

В.В. Рымша, д-р техн. наук,  
И.Н. Радимов, М.В. Гулый, А.М. Якимец, кандидаты техн. наук,  
П.А. Кравченко

## ВЕНТИЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПРИВОДА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

*Представлено нову розробку вентильних електроприводів роз'єднувача контактної мережі, результати випробувань партії таких електроприводів, та математична обробка цих результатів.*

*Представлена новая разработка вентильных электроприводов разъединителя контактной сети, результаты испытаний партии таких электроприводов и математическая обработка этих результатов.*

*The new design of the brushless drives for the disconnecter of the contact system, the results of the testing of the batch of this drives and the mathematical analysis of observations are describe.*

Електротехнічним заводом (г. Симферополь) серійно випускаються привода типу УМП-ІІ і УМПЗ-ІІ, призначені для дистанційного і ручного оперирования секційними роз'єдинителями контактної мережі електрифікованих ділянок залізничних доріг постійного і змінного струму, а також роз'єдинителями, призначеними для підключення комплектних трансформаторних підстанцій до системи ДПР (два провідів і рейс) 27,5 кВ і до високовольтних ліній 10 кВ і 35 кВ.

Привод УМП-ІІ представляє собою двохступінчатий редуктор, зібраний в корпусі 7 (рис. 1).

Перша ступінь редуктора - прямозуба передача з модулем зацеплення 1,5 (шестерня 5 на валу електродвигателя 12 передає вращення шестерні 10 з передаточним числом 120/13). Друга ступінь редуктора - черв'ячна з модулем зацеплення 3,0 і передаточним числом 68/1. Черв'як 9 передає вращення на черв'ячне колесо (венці) 11, яке смонтовано на фрикціоні 1, установленому на вихідному валу привода 13. Редуктор приводиться в дію універсальним колекторним електродвигателем УЛ-061(062). Реверс привода здійснюється двома тумблерами, установленними на кронштейні 2. Доступ до механізму привода здійснюється через дверку 8.

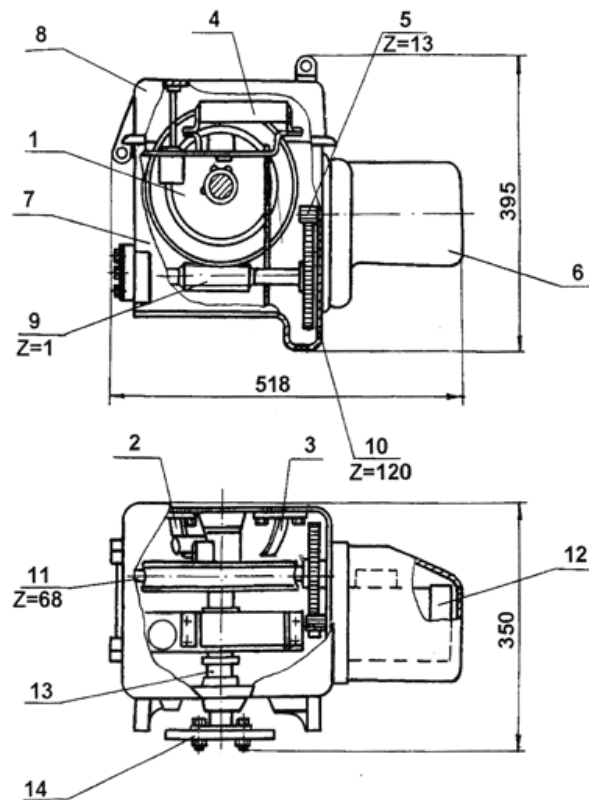


Рис. 1. Привод УМП-ІІ

Привод електродвигательний типу УМПЗ-ІІ конструктивно виконаний також, як і привод УМП-ІІ, але має ряд особливостей, пов'язаних з наявністю ножей заземлення.

Приводу УМП-ІІ, розробленому декількох десятиліть тому назад, притаманні такі суттєві недоліки, як:

- складність кінематичної схеми, пов'язана з використанням високооборотного

(8000 об/мин) коллекторного двигателя типа УЛ-061(062), не имеющего системы регулирования для ограничения пускового тока и момента двигателя, что, в свою очередь, приводит к необходимости применения фрикциона;

- наличие в конструкции червячной передачи, венец которой изготовлен из дорогостоящей бронзы;

- применяемый коллекторный электродвигатель требует регулярного обслуживания, что является затруднительным из-за протяженности дистанции установки разъединителей. Кроме того, замена вышедшего из строя электродвигателя на новый весьма проблематична, так как двигатели УЛ-061(062) не производятся в Украине.

