

## ВДОСКОНАЛЕННЯ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ БАРАБАННОГО МЛИНА ШЛЯХОМ УСТАНОВЛЕННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

**АНОТАЦІЯ.** Розглянуто установку частотокерованого електропривода на барабанний млин для помелу будівельних матеріалів із підвищенням економічних показників, зменшенням витрат на виробництво.

**Ключові слова:** частотний перетворювач, економічна ефективність.

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотрена установка частотууправляемого электропривода на барабанной мельнице для помола строительных материалов с увеличением экономических показателей, уменьшением затрат на производство.

**Ключевые слова:** частотный преобразователь, экономическая эффективность.

**SUMMARY.** The installation of frequency controlled electric for grinding of construction materials, with an increase in economic performance, reduced cost of production.

**Key words:** frequency converter, economic efficiency.

### Вступ

В наш час стає актуальним питання зменшення витрат на експлуатацію та обслуговування обладнання при збереженні виробничих потужностей і ефективності виробництва. Представлено проект удосконалення приводу барабанного млина для помелу будівельних матеріалів. Барабанний млин складається з самого барабана, в середині якого знаходяться помольні тіла, і привода, який приводить його до руху (рис. 1).

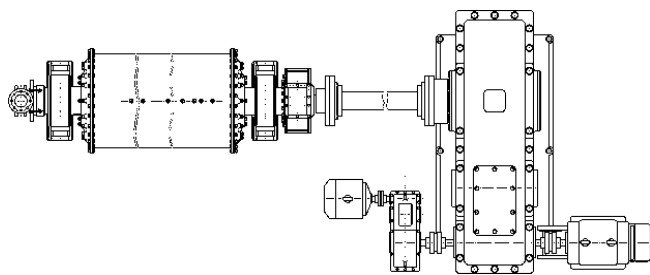


Рис. 1. Барабанний млин для подрібнення будівельних матеріалів

Підвищення продуктивності і ефективності існуючої конструкції барабанного млина було вирішено шляхом збільшення об'єму барабана і маси помольних тіл. Як наслідок – збільшення потужності привода до 850 кВт., що в свою чергу, призводить до зменшення строку служби двигуна (внаслідок великих пускових струмів), зменшення строку експлуатації комутаційної

апаратури, перевантаженості двигуна пусковим моментом. На основі попереднього досвіду за таких умов рекомендовано використання у приводі високовольтного двигуна (6000 В). Це пояснюється високими робочими струмами при великій потужності електродвигуна. Потужність є добутком сили струму і напруги, звідки підвищенням напруги живлення зменшуються робочі струми привода. На цій підставі пропонується вдосконалення приводу барабанного млина шляхом установки частотокерованого приводу. Перетворювач частоти це пристрій, призначений для перетворення змінного струму (напруги) однієї частоти у змінний струм або напругу іншої частоти.

### Виклад основного матеріалу.

Протягом останніх 15 – 20 років у світі значно збільшується застосування частотокерованих електроприводів для вирішення технологічних задач у різних галузях економіки. Це пояснюється в першу чергу розробкою і створенням перетворювачів частоти за принципово новій елементній базі, головним чином на біполярних транзисторах із ізолюваним затвором IGBT.

Розглянемо принцип роботи частотного перетворювача. У синхронному двигуні частота обертання ротора  $n_{рот}$  в заданому режимі дорівнює частоті обертання магнітного поля статора  $n_{ст}$ . В асинхронному двигуні частота обертання ротора  $n_{рот}$  в зада-

ному режимі відрізняється від частоти обертання магнітного поля статора на величину ковзання  $S$ . Частота обертання магнітного поля статора двигуна залежить від частоти напруги живлення. При живленні обмотки статора електродвигуна трифазною напругою з частотою  $f$  виникає магнітне поле. Швидкість обертання цього поля знаходиться за формулою

$$\omega_1 = 2\pi f / p,$$

де  $p$  – число пар полюсів статора.

