

Муха А.М., д.т.н., доцент

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна)

ВПЛИВ ВИДУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ НА КОНСТРУКТИВНІ ПОКАЗНИКИ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Вступ. Сучасну тягову електропередачу неможливо уявити без статичних перетворювачів, які забезпечують необхідне перетворення електричної енергії від джерела (тягової підстанції) до вала тягового двигуна. Потужність тягових перетворювачів щороку зростає, це необхідно для забезпечення достатнього рівня потужності тягової електропередачі, особливо для швидкісного руху поїздів. Збільшення потужності тягової електропередачі, зокрема статичного перетворювача, при існуючих підходах до проектування електрообладнання вимагає збільшення його «життєвого» простору внаслідок збільшення потужності трансформаторно-реакторного обладнання та збільшення габаритів системи охолодження.

На шляху необхідного збільшення габаритів обладнання стає особливістю тягового рухомого складу – обмеження доступного простору габаритами кузова електровоза.

Один зі шляхів зменшення габаритних розмірів електрообладнання статичного перетворювача – використання напівпровідникових приладів підвищеного класу та струму, що дозволяє підвищити одиничну потужність кожного з вентилів у складі схем та зменшити втрати потужності на напівпровідникових приладах.

Різні фірми-виробники пропонують власні схемні та технологічні рішення щодо використання різноманітної елементної бази та систем охолодження перетворювачів, які базуються на відпрацьованих технічних та технологічних рішеннях, вартості та інших об'єктивних та суб'єктивних факторах. Тому прийняти рішення, яку елементну базу та систему охолодження використовувати у складі тягової електропередачі електровоза, є досить складною науково-технічною проблемою/

Таким чином, є необхідність у проведенні досліджень, *метою* яких є розробка рекомендацій, з урахуванням властивостей сучасної (а також на найближче майбутнє) елементної бази щодо її впровадження у складі статичного перетворювача тягової електропередачі електровоза.

Матеріал і результати дослідження.

Для запропонованих раніше [1,2,3] перетворювальних структур з трансформаторами підвищеної частоти можливе використання IGBT, GTO, GCT, IGCT приладів. Серед цих приладів лише IGBT та IGCT дозволяють реалізувати раніш отриманий частотний діапазон роботи трифазного тягового трансформатора підвищеної частоти (від 827 Гц до 2076 Гц) [4]. На базі цих приладів є доцільним створювати так звані мережеві інвертори, які живлять первину сторону тягового трансформатора. Але це не означає, що слід обмежити дослідження габаритних показників потужних статичних перетворювачів, побудованих з використанням тільки цих приладів, оскільки йде постійне вдосконалення характеристик всіх видів напівпровідникових приладів, тому розглянемо весь доступний в наш час спектр силової елементної бази. При цьому, як і раніш, врахуємо вплив виду тягового двигуна на основні показники статичного перетворювача тягової електропередачі.

Питання використання асинхронного електропривода на електрорухомому складі не нове, йому присвячено значну кількість праць [5,6 та ін.]. В цих роботах статичний перетворювач частоти, який є невід'ємною частиною асинхронного тягового електропривода (АТЕ), розглянуто в загальному вигляді. Дослідження, проведені авторами, базувались на можливостях елементної бази того часу. Сучасна елементна база дозволяє будувати статичні перетворювачі з великими функціональними можливостями.

Вітчизняні електрозобудівники вже мають досвід побудови тягового асинхронного електропривода – електровоз змінного струму ДСЗ, у складі якого використовується статичний перетворювач фірми Siemens [5]. На сучасному етапі ведуться розробки магістрального пасажирського електровоза постійного – змінного струму (3/25 кВ).

Питання визначення взаємного зв'язку між потужністю тягової електропередачі та масо-габаритними показниками статичного перетворювача, що є її невід'ємною частиною, не порушувалось. Тому автором проведено аналіз технічних характеристик та параметрів промислових перетворювачів для розробки рекомендацій стосовно раціональних конструктивних показників перетворювачів тягової електропередачі.

Як основний конструктивний показник розглянемо питомий об'єм, а оскільки цей показник безпосередньо пов'язаний із простором у кузові електровоза, визначимо цей показник як: $V_p = \frac{V}{P}$, де V – об'єм статичного перетворювача, м³; P – потужність перетворювача, кВт.

Високовольні перетворювачі з використанням повітряного та водяного (рідинного) охолодження випускаються фірмою Rockwell Automation, елементною базою яких є SGCT тиристори.

На рис. 1 та 2 представлені залежність питомого об'єму високовольних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT, примусовим повітряним (рис. 1) та водяним (рис. 2) охолодженням).

