

УДК 621.313

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ В ПРОГРАМІ OrCAD

Росінська Г. П., Пономаренко С. С.

Київський національний університет технологій та дизайну

В статті показано підхід до моделювання перетворювачів частоти, як складової частини регульованого електроприводу, в програмі OrCAD. В якості прикладу розроблена практична модель перетворювача частоти, проведено моделювання.

Ключові слова: перетворювач частоти, електромеханічна система, регульований електропривод

В сучасному автоматизованому електроприводі спостерігаються наступні тенденції:

- заміна привода постійного струму асинхронним приводом змінного струму;
- вдосконалення систем керування змінного струму;
- розвиток цифрових логічних систем керування.

Асинхронні двигуни (АД) широко застосовуються в багатьох галузях промисловості, енергетики, а також міській інфраструктурі, і таке широке поширення вони отримали через свою конструктивну простоту, низьку вартість, високу експлуатаційну надійність.

Сьогодні розроблені та продовжують розроблюватися нові системи керування асинхронними двигунами (векторне керування, частотно-струмове керування, пряме керування моментом [1, 2]), що дозволяє наблизити їх до двигунів постійного струму за регульовальними властивостями.

Взагалі регулювати швидкістю обертання асинхронного двигуна можна за допомогою різних пристроїв, таких як:

- механічний варіатор;
- гідравлічна муфта;
- система генератор-двигун або електромеханічний перетворювач частоти;
- опір, що додатково вводиться в фазний ротор або статор;
- перетворювач частоти.

Перші чотири способи мають помітні недоліки:

- складності в застосуванні, експлуатації та обслуговуванні;
- низька якість;

- вузький діапазон регулювання;
- неекономічність.

Тоді як перетворювач частоти - це пристрій, який не має всіх цих недоліків.

Класичною структурою комплектного електроприводу змінного струму в останній час стала структура на базі дволанкового перетворювача частоти (випрямляч - фільтр - інвертор - АД), так зване подвійне перетворення електричної енергії [1, 2].

Кожне нове покоління перетворювачів частоти містить велику кількість додаткових функцій, як керуючих двигуном, так і покращуючих технологічний процес. В основному це функції:

- забезпечення необхідних тахограм розгону та гальмування;
- регулювання швидкості в усталеному режимі;
- прецизійне завдання швидкості та прискорення;
- забезпечення реверсу;
- автоналаштування перетворювача;
- обробка сигналів зворотних зв'язків, що заводяться до системи керування;
- організація контурів керування;
- захист перетворювача від струмового перевантаження;
- реалізація алгоритмів енергозбереження;
- реалізація різних принципів керування (частотно-струмове, векторне, пряме керування моментом);
- візуалізація сигналів;
- спеціальні технологічні функції.

Завдяки використанню вказаних функцій, вбудованих в сучасний комплектний електропривод (КЕП), фірми виробники випускають КЕП орієнтуючись на групи або декілька груп промислових механізмів. Проблема уніфікації сьогодні ще повністю не вирішена. Однак і уніфікація КЕП несе за собою його подорожчання з підвищенням вартості як силової частини, так і системи керування, збільшення габаритних розмірів.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано перетворювач частоти системи регульованого електроприводу змінного струму.

Постановка завдання

Сучасна перетворювальна приводна техніка постійно вдосконалюється і цим підвищується якість технологічних процесів. Особливо важливим при цьому стає генерування нових підходів до її розробки та її моделювання, із залученням потужних обчислювальних засобів. Для постійного вдосконалення, необхідні наукові дослідження і обґрунтування прийнятих рішень, які усувають виникаючі проблеми.

Враховуючи актуальність напряму, завданням досліджень стало розробка підходу до моделювання перетворювачів частоти пов'язаний з рішенням задач моделювання електромеханічних систем.

Результати досліджень та їх обговорення

Для проведення моделювання була обрана сучасна, найбільш розповсюджена структура КЕП змінного струму це дволанковий перетворювач частоти з широтно-імпульсною модуляцією.

Перетворювач частоти складається з електричного приводу і керуючої частини. В склад електричного приводу частотного перетворювача входять тиристри або транзистори, які працюють в режимі електронних ключів. В основі керуючої частини знаходиться мікропроцесор, який забезпечує управління силовими електронними ключами, а також рішення великої кількості допоміжних завдань (контроль, діагностика, захист). Коефіцієнт корисної дії (ККД) такого перетворювача становить не менше 98%, а система управління на основі мікропроцесора забезпечує високу якість управління асинхронним електродвигуном, контролює безліч його параметрів, різко скорочуючи ризик виникнення і розвитку аварійних ситуацій.

В дволанкових перетворювачах частоти використовується подвійне перетворення електричної енергії: вхідна синусоїдальна напруга з постійною амплітудою і частотою випрямляється у випрямлячі, фільтрується фільтром, згладжується, а потім знову перетворюється інвертором в змінну напругу змінюваної частоти і амплітуди. Для формування синусоїдальної змінної напруги використовують автономний інвертор, який формує електричну напругу заданої форми на обмотках електродвигуна (як правило, методом широтно-імпульсної модуляції). В якості силових ключів в інверторах застосовуються тиристри GTO і їх вдосконалені модифікації GCT, IGCT, SGCT, і біполярні транзистори з ізольованим затвором IGBT.