Перехід від швидкості обертання поля  $\omega_1$ , вимірюваної в радіанах, до частоти обертання в обертах за хвилину, здійснюється за формулою

$$N_{\text{рот}} = 60 \cdot \omega_1 / 2\pi,$$

де 60 – коефіцієнт перерахунку розмірності.

Підставивши у цю рівність швидкість обертання поля, отримаємо, що

$$N_{\text{рот}} = 60 f / p.$$

Таким чином, частота обертання вала синхронного і асинхронного двигунів залежить від частоти напруги живлення. За цією залежністю засновано метод частотного керування. Змінюючи за допомогою частотного перетворювача частоту  $f$  на вході двигуна, ми регулюємо частоту обертання ротора.

В існуючих частотних перетворювачах підтримується постійне відношення максимального моменту двигуна до моменту опору на валу. Тобто при зміні частоти амплітуда напруги змінюється таким чином, що відношення максимального моменту двигуна к чинному моменту навантаження, залишається незмінним. Це відношення є переважання спроможності двигуна. У разі постійного переважання номінальний коефіцієнт потужності і ККД двигуна по всьому діапазону керування частотою обертання залишаються незмінними.

Більшість фірм приділяє багато уваги, яка диктується умовами ринку, розробці і створенню високовольтних частотних перетворювачів. Необхідна величина вихідної напруги перетворювача частоти для високовольтного приводу досягає 10 000 В і вище при потужності до декількох десятків мегават.

Силова схема перетворювача складається

зі багатообмоткового трансформатора, інверторних електронних блоків, схеми керування і захисту (рис. 2).

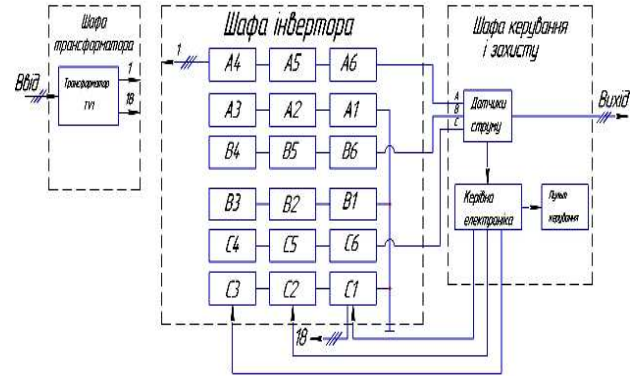


Рис. 2. Структурна схема частотного перетворювача

Кількість вторинних обмоток може досягти вісімнадцяти. Вторинні обмотки зсунуті одна відносно одної. Це дозволяє використовувати низьковольтні інверторні блоки. Блок виконується за схемою: некерований трифазний випрямляч, ємнісний фільтр, однофазний інвертор на IGBT транзисторах.

Виходи блоків з'єднуються послідовно. У даному випадку кожна фаза живлення електродвигуна має три блоки. Схема є найбільш поширеною для високовольтних перетворювачів великої потужності. Використання блочної структури дає додаткові переваги. Кожний силовий модуль змонтовано на окремій полиці. Для відключення і підключення достатньо комутувати 5 клем і два оптоволоконних кабелю. У випадку поломки силового модуля, система керування блокує несправний модуль і виводить повідомлення на панель оператора. Додаткова система *Vu-pass* може ефективно перемкнути двигун на живлення від мережі (рис. 3).

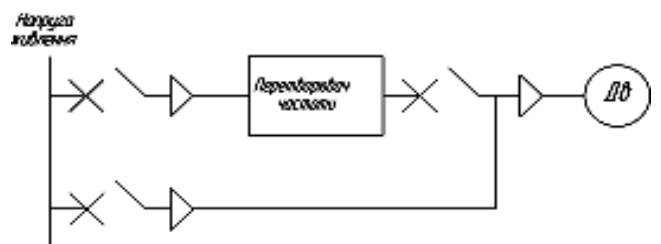


Рис. 3. Система *Vu-pass*

Перетворювачі мають одні з найкращих питомі масогабаритні показники, діапазон зміни частоти від нуля до 250 Гц, ККД перетворювачів складає 97,5 %.

