

УДК 621.9.06

О.О. Горленко, д.т.н., проф.

В.М. Малащенко, к.т.н., доц.

О.В. Сем'якін, інж.

Брянський державний технічний університет

## ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ РІЗАННЯ МЕТАЛООБРОБНОГО ВЕРСТАТА

*Розглядаються питання, пов'язані з енергозбереженням при механічній обробці заготовок деталей машин. Представлено результати проведених досліджень. Пропонується структура частотно-керованого електропривода головного руху різання металообробного верстата.*

Останнім часом особливий інтерес викликає проблема створення енергоефективних регульованих приводів на базі трифазних асинхронних двигунів, але їхня розробка зустрічає цілу низку ускладнень. Найбільші успіхи досягаються при використанні векторного керування двигунами із застосуванням мікроконтролерів.

Проведені дослідження [1, 2] показали, що значна кількість електроенергії, споживаної приводом головного руху різання токарного верстата, витрачається в самому приводі і, особливо, в його механічній частині. На це вказує, зокрема, проведений на токарно-гвинторізнному верстаті 1E95 повний факторний експеримент  $2^4$  із трьома повтореннями.

У ході експерименту зразки зі сталі 45 обточувались на різних режимах без охолодження зони різання. При обробці і на холостому ході за допомогою ваттметра вимірялася потужність, споживана приводом верстата з електричної мережі. Для точішннн використовувався різець із твердого сплаву T15K6 з геометричними параметрами:  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 45^\circ$ ;  $r_\theta = 1$  мм;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $\gamma = 12^\circ$ .

Математико-статистичною обробкою результатів експерименту були отримані залежності між споживаною приводом верстата електричною потужністю і технологічними факторами: глибиною різання  $t$  ( $x_1$ ), подачею  $s$  ( $x_2$ ), частотою обертання шпинделя  $n$  ( $x_3$ ) та діаметром оброблюваної поверхні  $d$  ( $x_4$ ), що приймають значення на нижньому (-1) і верхньому (+1) рівнях:

$$P = 4,177 + 1,167x_1 + 1,022x_2 + 0,924x_3 + 0,630x_4; \quad (1)$$

$$P_{x,x} = 1,851 + 0,226x_3, \quad (2)$$

де  $P$  — споживана приводом верстата електрична потужність при обробці, кВт;  $P_{x,x}$  — споживана потужність на холостому ході, кВт.

Рівні варіювання факторів приймалися наступними: глибини різання  $t$  — 1 і 3 мм; подачі  $s$  — 0,14 і 0,48 мм/об; частоти обертання шпинделя  $n$  — 400 і 800 хв<sup>-1</sup>; діаметра оброблюваної заготовки  $d$  — 40 і 80 мм. Споживана потужність при обробці змінювалася в межах від 1,95 кВт до 10,5 кВт, потужність холостого ходу — від 1,5 до 2,15 кВт.

Як показали результати дисперсійного аналізу, рівняння (1) пояснює 82,2 % варіації споживаної потужності  $P$  при обробці, при цьому на частку фактора  $x_1$  приходитьсн 30,6 % варіації;  $x_2$  — 23,5 %;  $x_3$  — 19,2 % і фактора  $x_4$  — 8,9 % варіації. Рівняння (2) пояснює 96,4 % варіації потужності холостого ходу  $P_{x,x}$ ; фактори  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_4$  виявилися незначущими на рівні значимості  $\alpha = 0,05$ .

Особливий інтерес викликає залежність від режимів обробки відношення потужностей:

$$P_{x,x}/P = 0,523 - 0,128x_1 - 0,102x_2 - 0,044x_3 - 0,060x_4, \quad (3)$$

що приблизно показує, яка частина загальної споживаної енергії витрачається не в зоні різання, тобто губиться в приводі верстата.

Рівняння (3) пояснює 98,1 % варіації відношення  $P_{x,x}/P$ , при цьому на долю факторів  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  і  $x_4$  приходитьсн відповідно: 49,8; 31,4; 5,8 і 11,0 %. Відношення  $P_{x,x}/P$  змінювалося в дуже широкому діапазоні — від 0,196 до 0,831, середнє значення відношення склало 0,523. Усе це говорить про те, що втрати енергії у приводі верстата із шестеренною коробкою швидкостей можуть бути досить істотними. Тому варто вжити заходів щодо їхнього зменшення та поліпшення коефіцієнта корисної дії електропривода верстата.

Отримані результати показують необхідність проведення цілеспрямованої роботи по розробці сучасного електропривода головного руху різання металообробного верстата. Проектування електропривода містить у собі рішення безлічі взаємозалежних задач, серед яких можна виділити такі, що пов'язані з проектуванням силової перетворювальної установки та керуючої частини системи.

Основною ланкою в системі електропривода є електродвигун, у якості якого можуть бути використані електричні машини постійного або змінного струму. Застосування останніх підвищує надійність електропривода, а також зменшує капітальні та експлуатаційні витрати [3]. Ці переваги, за інших рівних умов, і визначають доцільність використання електропривода змінного струму.

Як відомо, принцип дії асинхронних двигунів ґрунтується на електромагнітній взаємодії між обертовим магнітним полем статора, створюваним системою трифазного струму, що протікає по його обмотках, і струмами обмотки ротора, що протікають під дією виникаючої в ній ЕРС. При синусоїдальному характері поля статора частота його обертання складає:

$$\omega_s = 2\pi f / p, \quad (4)$$

де  $p$  – число пар полюсів двигуна;  $f$  – частота напруги змінного струму, що підводиться до обмоток статора, Гц.