Ефективність роботи перетворювача частоти можна підвищити шляхом оптимізації процесу керування ключами IGBT-транзисторів.

Силова частина перетворювача частоти для керування асинхронним двигуном, повинна мати наступні характеристики:

Кількість каналів керування – 3;

Вхідна напруга перетворювача – 1...3 В;

Напруга живлення – $\leq \pm 15$ В;

Напруга керування ключів – +15 В;

Напруга силових кіл – ± 350 В.

Напруга силових кіл визначається типом драйвера, що використовується. В нашому випадку було обрано драйвер IR2214, він забезпечує робочий діапазон напруг ± 350 В.

Вхідна напруга перетворювача для кожного каналу становить +1...+3 В. Ця величина визначається вхідною напругою операційних підсилювачів і коефіцієнтом підсилення. При більшій напрузі сигнали вузлів будуть мати спотворення і пристрій буде працювати некоректно.

Напруга живлення визначається напругою живлення драйверу. Так як драйвер здатен працювати на напругах 11,5...20 В, було обрано напругу живлення +15 В.

Дані електричні характеристики справедливі для кожного з трьох каналів перетворювача.

На основі типової будови перетворювачів частоти, методів керування IGBT-транзисторами, технічних характеристик та вимог технічного завдання, була визначена структурна схема перетворювача частоти (рис. 1).

На структурній схемі зображена триканальна силова частина перетворювача частоти для керування асинхронним двигуном. Так як структура кожного з каналів однакова, розглянута детально була будова лише одного каналу. На вході каналу знаходяться три порогових елементи (П1, П2, П3), після другого іде вузол гістерезису (Г), що задає діапазон напруг перемикачів. Після кожного порогового елемента встановлено обмежувач (ОБ), який задає рівень напруги для логіки драйвера, після них розміщений драйвер, який керує ключами (К).

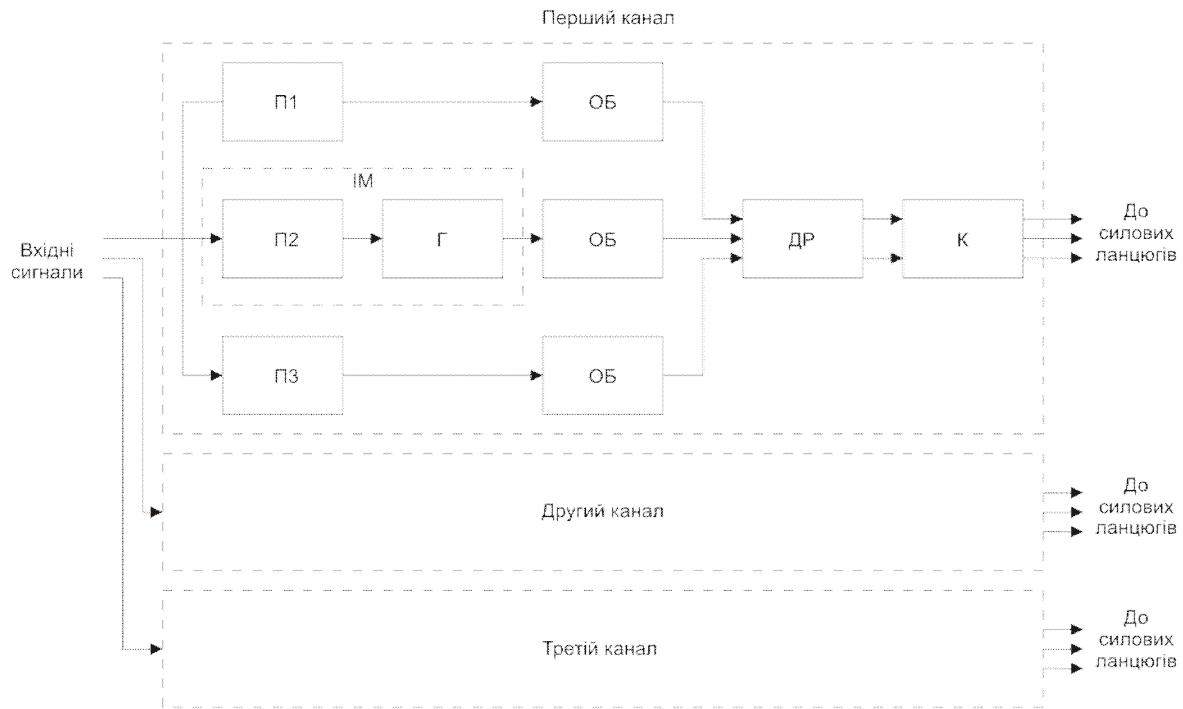


Рис. 1. Структурна схема перетворювача частоти:

П1 – перший пороговий елемент; **П2** – другий пороговий елемент;
П3 – третій пороговий елемент; **Г** – вузол гістерезисну; **ІМ** – імпульсний модулятор; **ОБ** – обмежувач; **ДР** – драйвер; **К** – ключі.