Один із основних розрахункових параметрів барабанного млина є швидкість обертання барабана. Основи теорії помелу в кульових млинах були закладені в роботах Е.В. Девіса. Л.Б. Льовенсон, застосовуючи декілька іншу методику, спростив і значно розвинув теорію помелу в кульовому млині, запропоновану Е.В. Девісом. Надалі розвитку даної теорії сприяли З.Б. Канторович і З.Є. Андрєєв. Значні дослідження були проведені В.А. Олевським, Н.П. Нероновим, П.М. Сиденко і ін.

Принцип дії кульових млинів заснований на тому, що матеріал, який знаходиться у барабані млина, що обертається, піддається дії вільнопадаючих помольних тіл. При обертанні барабана помольні тіла (у переважній більшості металеві кулі) підіймаються на певну висоту, а потім, відриваючись від стінки барабана при вільному падінні, подрібнюють матеріал. Матеріал у млині подрібнюється ударом і частково стиранням завдяки перекочуванню куль та їх ковзанню.

За відносно малої кутової швидкості обертання барабана кулі і матеріал роблять поворот у бік обертання на деякий кут (рис.4, а) і далі за такої самої швидкості обертання барабана залишаються в цьому положенні.

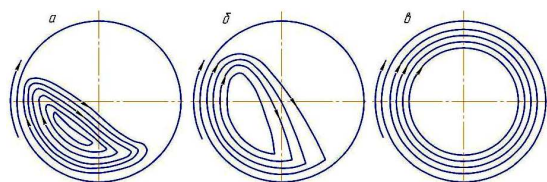


Рис. 4. Схеми руху куль у млині за різних швидкостях обертання барабана

Кулі і матеріал, безперервно циркулюючи, рухаються вгору по концентричних кругових траєкторіях і потім скочуються паралельними шарами, подрібнюючи матеріал роздавлюванням і стиранням.

Зі збільшенням швидкості обертання барабана кут повороту завантаження (кулі і

матеріал) збільшується і кулі підіймаються все вище, потім у деякій точці, названою точкою відриву, покидають кругові траєкторії і далі як тіла, кинуті під деяким кутом до горизонту, переходять на параболічні траєкторії в кінці свого шляху, зустрічаючись з відповідною круговою траєкторією (рис. 4, б). Подрібнення матеріалу при цьому режимі роботи відбувається за рахунок удару і часткового стирання.

При подальшому збільшенні кутової швидкості обертання барабана кулі і матеріал під дією від центрової сили інерції все з більшою силою притискатимуться до стінки барабана і, нарешті, настане момент, коли величина відцентрової сили інерції перевершить силу тяжіння кулі і вони (отже і завантаження) обертатимуться разом з барабаном, не відділяючись від його внутрішньої поверхні (рис. 4, в).

З викладеного вище, найефективнішим з точки зору процесу подрібнення матеріалу є режим роботи, при якому куля, рухаючись спочатку по кругових траєкторіях, переходить потім на параболічні, і в кінці свого шляху подрібнює матеріал.

Таким чином за низької швидкості обертання барабана помольні тіла мають низьку ефективність помелу. І, навпаки, при деякій більшій, критичній, швидкості за рахунок відцентрованих сил помольні тіла будуть притискатися до стінок барабана, що теж призведе до втрати ефективності. Тому при розрахунках важливо якомога точніше прорахувати і забезпечити кут відриву помольних тіл від стінок барабана і ефективну швидкість його обертання. Підбір стандартного редуктора з фіксованим передаточним числом і похибки у розрахунках збільшують погрішність оптимальної швидкості обертання. Використання частотного перетворювача дозволить установити розрахункову швидкість обертання барабана, тим самим привести ефективність помелу до оптимального рівня.

