

### **Выводы**

1. Атмосферная коррозия алюминиевых проводов воздушных линий приводит к уменьшению диаметра и эффективного сечения жилы провода, что в свою очередь влияет на значение продольного активного сопротивления ЛЭП, практически оставляя без изменения величину реактивного сопротивления линии электропередач.

2. Установлен закон изменения продольного активного сопротивления воздушных линий, в соответствии с которым величина приращения активного сопротивления проводов зависит от продолжительности эксплуатации воздушной линии, значений стандартных диаметров проволок, формирующих провод, и степени изменения диаметра проволоки провода в результате коррозии за один год (скорости коррозии).

3. Для условий Украины скорость коррозии алюминиевых проводов следует принимать в диапазоне 1,75 – 3,5 мкм/год (для сельских и городских районов). При этом продольное активное сопротивление фазных алюминиевых проводов, состоящих из проволок минимального стандартного диаметра (1,7 мм), за 30 лет эксплуатации может (при максимальной скорости коррозии) увеличиться на 30%, а за 70 лет – удвоиться (100%). Для проводов с максимальным диаметром проволок (4,1 мм) степень возрастания продольного сопротивления уменьшается и при той же скорости коррозии составит: за 30 лет эксплуатации 12%; за 70 лет – 26%.

### **Список литературы**

1. Воротицкий В.Э. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях [Текст]: учеб.-метод. пособие / В.Э. Воротицкий, М.А. Калинкина. – 3-е изд. – М.: ИПК госслужбы, 2003. – 64 с.
2. Герасимов В.В. Коррозия алюминия и его сплавов / В.В. Герасимов. – М.: Metallurgia, 1967 – 114 с.
3. Акимов Г.В. Основы учения о коррозии и защите металлов / Г.В. Акимов. – М.: гос. науч.-техн. изд. лит-ры по черной и цветной металлургии, 1946. – 463 с.
4. Шкрабец Ф.П. Влияние коррозии алюминия на электрические параметры ЛЭП / Ф.П. Шкрабец, П.Ю. Красовский // Гірн. електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 79. – С. 36-39.
5. Півняк Г.Г. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання: навч. посіб. / Г.Г. Півняк., Г.А. Кігеля, Н.С. Волотковської; за ред. Г.Г. Півняка. – Вид. 2-е, перероб. і доп. – Д.: НГУ, 2002. – 219 с.

*Рекомендовано до друку проф. Куваевим Ю.В.*

УДК 629.423

**А.М. Муха, д-р техн. наук**

*(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 точності 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 елементу 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 до 2076 Гц) [4]. На базі цих приладів є доцільним створити 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 постійно відбувається вдосконалення характеристик всіх видів напівпровідникових приладів. Тому розглянемо весь доступний у 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 багато робіт [5,6 та ін.]. У цих роботах статичний перетворювач частоти, який є невід'ємною частиною асинхронного тягового електропривода (АТЕ), розглянуто в загальному вигляді. Дослідження, проведені авторами, базувалися на можливостях елементної бази того часу. Сучасна елементна база дозволяє будувати статичні перетворювачі з великими функціональними можливостями.

Вітчизняні електровозобудівники 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 розглядалося. 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, то визначаємо цей показник як  $V_p = \frac{V}{P}$ , де  $V$  – об'єм статичного перетворювача, м<sup>3</sup>;  $P$  – потужність перетворювача, кВт.

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

На рис. 1 та 2 наведено залежності питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT) з примусовим повітряним (рис. 1) та водяним (рис. 2) охолодженням.

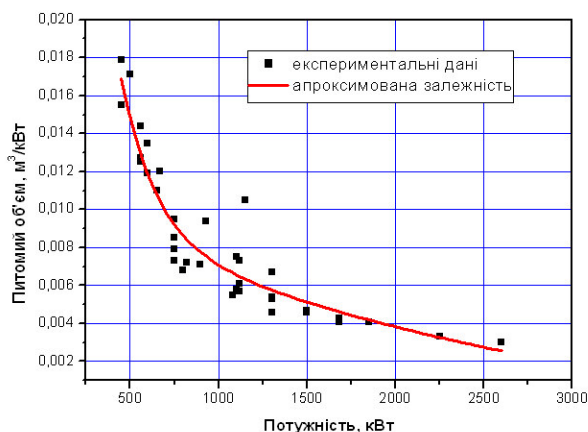


Рис. 1. Залежність питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT) з примусовим повітряним охолодженням