Пороговий вузол необхідний для вибору одного з трьох режимів роботи перетворювача частоти і задає рівень напруги. Верхня межа визначається першим пороговим вузлом (П1), нижня межа визначається третім пороговим вузлом (П3), а перемикання між ними відбувається згідно параметрів гістерезисного вузла (Г) в складі імпульсного модулятора (ІМ), до якого входить другий пороговий вузол (П2).

Вузол гістерезисну – являє собою схему, яка пропускає вхідний сигнал на вихід підсилювача в залежності від значення вхідної напруги. Принцип роботи вузла ілюструє рис. 2.

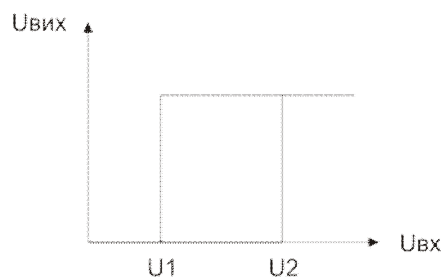


Рис. 2. Робота вузла гістерезисну

Відповідно до рис.2, коли вхідна напруга на вузлі знаходиться в межах $U1...U2$, на виході підсилювача виникає вихідна напруга, коли рівень вхідної напруги виходить за межі $U1...U2$, на виході вузла напруга відсутня.

Обмежувач напруги має за мету встановлення певного рівня для логічних «1» та «0». Так як на виході порогових елементів формується високий рівень напруги в десятки вольт, їх не можна подавати на логічні входи драйвера ключів, що може пошкодити драйвер і вивести його з ладу. За будовою обмежувач напруги є дільником напруги, який розраховується за вихідною напругою (вхід драйвера чи супутньої логіки мікросхем), і вхідною напруги (максимальне значення вихідної напруги порогового елементу). Крім того, до структури вузла входить обмежувальний діод.

Драйвер ключів, який було обрано, необхідний для керування силовими транзисторами. Коли на вхід драйвера поступають логічні сигнали від порогових елементів через обмежувачі, на виході драйвера з'являються сигнали керування для ключів верхнього та нижнього ключа. Кожен з каналів формує 2 сигнали – для верхнього та нижнього ключів.

Ключі являють собою IGBT транзистори, які вмикаються і вимикаються в залежності від сигналів керування драйвера, таким чином, кожен з каналів перетворювача визначає форму напруги однієї фази.

Розрахунок параметрів вузлів силової частини перетворювача частоти визначався з логіки роботи системи керування.

На основі структурної схеми, була визначена схемотехніка кожного з блоків пристрою та розроблена принципова схема, а також були виконані розрахунки параметрів елементів і їх вибір з використанням сучасної елементної бази.

Принципова схема силової частини перетворювача частоти для керування асинхронним двигуном має вигляд на рис.3.

Моделювання реальних схем на комп'ютері має суттєві недоліки:

- важко врахувати в моделях деякі реально існуючі паразитні параметри елементів схем (внутрішні опори та провідність джерел, власні індуктивності та ємності реальних резисторів, втрати в котушках індуктивності та конденсаторах);
- в деяких випадках неможливо визначити допустимість використання моделі для отримання необхідної точності моделювання (наприклад, при використанні в схемах електромеханічних двигунів або генераторів).

