

Список литературы

1. Казанцев Ю.И. Основная энергетическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия СО АН СССР, № 3, 1970.
2. Казанцев Ю.И. Экономия электроэнергии в электрической сети ВАТ «ВТОРЧЕРМЕТ» за счет оптимального размещения компенсирующих устройств методом сопряженного градиента. В збірнике наукових праць КНТУ, випуск 19, Кіровоград, 2007.
3. Г.А. Соколов, И.М. Гладких. Математическая статистика. Изд. «екзамен», Москва, 2007.
4. Оптимальное распределение компенсирующих устройств в электрической сети Кировоградского ремонтного завода с целью экономии электроэнергии. Отчет по НИР, № гос. рег. 01860131009. КНТУ, Кировоград.

Ю.Казанцев, Р.Мотрой

Дослідження електровжитку і оптимальне розміщення компенсуючих пристроїв в системі електропостачання ремонтно-механічного заводу

В статті показані вивід енергетичних характеристик, які являються основою нормування витрат електроенергії і її раціонального використання, а також економія електричної енергії за рахунок оптимального розміщення компенсуючих пристроїв.

Yu.Kzancev, R.Motroy

Research of electro-consumption and optimum placing of compensating devices in the system of power supply of repair-mechanical factory

In article it is show remove enegge characteristics and economy electrical energy on the way optimization place of compensation arrangements.

Получено 24.02.12

УДК 6П2.1-081

Ю.О. Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Руденко, спец.

Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування впровадження системи плавного пуску для привода фрез верстата СФ-АСТРА-РК8

В статті описано моделювання і дослідження пускових процесів привода ріжучого інструмента деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8. Визначені витрати енергії при прямому і плавному пусках, побудовані електродинамічні характеристики струму та моменту при різних вхідних параметрах ТПН, обґрунтовано доцільність використання тиристорних перетворювачів напруги та надані рекомендації щодо вибору управляючих параметрів тиристорних пускозахисних пристроїв для привода ріжучого інструмента верстата СФ-АСТРА-РК8.

плавний пуск, тиристорний перетворювач напруги, асинхронний електропривод, ТПН-АД, моделювання

В роботах [1, 2] надано опис електроприводів та режимів їх роботи деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8, відмічено, що привод кожної фрези здійснюється від нерегульованих асинхронних двигунів з коротко замкнутим ротором з прямим запуском типу АИР160S2, потужністю $P=15$ кВт, $n=3000$ об/хв. Зазначимо, що кожна фреза знаходиться безпосередньо на валу двигуна, причому момент інерції фрези перевищує момент інерції ротора. Прямий пуск цих двигунів через великий

пусковий струм та коливальний затухаючий характер пускового моменту двигуна викликає значні просадження напруги мережі живлення, великі електродинамічні перевантаження обмоток двигунів, порушення в роботі механічних вузлів привода.

Покращення динамічних характеристик та енергозбереження в пускових режимах роботи асинхронних двигунів є важливою й актуальною науково-практичною задачею, якій присвячено чимало праць, зокрема роботи Закладного О.М. [3], Браславського І.Я.[4], Петрова Л.П. [5], Чилікіна М.Г. [6], Чорного А.П. [7].

Більшість наукових праць останнього часу пропонують використовувати в асинхронному електроприводі частотні регулятори, але оскільки регулювання частоти обертання фрез за технологічними умовами не потрібне, то використання частотного управління не буде раціональним [3, 4, 7].

Метою статті є аналіз пускових режимів асинхронних двигунів фрез та обґрунтування вживання методів плавного пуску для зменшення динамічних струмів і моментів та зниження енергоспоживання.

Методи вирішення задачі: аналітичні розрахунки втрат електроенергії за експериментальними осцилограмами та моделювання процесів в середовищі Matlab-Simulink з використанням математичних та віртуальних моделей.

Витрати енергії при прямому пуску можна визначити за виразом [6]:

$$W = \int_{s_n}^1 J \cdot \omega_0^2 \cdot \left(1 + \frac{R_s}{R_r'}\right) s \, ds, \quad (1)$$

де s_n – номінальне ковзання;

s – поточне значення ковзання;

J – момент інерції на валу двигуна;

ω_0 – синхронна кутова швидкість двигуна;

R_s – активний опір статора;

R_r' – приведений активний опір ротора.