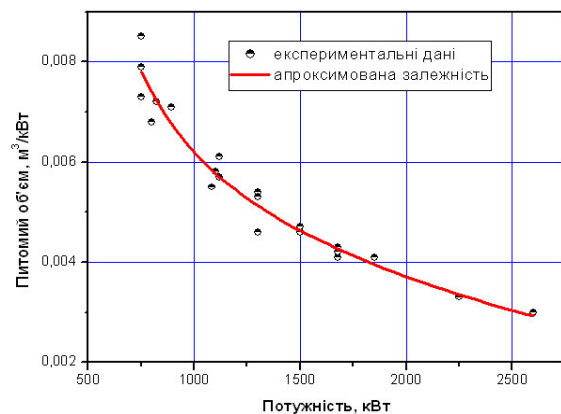
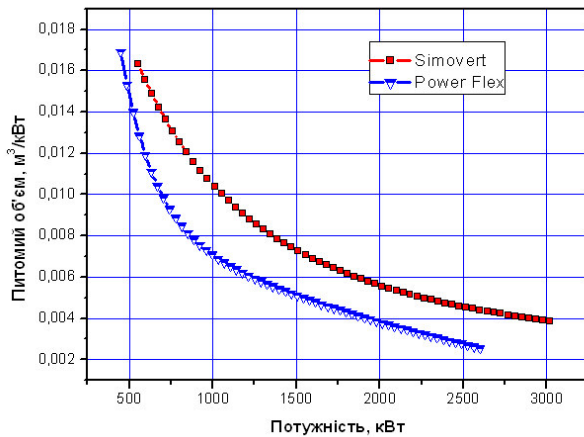
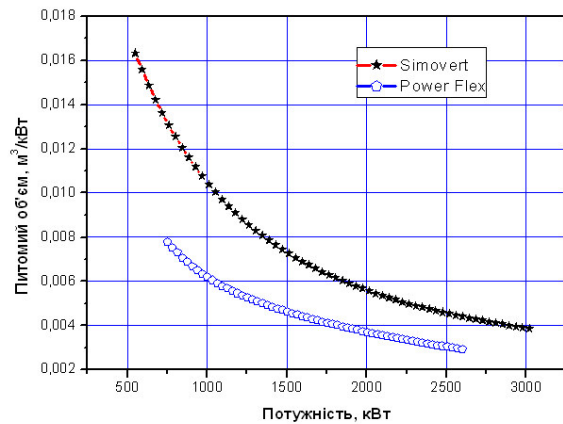


Рис. 2. Залежність питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT) з водяним охолодженням

Порівнюємо між собою залежності питомого об'єму високовольтних 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 високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens з примусовим повітряним охолодженням

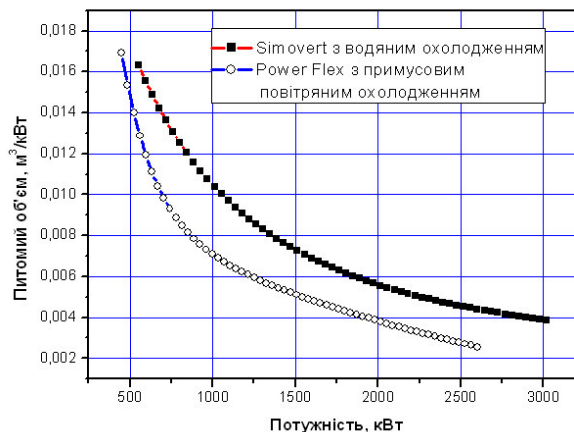


**Рис. 4.** Порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation та серії Simovert фірми Siemens із водяним охолодженням

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 відносно 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 масогабаритних показників, ілюструє порівняння залежностей питомого об'єму високовольтних перетворювачів серії PowerFlex фірми Rockwell Automation з примусовим повітряним охолодженням (елементна база – SGCT) та серії Simovert фірми Siemens з водяним охолодженням (елементна база – IGBT) (рис. 5).

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 побудовані на базі SGCT–тиристорів з примусовим повітряним охолодженням (рис. 5), характеризується питомим об'ємом приблизно у 0,00709 м³/кВт, а перетворювачі побудовані на базі IGBT з водяним охолодженням: 0,01039 м³/кВт, тобто питомий об'єм у  $\frac{0,01039}{0,00709} = 1,46$  раза більший.



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

## **Електропостачання та електроустаткування**

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 уперше коефіцієнти апроксимації залежностей питомого об'єму перетворювачів різних фірм та серій наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

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

Тип перетворювача	Коефіцієнти				
	$y_0$	$A_1$	$t_1$	$A_2$	$t_2$
Simovert 2,3...4,16 кВ (IGBT, примусове повітряне охолодження)	0,00169	0,00902	1089,60885	0,00482	1117,9204
Simovert 6...6,6 кВ (IGBT, примусове повітряне охолодження)	0,00562	0,01429	648,50927	0,01182	824,66319
Simovert 2,3...4,16 кВ (IGBT, водяне охолодження)	0,00207	0,01635	1006,46744	0,0012	384,17899
ACS800, ACS550 фірми АВВ (IGBT, природне повітряне охолодження)	0,00166	0,01073	169,83663	6,6956E-4	1,76393E13
PowerFlex фірми Rockwell Automation (елементна база – SGCT з примусовим повітряним охолодженням)	-0,00282	0,08631	192,20354	0,01336	2863,23183
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, IGBT–приладів у складі перетворювачів буде більш зручним ніж IGBT–приладів. Так використання SGCT тиристорів із примусовим повітряним охолодженням дозволяє зменшити питомий об'єм статичного перетворювача для асинхронного приводу приблизно в 1,5 раза, у порівнянні зі статичним перетворювачем, побудованим на базі IGBT–транзистора з водяним охолодженням.

При використанні IGBT–транзисторів у складі силових модулів тягового статичного перетворювача доцільно застосувати примусове водяне охолодження, яке дозволяє зменшити питомий об'єм перетворювача приблизно на 20% у порівнянні із системами, які мають 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, побудованих на базі тягових двигунів змінного струму.

### Список літератури

1. Структурна схема перспективного електровоза подвійного живлення / Л.В. Дубинець, Г.М. Чілікін, А.М. Муха // Зб. наук. праць Дніпродзер. держ. техн. ун-ту (технічні науки): тем. вип. "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика". – Дніпродзержинськ. – 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 // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. 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 // Гірн. електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2003. –Вип. 82. – С. 13 - 21.
4. Муха А.М. Втрати у магнітопроводі трифазного тягового трансформатора підвищеної частоти / А.М. Муха // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В.Лазаряна. – 2010. – №35. – С. 81 – 88.
5. Тягові електричні машини електрорухомого складу: навчальний посібник. / В.М. Безрученко, В.К. Варченко, В.В. Чумак / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту. зал. 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.

*Рекомендовано до друку проф. Костіним М.О.*