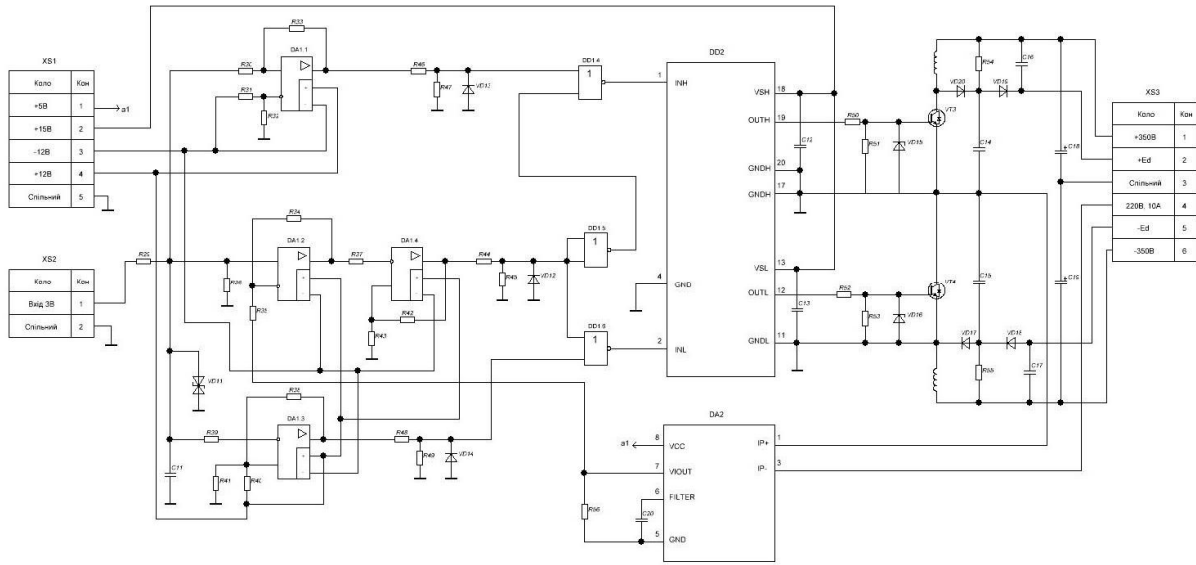


Рис.3. Принципова схема силової частини перетворювача частоти

Тому для процесу моделювання була обрана програма OrCAD [3], яка має в своєму складі програму PSPICE. Модель в середовищі OrCAD була створена з деякими припущеннями та показана на рис.4.

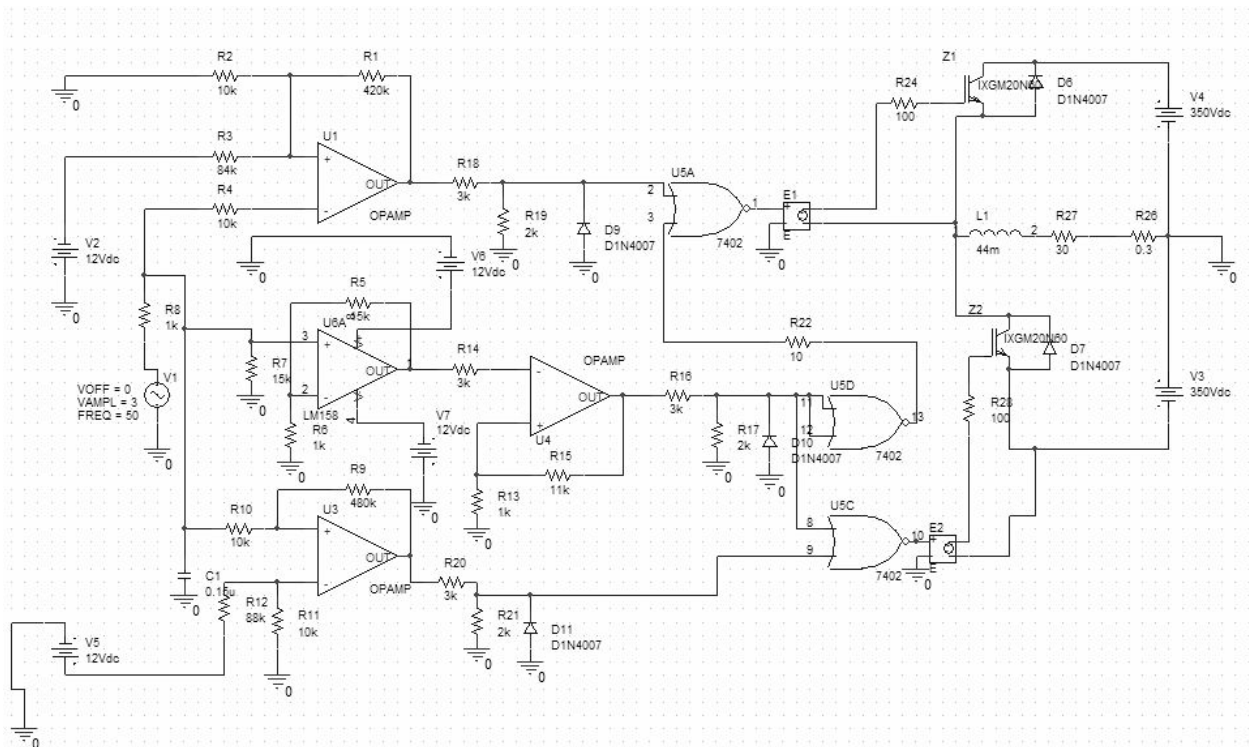


Рис.4. Модель перетворювача частоти в середовищі OrCAD

Результати моделювання при $U_{вх} = 0,5 \text{ В}$ приведені на рис. 5-11.