Розраховані за виразом (1) витрати енергії за один пуск, який триває згідно з осцилограмою (рис. 1) 4.6 с, для одного двигуна складають $5.55 \cdot 10^5$ Вт·с, або 0.1543 кВт·год, що при мінімальній кількості пусків за одну зміну $q_{\min}=16$, як показує досвід експлуатації верстата, при включенні двох двигунів складатиме 4.93 кВт·год.



Рисунок 1 – Фрагмент осцилограми прямого пуску асинхронного двигуна АИР160S2 привода інструмента верстата СФ-АСТРА-РК8

Визначити витрати енергії при прямому і плавному пусках можна за виразом [4]:

$$W = 3 \cdot \int_0^{t_p} (I_s^2 \cdot R_s + I_r^2 \cdot R_r') \, dt, \quad (2)$$

де t_p – час пуску;

I_s, I_r – струми статора і ротора.

Уникнути негативного впливу прямого пуску асинхронних двигунів дозволяють тиристорні перетворювачі напруги (ТПН), зокрема тиристорні пускозахисні пристрої (ТПЗП) типу ТПЗУ виробництва НПО «ЕТАЛ» м. Александрія. ТПЗП виконані на базі тиристорних перетворювачів напруги з різною конфігурацією силової схеми і широким набором виконуваних функцій. В модифікації ТПЗУ-1Б передбачена реалізація «безударного пуску» та зменшення до 30% споживання електричної енергії за час пуску [10].

Швидкість наростання прикладеної до АД напруги може за допомогою ТПН залишатись постійною або змінюватись за будь-яким законом зміни кута запізнювання відкривання тиристорів α . Практично найпростішим чином реалізується експоненціальний закон зміни величини управління, до якого легко можна привести і режими з постійною швидкістю зміни напруги в початковій стадії процесу. Тому можна прийняти, що прикладена до асинхронного двигуна напруга змінюється за законом [5]:

$$u_s = U_{s\text{уст}} \cdot [1 - e^{-\frac{t}{T_u}}], \quad (3)$$

де $U_{s\text{уст}}$ – усталене значення прикладеної напруги;

t – час;

T_u – стала часу, яка визначає швидкість наростання напруги.

Для складання моделі проаналізовані рекомендації [5], де показано, що при $T_u < 1$ обмеження ударних моментів не спостерігається, а при $T_u > 4$ відбувається помітне збільшення часу розгону через надмірне зниження моменту. В межах $1 < T_u < 3$ час розгону залишається приблизно таким же, як і при прямому пускові, але при $T_u > 1,5$ відбувається помітне зменшення піків ударних моментів. Характер впливу значення T_u на процес розгону зберігається для різних АД незалежно від їх потужності та числа пар полюсів.

Другим способом управління є зміна кута α за експонентою:

$$\alpha = \alpha(0) \cdot e^{-\frac{t}{T_\alpha}}, \quad (4)$$

де $\alpha(0)$ – початкове значення кута α ;

T_α – стала часу, яка визначає швидкість зменшення кута α .

В [5] показано, що для більшості асинхронних промислових електроприводів динамічні характеристики при зміні кута α по експоненціальному закону (4) практично не відрізняються від характеристик, отриманих при зміні напруги по (3) у випадку рівності постійних часу T_u і T_α .

Дослідження пускових режимів головного привода верстата СФ-АСТРА-РК8 проводилось шляхом моделювання засобами середовища Matlab-Simulink [8, 9], для чого була запропонована віртуальна модель (рис.2, 3).