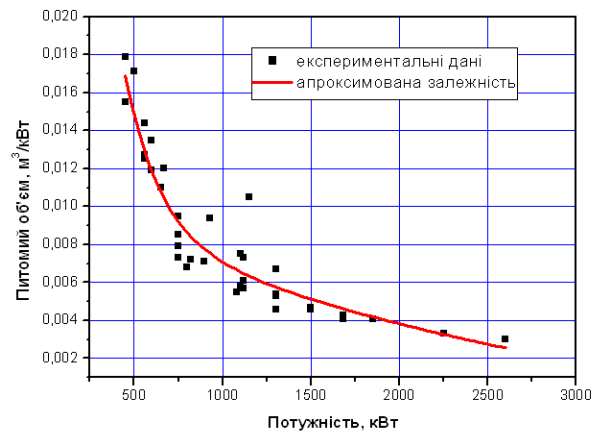


Рис. 1. Залежність питомого об'єму високовольних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT, з примусовим повітряним охолодженням)

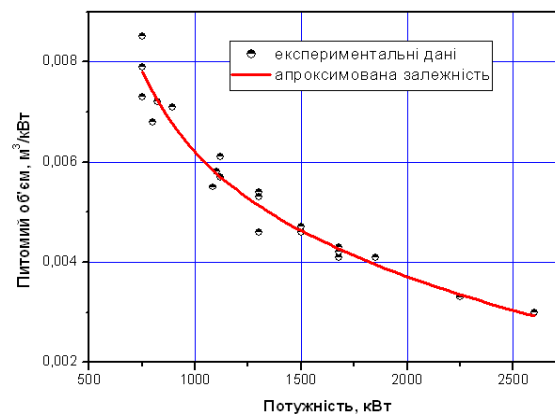


Рис. 2. Залежність питомого об'єму високовольних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT, із водяним охолодженням)

Порівняємо між собою залежності питомого об'єму високовольних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens із примусовим повітряним (рис. 3) та водяним (рис. 4) охолодженням).

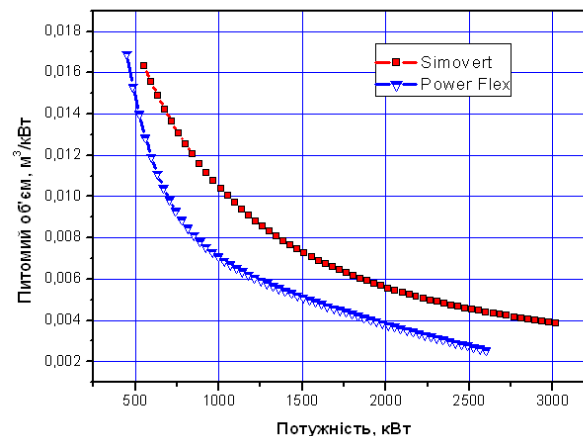


Рис. 3. Порівняння залежностей питомого об'єму високовольних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens з примусовим повітряним охолодженням

Розбіжність отриманих залежностей пояснюється, в першу чергу, використанням у складі перетворювача різної елементної бази: SGCT та IGBT. Так загально відомим є той факт, що IGBT по відношенню до тиристорів (у тому числі SGCT) характеризуються більш високими втратами потужності, що призводить до збільшення габаритних розмірів радіаторів системи охолодження та перетворювача у цілому.

Переваги використання тиристорів у складі перетворювачів, з точки зору масо-габаритних показників, ілюструє порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation із примусовим повітряним охолодженням (елементна база – SGCT) та серії Simovert фірми Siemens з водяним охолодженням (елементна база – IGBT) (рис. 5).

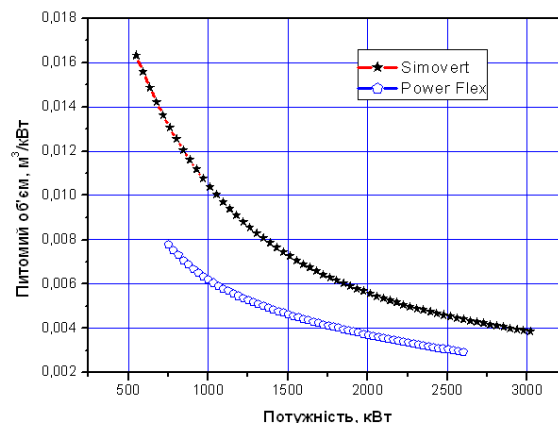


Рис. 4. Порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens із водяним охолодженням

Як бачимо з рис. 5, перетворювачі, які побудовані з використанням SGCT та мають примусове повітряне охолодження, характеризуються меншими габаритними показниками, у порівнянні з перетворювачами, побудованими з використанням IGBT та мають водяне охолодження (при однакових потужностях). Так перетворювач потужністю 1000 кВт на базі SGCT тиристорів при примусовому повітряному охолодженні (рис. 5) характеризується питомим об'ємом приблизно 0,00709 м³/кВт, а перетворювачі на базі IGBT та водяному охолодженні: 0,01039 м³/кВт, тобто питомий об'єм у $\frac{0,01039}{0,00709} = 1,46$ рази більше.