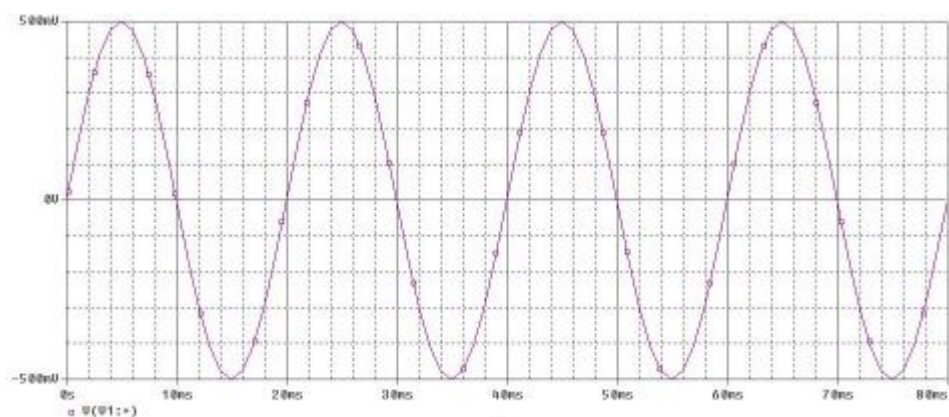


Рис. 5.

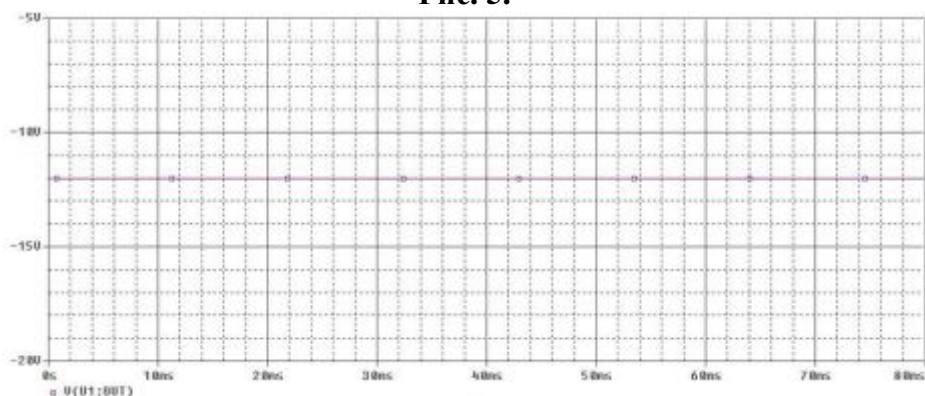


Рис. 6.

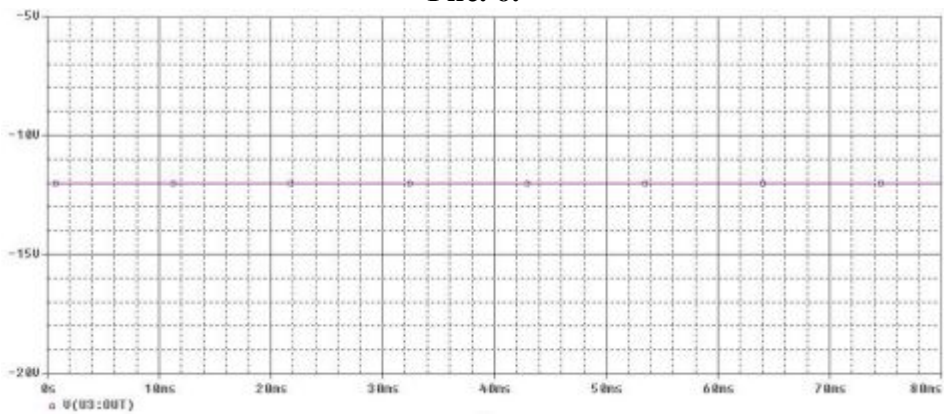


Рис. 7.

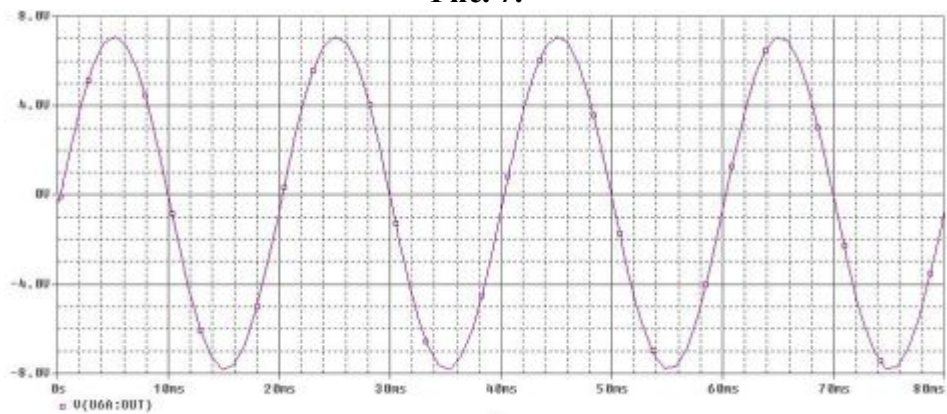


Рис. 8.