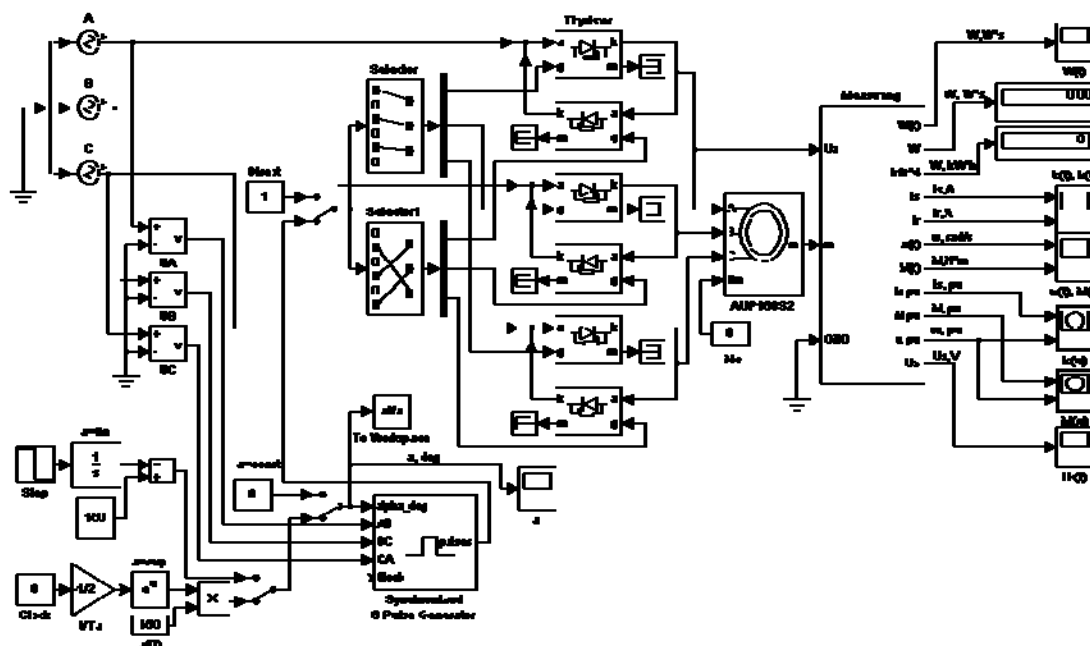


Рисунок 2 – Віртуальна модель системи ТПН-АД в середовищі Matlab-Simulink