Крім того, використання частотного перетворювача, на основі досвіду роботи, дозволить на практиці отримати високий пусковий момент і зберегти його до номінальної швидкості обертання. В існуючій конс-

трукції барабанного млина є в наявності додатковий електропривід, сполучений через з'єднувальну муфту з основним приводом і призначений для повільного повертання млина під час його обслуговування. При використанні частотного перетворювача необхідність в додатковому приводі відпадає, оскільки перетворювач дозволяє задати декілька режимів роботи привода і використати виносний ручний пульт керування.

Робота барабанного млина супроводжується значним шумом та виділенням пилу. Обслуговуючий персонал може знаходитись в окремому приміщенні, що зменшить вплив шкідливих факторів на організм, і завдяки індикації всіх режимів роботи частотного перетворювача (у тому числі і аварійних ситуацій) контролювати роботу млина.

Перетворювач частоти має функції захисту, яка забезпечує захист самого перетворювача і електродвигуна. Набір функцій залежить від моделі перетворювача частоти (інвертора).

Функції захисту двигуна:

- струмовий захист моментальної дії;
- струмовий захист двигуна від перевантаження по струму;
- захист двигуна від перегріву.

Майже всі перетворювачі частоти (інвертори) мають функції самозахисту від:

- замикання вихідних фаз;
- замикання вихідних фаз на землю;
- перенапруження;
- низької напруги живлення;
- перегріву вихідних каскадів;

### Висновки

Загальна економічна ефективність складається з:

- *зменшення витрат енергії*. Перетворювач дозволяє заощаджувати на невиробничих витратах енергії, крім того він має функцію енергозберігання. Ця функція дозволяє при виконанні тієї самої роботи економити від 5 до 60 відсотків електроенергії шляхом підтримання електродвигуна в режимі оптимального ККД. Режимі енергоз-

береження перетворювач частоти автоматично відслідковує споживання стуму, розраховує навантаження і знижує вихідну напругу. Таким чином, знижуються втрати на обмотках двигуна, збільшується його ККД;

- *збільшення строків служби приводних механізмів, зниження загальних експлуатаційних витрат*. В момент пуску електропривода, відсутні динамічні навантаження на приводні механізми, так як ввід в роботу проходить поступово, практично з нульової швидкості і заданим темпом підвищується до необхідної;

- *підвищення строку служби контакт-но-комутаційної апаратури і зниження ймовірності виходу з ладу двигунів*. При пуску двигуна відсутні скачки струму, пов'язані з прямим включенням двигуна у мережу. Значення пускових струмів не перевищує номінальні;

- *покращення характеристик живлячої мережі*. У всьому діапазоні робочих швидкостей і навантажень, коефіцієнт потужності електроприводу наближається до одиниці. Живляча мережа не навантажується реактивним струмом і, як наслідок, не виникають додаткові втрати у підвідних проводах.

### Література

1. *Аранчий Г.В.* Тиристорные преобразователи частоты для регулируемых электроприводов. М., «Энергия», 1968
2. *Ключев В.И.* Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. *Башарин А. В.*, Управление электроприводами. - Ленинград, 1982.
4. *Езеров И.Х., Горобец А.С., Мошкович Б.И.* Комплектные тиристорные электропривода. - М.: Энерговидавн, 1988.
5. *Петров Л.П., Андриющенко О.А., Капинос В.И.* Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. *Назаренко І.І.* Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. - К.: КНУБА, 1999. - 488 с.
7. *Девис Э.* Тонкое дробление в шаровых мельницах, ГНТИ, 1932. - 160с.

*Рецензент:* І.В. Русан, к.т.н., доцент

(КНУБА, Київ)

*Отримано: 21.06.2010 р.*