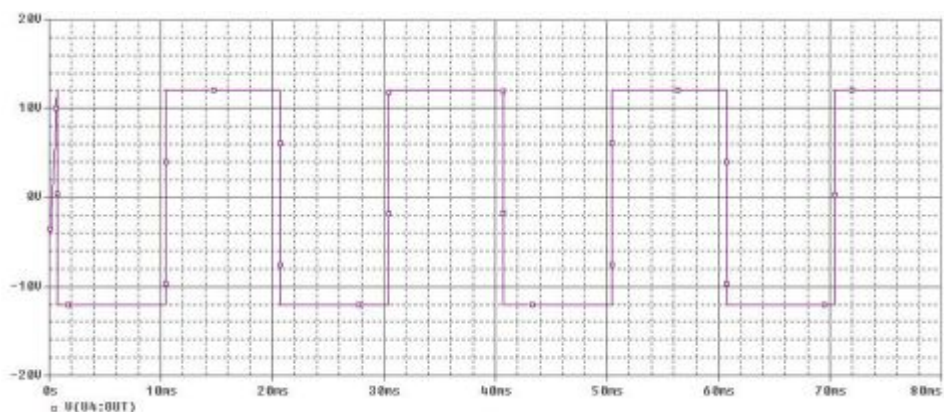


Рис. 9.

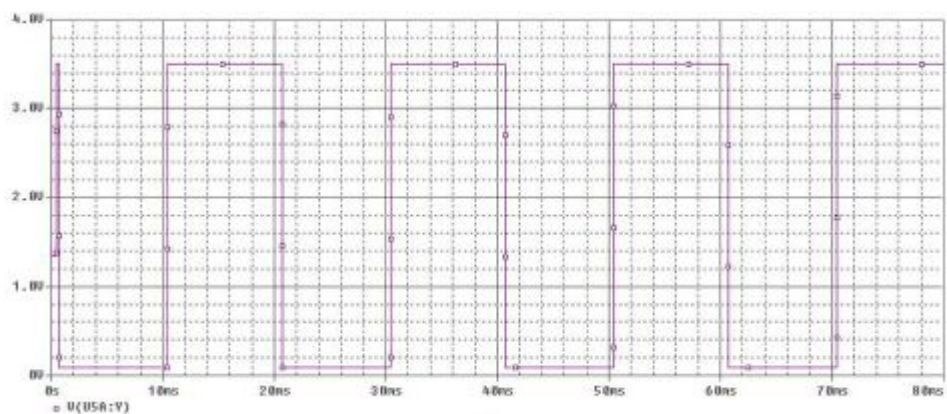


Рис. 10.

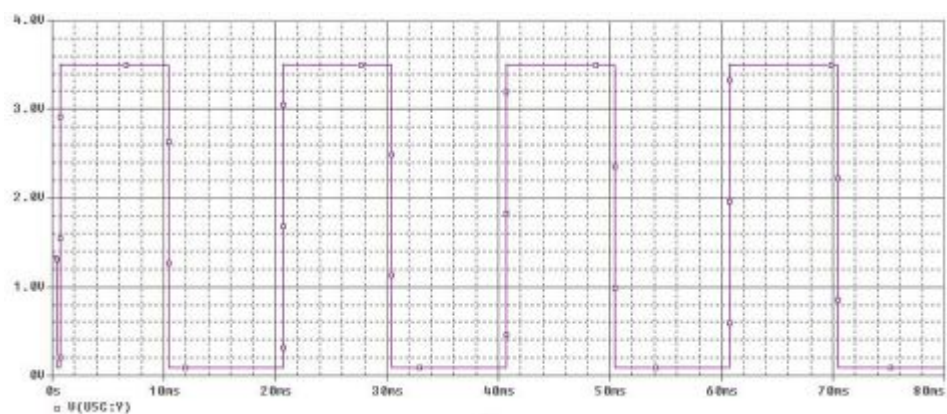


Рис. 11.

Результати моделювання при $U_{вх} = 3 \text{ В}$ приведені на рис. 12-18.

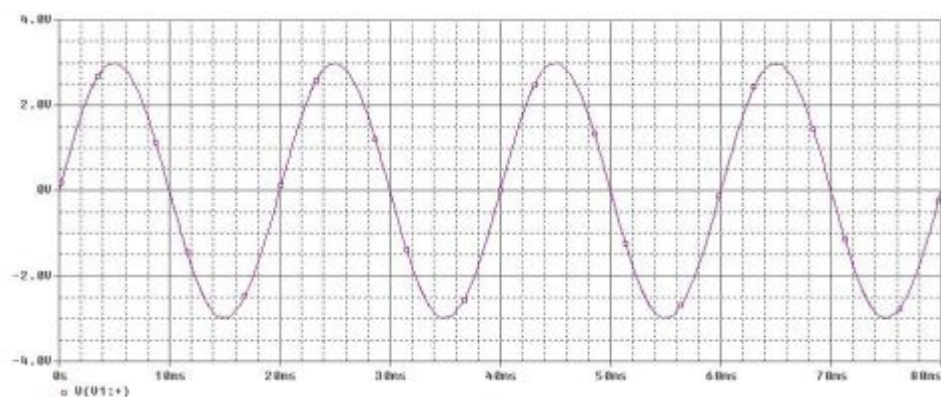


Рис. 12.