Таким чином, використання SGCT тиристорів при побудові перетворювачів для багатосистемних електровозів дозволить зменшити габарити перетворювачів приблизно на 40...50 %, навіть за умови використання менш ефективного, у порівнянні з водяним, примусового повітряного охолодження.

Отримані автором вперше коефіцієнти апроксимації залежностей питомого об'єму перетворювачів різних фірм та серій представлені у табл. 1.

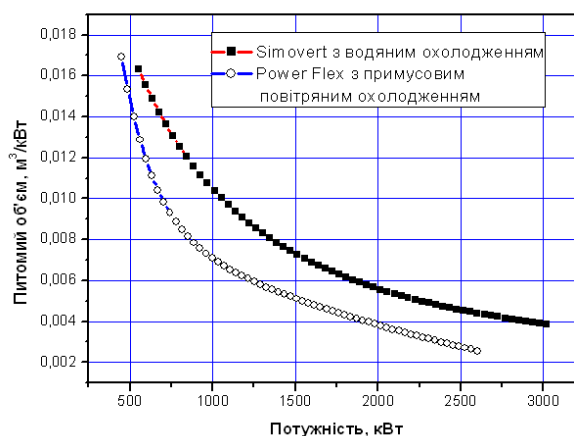


Рис. 5. Порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation із примусовим повітряним охолодженням (елементна база – SGCT) та серії Simovert фірми Siemens із водяним охолодженням (елементна база – IGBT)

Таблиця 1

Коефіцієнти апроксимації для залежності $V_p = f P$ для різних перетворювачів.

Тип перетворювача		Коефіцієнти				
		y_0	A_1	t_1	A_2	t_2
1	Simovert 2,3...4,16 кВ (IGBT, примусове повітряне охолодження)	0,00169	0,00902	1089,60885	0,00482	1117,9204
2	Simovert 6...6,6 кВ (IGBT, примусове повітряне охолодження)	0,00562	0,01429	648,50927	0,01182	824,66319
3	Simovert 2,3...4,16 кВ (IGBT, водяне охолодження)	0,00207	0,01635	1006,46744	0,0012	384,17899
4	ACS800, ACS550 фірми ABB (IGBT, природне повітряне охолодження)	0,00166	0,01073	169,83663	6,6956E-4	1,76393E13
5	PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT з примусовим повітряним охолодженням)	-0,00282	0,08631	192,20354	0,01336	2863,23183
6	PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT з водяним охолодженням)	8,1938E-4	0,03234	240,60059	0,00822	1911,37934

Вплив елементної бази перетворювача на залежність питомого об'єму перетворювача від потужності пояснюється, в першу чергу, залежністю габаритних розмірів системи охолодження від втрат потужності на силових елементах перетворювача. Тому, з цієї точки зору, використання SGCT, IGCT приладів у складі перетворювачів є більш зручним по відношенню до IGBT приладів. Так використання SGCT тиристорів із примусовим повітряним охолодженням дозволяє зменшити питомий об'єм статичного перетворювача для асинхронного приводу приблизно в 1,5 рази, у порівнянні зі статичним перетворювачем на базі IGBT транзистора з водяним охолодженням.

При використанні IGBT транзисторів у складі силових модулів тягового статичного перетворювача доцільно використовувати примусове водяне охолодження, яке дозволяє зменшити питомий об'єм перетворювача приблизно на 20%, у порівнянні з системами, в яких використовується примусове повітряне охолодження.

Отримані результати досліджень (аналітичні залежності питомого об'єму від потужності перетворювача), у першому наближенні, можуть бути використані для визначення конструктивних показників перетворювачів тягової електропередачі на базі тягових двигунів змінного струму.

Список літератури

1. Дубинець Л.В. Структурна схема перспективного електровозу подвійного живлення / Л.В. Дубинець, Г.М. Чілікін, А.М. Муха // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки): [тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика»] – Дніпродзержинськ: ДДТУ. - 2007 - С.356 - 357.
2. Муха А.М. Порівняльний аналіз перетворювальних структур тягового приводу перспективних багатосистемних електровозів з тяговими двигунами постійного струму / А.М. Муха // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009 – №27. - С.93 - 98.
3. Муха А.М. Структурні схеми тягових перетворювачів для багатосистемних електровозів з асинхронним тяговим приводом / А.М. Муха // Збірник наукових праць “Гірнича електромеханіка та автоматика”, ДНГУ, Дніпропетровськ. - 2009 – №82. - С. 13 - 21.
4. Муха А.М. Втрати у магнітопроводі трифазного тягового трансформатора підвищеної частоти / Муха А.М. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – Дн-вськ: Видавництво Дніпропетр. нац. ун-ту. заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. - №35. - С. 81 – 88.
5. Безрученко В.М. Тягові електричні машини електрорухомого складу: навчальний посібник. / Безрученко В.М., Варченко В.К., Чумак В.В. – Д.: Вид-во Дніпропетровського нац. унів. зал-го тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, 2003. - 252 с.
6. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н. А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко; под. ред. Н.А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.