Для устранения указанных недостатков приводов типа УМП-II и УМПЗ-II в научно-техническом центре ООО «Электротехника-Новые технологии» было принято решение о двух, независимых друг от друга, направлениях их модернизации. По первому направлению был разработан и в настоящее время серийно производится бесконтактный аналог электродвигателя УЛ-061(062) на базе вентильно-реактивной машины с интегрированной системой управления (рис. 2).



Рис. 2. Вентильно-реактивный двигатель для привода разъединителя

На рис. 2 показан один двигатель в сборе и один двигатель с открытой системой управления.

Разработанный вентильно-реактивный электродвигатель, по сравнению с коллек-

торными двигателями УЛ-061(062), имеет повышенную надежность за счет отсутствия коллекторно-щеточного узла, более высокий коэффициент полезного действия, лучшие динамические характеристики благодаря электронной системе регулирования, обеспечивающей пуск двигателя с постоянным моментом, уменьшенную вероятность пробоя обмотки статора благодаря ее выполнению из отдельных катушек, а также встроенную защиту двигателя от перегрузок. Двигатель развивает пусковой момент 2 Нм при отклонении питающего напряжения +10%, -25% от номинального (~220 В, 50 Гц).

Второе направление связано с полной переработкой идеологии внутреннего построения приводов УМП-II и УМПЗ-II с целью их упрощения. Было предложено использовать бесконтактный двигатель с высококоэрцитивными постоянными магнитами, спроектированный на пониженную частоту вращения. Снижение частоты вращения электродвигателя позволило отказаться от червячной передачи, а благодаря применению системы управления двигателем с функциями ограничения пускового тока и момента отпала необходимость в использовании фрикциона. Такое решение существенно упростило устройство привода, снизило его массу и габариты.

По заказу Симферопольского электро-технического завода в ООО «Электротехника-Новые технологии» была произведена партия вентильных электродвигателей в количестве 10 штук (рис. 3). Геометрические размеры и технические данные вентильных двигателей представлены в таблице.

Таблица

| Наименование               | Значение |
|----------------------------|----------|
| Диаметр корпуса, мм        | 107      |
| Длина корпуса, мм          | 140      |
| Напряжение, В              | ~220     |
| Номинальный момент, Нм     | 2,1      |
| Пусковой момент, Нм        | 9        |
| Частота вращения, об/мин   | 1700     |
| Номинальная мощность, Вт   | 370      |
| Масса двигателя, кг        | 4        |
| Масса блока управления, кг | 0,9      |



Рис. 3. Вентильный двигатель с блоком управления

Блок управления вентильным электродвигателем включает в себя силовой трехфазный инвертор, питаемый через выпрямитель от однофазной сети 220 В. Допускается работа электропривода при питании от источника постоянного тока напряжением 300 В. В блоке реализовано управление двигателем в различных режимах (разгон, торможение, реверс), токоограничение и защита при аварийных ситуациях.

Для оценки свойств разработанных электроприводов были проведены их испытания, заключающиеся в получении механических и рабочих характеристик. Данные испытания позволили также определить степень разброса характеристик для произведенной партии электроприводов из 10 штук.

На рис. 4 представлены экспериментальные механические характеристики (зависимости угловой скорости  $\omega$  от нагрузочного момента  $M$ ), а на рис. 5 – экспериментальные рабочие характеристики (зависимости КПД электропривода  $\eta$  от мощности на валу двигателя  $P_2$ ) указанной партии электроприводов.

Из рис. 4 видно, что механические характеристики не являются жесткими, так как система управления приводами не требовала обратной связи по скорости. Электроприводы с полученными механическими характеристиками обеспечивают требуемое время включения/отключения разъединителей контактной сети, что было подтверждено в результате проведения испытаний в ЦЗЛ Симферопольского электротехнического завода всех 10 приводов.

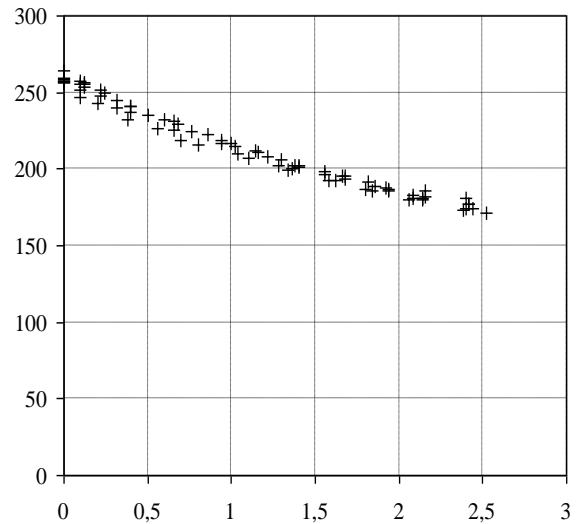


Рис. 4. Экспериментальные механические характеристики  $\omega = f(M)$  вентильных электроприводов