Обмежені можливості способів регулювання частоти обертання асинхронного електродвигуна шляхом зміни напруги живлення та числа пар полюсів практично виключили їхнє застосування. Найбільш ефективним способом керування швидкістю є частотне регулювання, при якому частота і напруга живлення двигуна можуть змінюватися відповідно до встановленого співвідношення незалежно один від одного.

Принцип реалізації такого способу визначається тим, що швидкість обертового магнітного поля статора  $\omega_\theta$  відповідно до виразу (4) пропорційна частоті джерела живлення  $f$ . Отже, змінюючи частоту  $f$ , можна плавно й у широких межах регулювати швидкість обертання ротора. Для реалізації принципу частотного керування необхідно з урахуванням виду навантаження маніпулювати напругою, підведеною до статора двигуна, взаємозалежно зі зміною частоти живлення. Дана задача розв'язується застосуванням силових перетворювальних пристроїв або перетворювачів частоти.

Двоступінчастий перетворювальний пристрій, виконаний на основі випрямляча трифазної змінної напруги мережі й автономного інвертора, перетворює випрямлену напругу в змінну трифазну з регульованою частотою й амплітудою. Незважаючи на двократність перетворення енергії й обумовлене цим деяке зменшення коефіцієнта корисної дії, такі перетворювачі частоти отримали найбільше поширення в різних типах електроустановок [3].

У [4] пропонується структура ЕП на основі перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму (рис. 1), що складається з випрямляча з індуктивно-ємнісим фільтром постійної напруги й автономного інвертора напруги, побудованого на силових транзисторах типу IGBT і формуючого основну гармоніку вихідної напруги методом широтно-імпульсної модуляції.

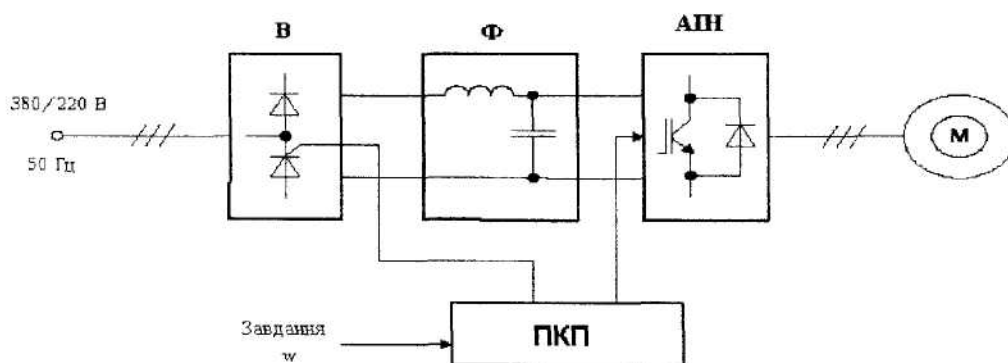


Рис. 1. Частотно-регульований електропривод:  
 В – випрямляч; Ф – фільтр; АІН – автономний інвертор напруги;  
 ПКП – пристрій керування перетворювачем частоти

Регульований електропривод, силова частина якого базується на структурі, представленій на рис. 1, має низку переваг: широким діапазоном регулювання (30...60 і більше); високим коефіцієнтом корисної дії (без врахування двигуна він досягає величини 0,98); високим коефіцієнтом потужності (до 0,98); високою надійністю та компактністю перетворювача. Усе це свідчить на користь розглянутої структури силової частини, якій і доцільно віддати перевагу для забезпечення оптимальних енергетичних показників, регульовальних та механічних характеристик електропривода головного руху різання токарного верстата.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Горленко О.А., Малашенко В.М., Федонин О.Н. Влияние режимов резания на энергозатраты при точении // *Материалы, технологии, инструмент.* – 1999. – № 2. – С. 80–83.
2. Горленко О.А., Федонин О.Н., Малашенко В.М. Влияние режимов резания на удельную энергоёмкость токарной обработки // *Технология металлов.* – 1999. – 10. – С. 22–25.
3. Босизон М.А., Кондриков А.И. Новые задачи в области автоматизированного электропривода для станкостроения и робототехники // *Автоматизированный электропривод.* – М.: Энергоиздат, 1990. – 128 с.
4. Чернов Е.А. Станочные электроприводы переменного тока: Справ. пособие. – М.: Вириж-центр, 1997. – 230 с.

ГОРЛЕНКО Олег Александрович – заслужений діяч науки Російської Федерації, доктор технічних наук, професор, проректор з якості та інноваційної роботи Брянського державного технічного університету, завідувач кафедри «Керування якістю виробничих і технічних систем».

Наукові інтереси:

- керування якістю машинобудівного виробництва.

МАЛАШЕНКО Віктор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Керування якістю виробничих і технічних систем» Брянського державного технічного університету.

Наукові інтереси:

- енергозбереження при механічній обробці заготовок деталей машин.

СЕМ'ЯКІН Олег Володимирович – інженер кафедри «Керування якістю виробничих і технічних систем».

Наукові інтереси:

- підвищення ефективності електроприводів.

Подано 10.07.2003