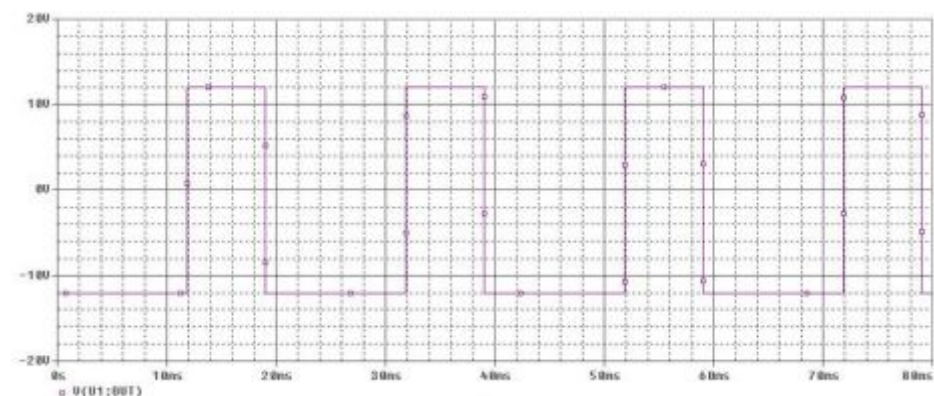


Рис. 13.

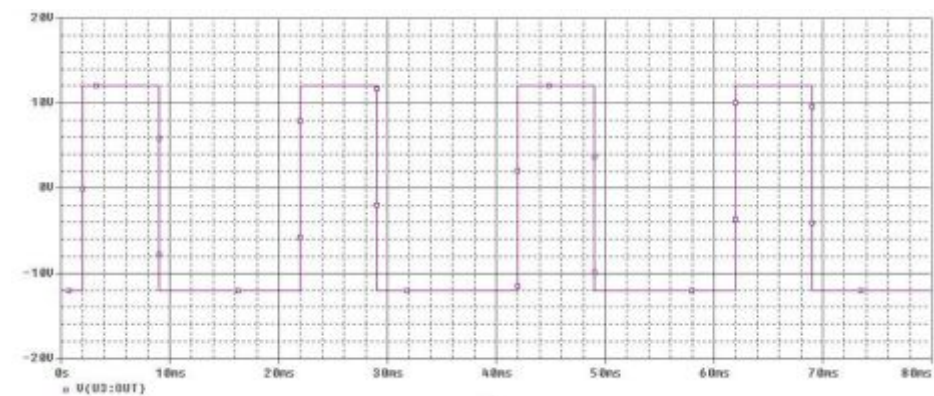


Рис. 14.

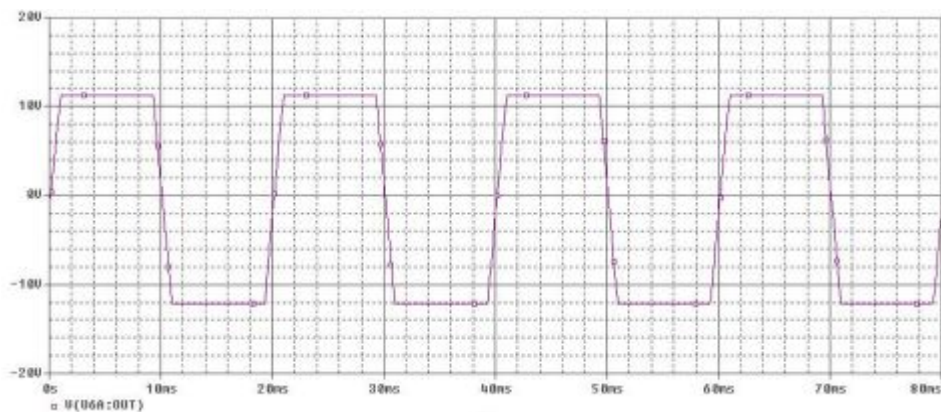


Рис. 15.

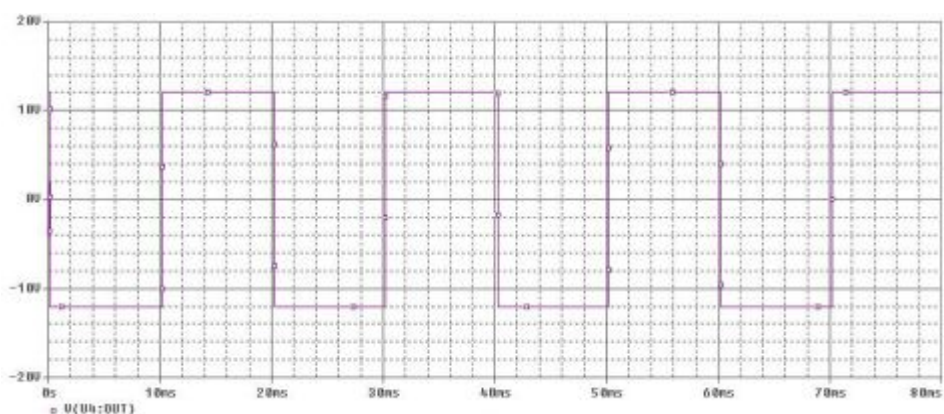


Рис. 16.