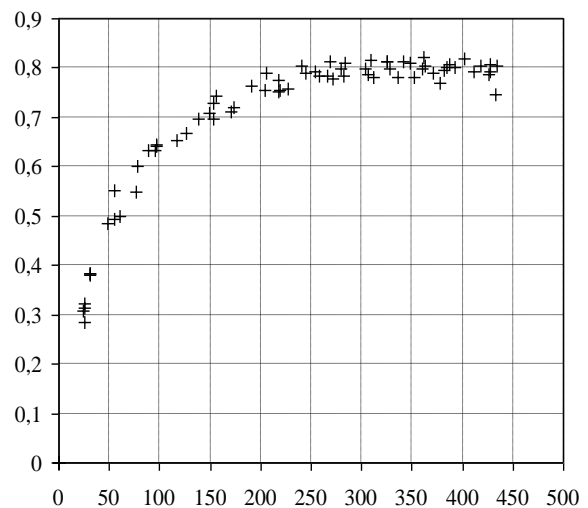


Рис. 5. Экспериментальные рабочие характеристики  $\eta = f(P_2)$  вентильных электроприводов

Из рис. 5 следует, что КПД электроприводов при их работе с номинальной нагрузкой составляет в среднем около 80%.

Также из рис. 4,5 видно, что существует небольшой разброс полученных экспериментальных характеристик для 10 электроприводов. В связи с этим были рассчитаны усредненные характеристики, которые приняты в качестве опорных. Усредненные характеристики получены как средние значения результатов измерений и представлены в виде степенных полиномов. Максимальная

степень полинома выбрана исходя из условия обеспечения необходимой и достаточной точности (степени близости результата измерений к принятому опорному значению). Одним из таких показателей является величина достоверности аппроксимации  $R^2$ .

При обработке результатов измерений механических характеристик приводов получена следующая регрессионная модель:  $\omega(M) = -1,13 \cdot M^3 + 11,08 \cdot M^2 - 54,65 \cdot M + 258,8$ , при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9898$ .

При такой достоверности аппроксимации среднее отклонение регрессионной зависимости от экспериментальных данных составило 1,1 %, а максимальное - 2,9 %. Увеличение степени полинома  $\omega(M)$  с 3 до 4 не дает увеличения достоверности аппроксимации  $R^2$ .

Аналогичным образом были получены опорные регрессионные зависимости характеристики  $\eta = f(P_2)$  при изменении мощности на валу от 50 до 450 Вт. Для данного случая регрессионная модель имеет вид:  $\eta(P_2) = -3,6152 \cdot 10^{-11} \cdot P_2^4 + 4,4636 \cdot 10^{-8} \cdot P_2^3 - 2,214 \cdot 10^{-5} \cdot P_2^2 + 5,3187 \cdot 10^{-3} \cdot P_2 + 0,28175$ , при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9619$ . Среднее отклонение регрессионной зависимости от экспериментальных данных составило 2,2 %, а максимальное - 7,3 %.

Таким образом, на основе экспериментальных и расчетных исследований партии из 10 вентильных электроприводов можно сделать вывод о том, что характеристики электроприводов имеют незначительный разброс, что связано с технологическими факторами. Применение разработанных вентильных электроприводов позволило снизить массу привода разъединителя с 60 до 25 кг и повысить надежность его работы.



Рымша Виталий  
Викторович,  
д-р техн. наук, профессор  
каф. ЭМ ОНПУ  
E-mail:  
rimsha@ukrainemotors.com



Радимов Игорь  
Николаевич,  
канд. техн. наук, доцент  
каф. СЭиЭМ ОНМА  
E-mail: radimov@ukrainemotors.com



Гулуй  
Михаил Викторович,  
канд. техн. наук, начальник  
отдела электропривода  
НТЦ ООО “Электротехника – Новые технологии”  
E-mail:  
gulyy@ukrainemotors.com



Якимец Андрей  
Миронович  
канд. техн. наук, доц.  
каф. ЭМ ОНПУ.  
65044, Одесса,  
пр-т Шевченко, 1.  
тел. (048)7348479  
yakimets74@gmail.com



Кравченко Петр  
Алексеевич, студент  
магистратуры