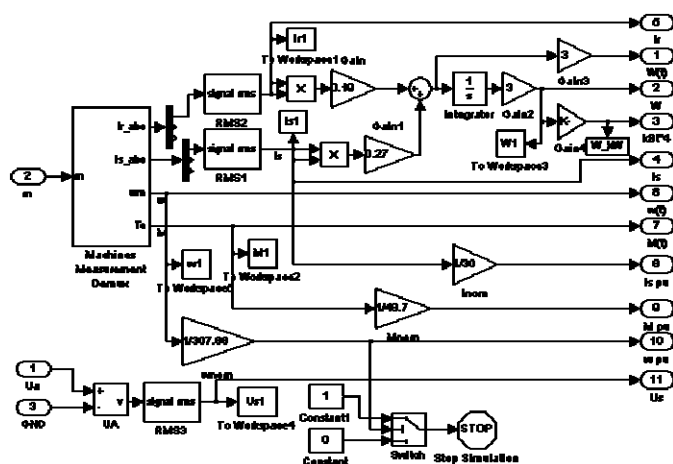
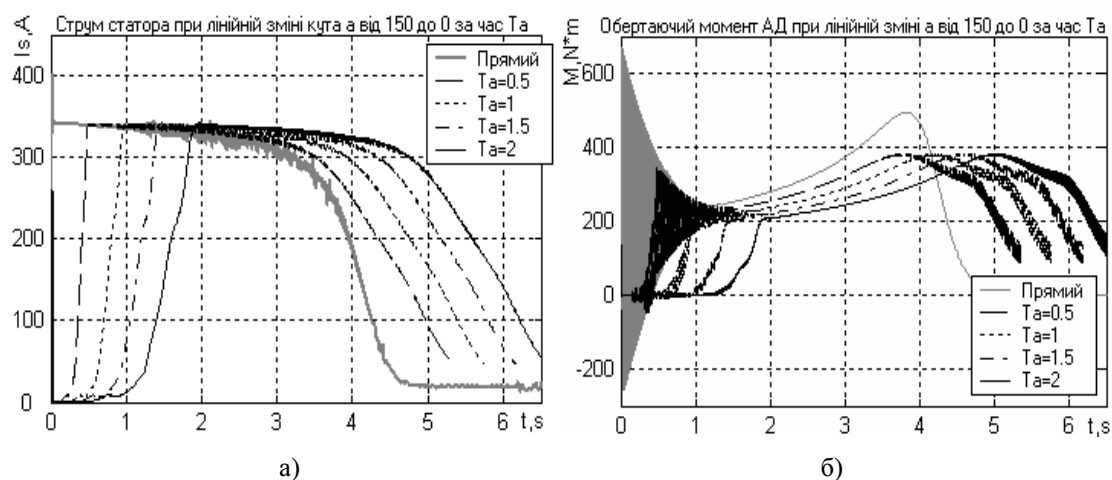
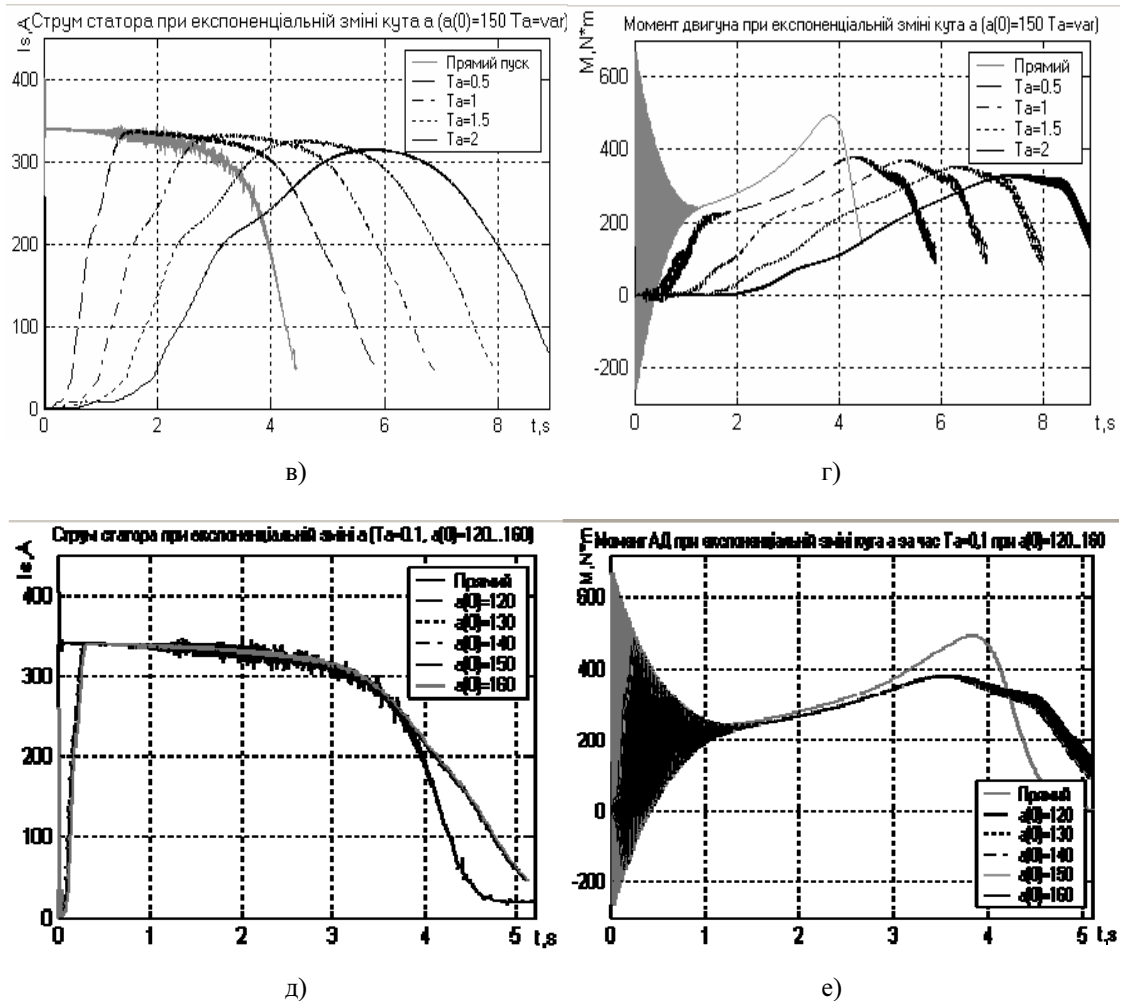