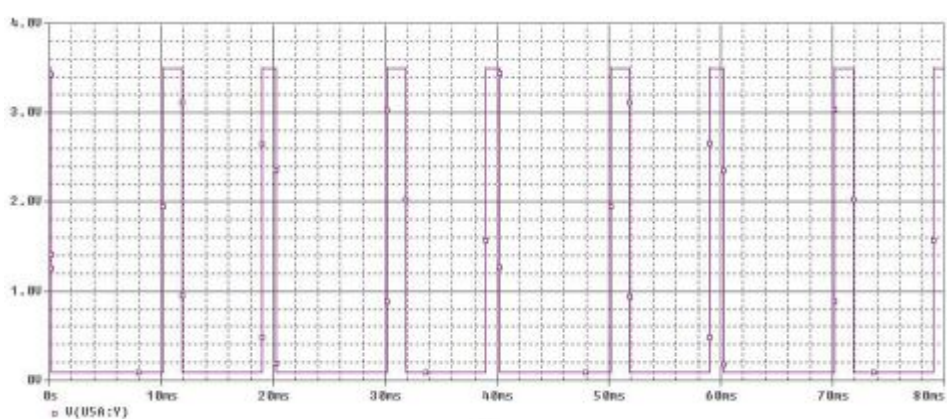


Рис. 17.

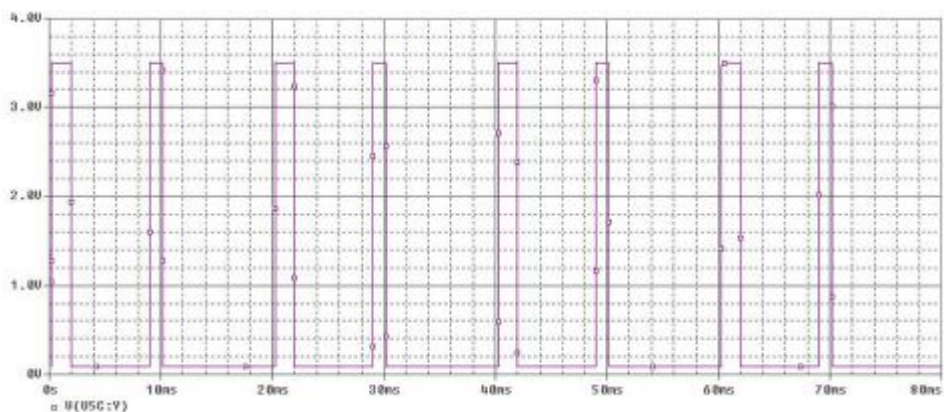


Рис. 18.

Висновки

Аналізуючи результати роботи, можемо зробити такі висновки:

- розроблена модель дозволить проектувальнику об'єктивно оцінити показники перетворювача частоти та вирішити задачі оптимізації параметрів його складових частин;

- результати моделювання показують, що необхідно при проектуванні електроприводу враховувати величину та характер зміни механічного навантаження, які значною мірою впливають на процеси в перетворювачах частоти;
- в подальшому при аналізі та проектуванні електроприводу необхідно враховувати [4]:
 - 1) потужність на силових елементах перетворювача, які не є ідеальними ключами в статичному режимі;
 - 2) динамічні втрати при перемиканні в напівпровідникових перетворювачах (які залежать від частоти перемикання і від параметрів самих приладів);
 - 3) появу гармонік в струмі які виникають при включенні напівпровідникового перетворювача між джерелом живлення і двигуном і призводять до спотворення форми струму. Ці гармоніки істотно впливають на мережу живлення. Тому необхідно при аналізі проводити дослідження гармонійного складу струму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією / Г. Г. Півняк, О. В. Волков – Дніпропетровськ.: Національний гірничий університет, 2006. – 470 с.
2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
3. Кеон Дж. OrCAD Pspice. Анализ электрических цепей / Дж. Кеон – СПб: Питер, 2008.
4. Росінська Г. П. Моделювання електромеханічних систем з асинхронними двигунами / Г. П. Росінська – К.: Вісник КНУТД № 6 (68), 2012. – С. 43-49.

Росинская Г. П., Пономаренко С. С.

Моделирование преобразователя частоты в программе ORCAD

В статье показан подход к моделированию преобразователей частоты, как составной части регулируемого электропривода, в программе ORCAD. В качестве примера разработана практическая модель преобразователя частоты, проведено моделирование.

Ключевые слова: преобразователь частоты, электромеханическая система, регулируемый электропривод

Rosinska G. P., Ponomarenko S. S.

Simulation of the frequency converter in the program OrCAD

The article describes an approach to modeling the frequency converters, as part of variable speed drive, the program OrCAD. As an example, a practical model of the frequency converter was developed and simulation was carried.

Keywords: frequency inverter, electromechanical system, electric drive