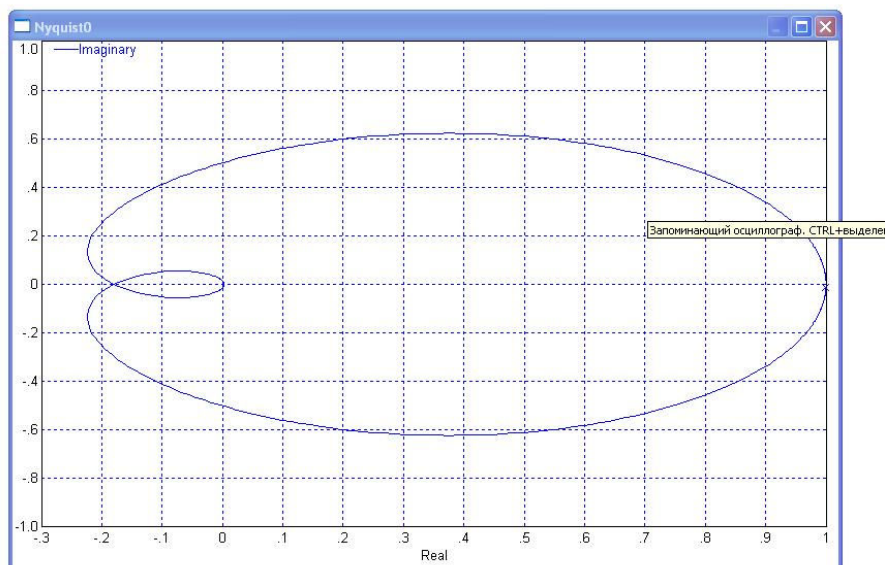


Рисунок 7. АФХ для аналізу стійкості системи при пуску двигуна з урахуванням гальма і тахогенератора за критерієм Найквіста

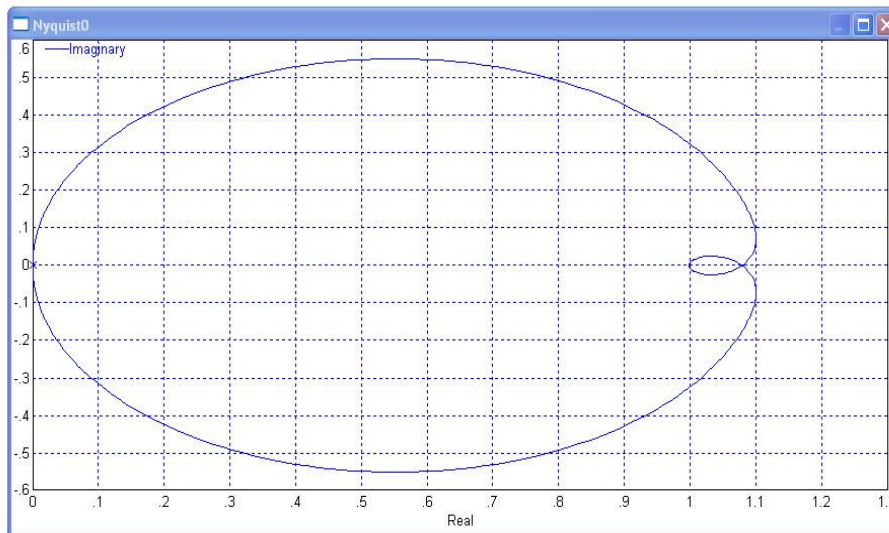


Рисунок 8. АФХ для аналізу стійкості системи при врахуванні приведенного моменту інерції шпинделів

**Висновки.** Проведені дослідження стійкості системи за критерієм Найквіста при різних значеннях моменту інерції електроприводу дозволили визначити допустимі межі його інерційного навантаження. Встановлено реакцію системи електропривода верстата на зміну параметра "момент інерції  $J_{\Sigma}$ " при різних значеннях передаточного числа редуктора (змінних положеннях зубчатих коліс у коробці швидкостей). За результатами функціонального аналізу систем електропривода розроблено моделі структурних схем, які найбільш адекватно описують роботу реальних систем електропривода верстатів. Встановлено характер перехідних процесів на етапах пуску та зупинки електродвигуна головного руху верстата. Сформовано математичні моделі електропривода на основі систем диференційних, алгебраїчних та логічних рівнянь. Використання системи комп'ютерного моделювання VisSim при дослідженні періодичних процесів електропривода МРВ показало її ефективність, зручність, перспективність у науково-прикладних дослідженнях найрізноманітніших систем управління.

#### Література

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: / Сергей Григорьевич Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-принт, 2001. – 320с.
2. Дьяконов В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование / Василий Петрович Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384с.
3. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання / Сергій Миколайович Довгань. – Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 137 с.
4. Клиначёв Н. В. Моделирование систем в программе VisSim: справочная система / Николай Владимирович Клиначёв. – Челябинск, 2004. – 116 с.
5. Федосов Б.Т. Руководство по созданию блока пользователя для программы VisSim 5 в среде MS Visual C++ 6 с использованием мастера dllWizard / Б.Т. Федосов. – 2003. –183с.

Отримано 10.01.2011