Рисунок 3 – Блок Measuring віртуальної моделі системи ТПН-АД в середовищі Matlab-Simulink





а) криві струму статора при прямому та плавному пусках з лінійною зміною кута α ; б) криві обертаючого моменту при прямому та плавному пусках з лінійною зміною кута α ; в) криві струму статора при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α ; г) криві обертаючого моменту при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α ; д) криві струму статора при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α з параметрами $T_\alpha=0.1$, $\alpha(0)=120^\circ \dots 160^\circ$; е) криві обертаючого моменту при прямому та плавному пусках з експоненціальною зміною кута α з параметрами $T_\alpha=0.1$, $\alpha(0)=120^\circ \dots 160^\circ$

Рисунок 4 – Пускові характеристики головного привода верстата СФ-АСТРА-РК8, отримані в процесі моделювання

Модель включає блок тиристорів, включених зустрічно-паралельно, формувача імпульсів та блоків формування сигналу управління α , який може бути постійним, або змінюватись за лінійним чи експоненціальним законом (4). Параметри цих блоків задані згідно з рекомендаціями, наданими в [5, 8]. Властивості асинхронної машини AUP160S2 моделі відповідають параметрам головного привода верстата СФ-АСТРА-РК8, які були розраховані раніше [1, 2]. Момент інерції блоку AUP160S2 представляє собою суму усіх моментів, приведених до вала двигуна. Пуск відбувається без навантаження, тому момент M_c на вході AUP160S2 рівний 0. Для моделювання прямого пуску на вході тиристорів подається постійний відпираючий сигнал. Блок Measuring (рис. 3) призначений для вимірювання та обробки параметрів системи ТПН-АД і обчислення витрат електроенергії за формулою (3). Час моделювання обмежений часом пуску і розгону двигуна до величини номінальної частоти обертання.

За результатами дослідження можна зробити наступні висновки:

а) дослідження впливу закону зміни кута α показало, що при експоненціальній зміні кута α , на відміну від лінійної, струм статора наростає плавно, коливання обертаючого моменту значно зменшуються, але збільшується час розгону на 10 – 30% (рис. 4 а-г), на рис. 4 не показані криві при зміні T_α від 2.5 до 4, оскільки при цьому значно збільшується час пуску;

б) найбільший вплив на процес пуску АД має значення T_α , параметр $\alpha(0)$ істотно не вплинув на результати нашого дослідження (рис. 4 д, е), тому ми рекомендуємо при експлуатації ТПЗП встановлювати кут $\alpha(0)=150^\circ$, що не суперечить дослідженням [5];

в) енергетичні витрати при різних значеннях T_α показані на рис. 5, економія при використанні ТПН склала 0.4 %;

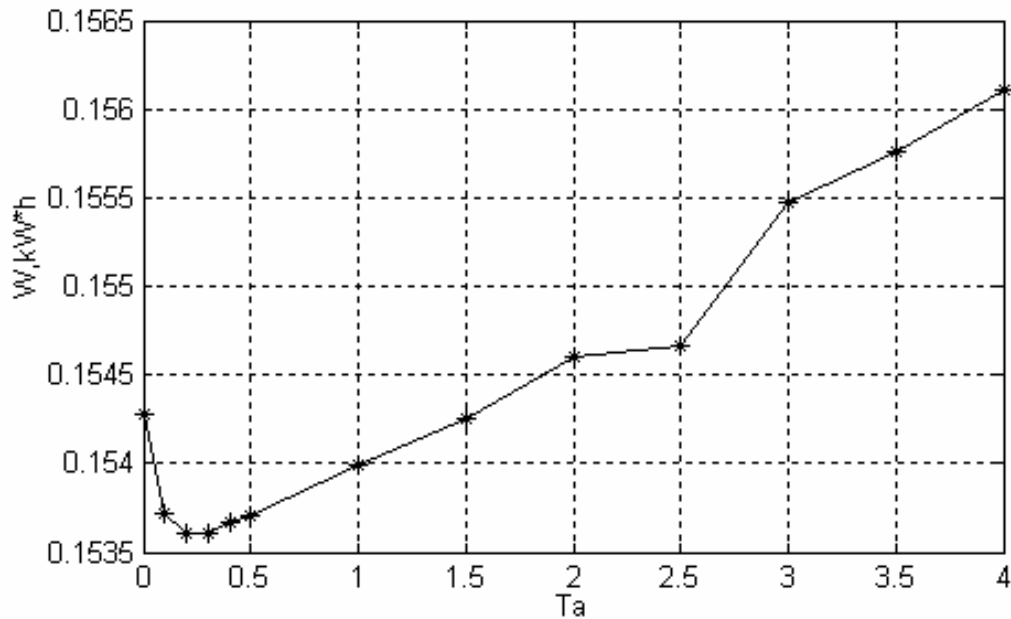


Рисунок 5 – Енергетичні витрати при прямому та плавному пусках електропривода при $T_\alpha=0...4$

г) використання ТПЗП в приводі головного інструмента деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8 дозволить збільшити строк служби і міжремонтні строки двигунів та механічних вузлів верстата завдяки істотному зменшенню коливань обертаючого моменту в зоні великого ковзання та зекономити електричну енергію в процесі пуску; рекомендованими параметрами для ТПЗП є зміна кута управління α за експоненціальним законом (4), де $\alpha(0)=150^\circ$, $T_\alpha=0.5$, розрахована економія електроенергії за час пуску складає 4.82 кВт·год за рік;

д) при роботі в довготривалому режимі холостого ходу або при великих паузах холостого ходу використання ТПЗП дасть значну економію [3, 4, 8].

Список літератури

1. Єрмолаєв Ю.О. Експериментальні дослідження електроприводів верстата СФ-АСТРА-РК8 / Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко // Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту / – 2009. – Вип. 22. – С. 189-192.
2. Єрмолаєв Ю.О. Визначення параметрів асинхронних двигунів з побудовою статичних характеристик для приводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8 / Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко // Техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту / – 2010. – Вип. 23. – С. 71-77.
3. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навчальний посібник / Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.

4. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Браславский И.Я., Ишматов З. Ш., Поляков В.Н.; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
5. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода / [Петров Л.П., Андрищенко О.А., Капинос В.И. и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.
6. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – [6-е изд.]. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
7. Пусковые системы нерегулируемых электроприводов: Монография / [Черный А.П., Гладырь А.И., Осадчук Ю.Г. и др.]. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2006. – 280 с.
8. Черных И. В. Моделирование тиристорного регулятора напряжения с использованием стандартных блоков SIMPOWERSYSTEM [Электронный ресурс] / Черных И. В. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2007. – С.610-612. – (Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB) (Труды III научной конференции / Санкт-Петербургский университет). – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/conf2007/default.php>.
9. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
10. НПО «Этал». Информационный листок. г. Александрия, – 2000. – 4 с.

Ю. Ермолаев, Т. Руденко

Обоснование внедрения системы плавного пуска для привода фрез станка СФ-АСТРА-РК8

В статье описано моделирование и исследование пусковых процессов привода режущего инструмента деревообрабатывающего станка СФ-АСТРА-РК8. Определены потери энергии при прямом и плавном пуске, построены электродинамические характеристики тока и момента при различных входных параметрах ТПН, обоснована целесообразность использования тиристорных преобразователей напряжения и даны рекомендации по выбору управляющих параметров тиристорных пускозащитных устройств для привода режущего инструмента станка СФ-АСТРА-РК8.

U. Ermolaev, T Rudenko

The basis of the soft starting system's introduction for the cutters drive machine SF-ASTRA-RK8

In the article the modelling and analysis starting processes of cutting tool drive wood-working machine SF-ASTRA-RK8 are described. The losses of energy at the direct and soft starting are defined, the electrodynamic descriptions of current and moment are built at the different entry parameters of TPN, the expedience of the use thyristor tension transformers is justified and the recommendations on the choice of managing parameters of thyristor soft start devices for the cutting tool drive machine tool SF-ASTRA-RK8 are gave.

Одержано 27.03.12