

УДК 621.313.333

О. М. Галіновський, канд. техн. наук, доц.; Є. М. Дубчак

## ЕЛЕКТРОМАШИНО-ВЕНТИЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ БЕЗКОНТАКТНИХ СИНХРОННИХ ТА АСИНХРОНІЗОВАНИХ КОМПЕНСАТОРІВ

*Розроблено принципову електричну схему реверсивної системи збудження безконтактного синхронного та асинхронізованого компенсатора, досліджено роботу асинхронізованого компенсатора у разі зміни ковзання.*

### Вступ

В електричних мережах для регулювання реактивної потужності застосовуються явнополюсні синхронні компенсатори (СК). Вони забезпечують стабілізацію напруги, покращують протікання динамічних режимів в мережах. На відміну від статичних компенсаторів СК не вносять завад у криві струмів та напруг системи. У СК з нереверсивним збудженням споживання реактивної потужності обмежується величиною  $Q = 1/x_d = 1/(1,5...2,5) = 0,4...0,66$  в. о., в СК з реверсивним збудженням  $Q \leq 0,8...0,85$  [1, 4, 5]. Оскільки СК з контактними кільцями мають низьку надійність роботи щітково-контактного вузла, СК виготовляють, в основному, безконтактними (БСК) [1, 4, 6].

У роботі [1] описано БСК з реверсивним збудженням. БСК має дві обмотки збудження, які підключені до двох збуджувачів. Магніторушійна сила (МРС) додаткової обмотки складає  $\approx 15\%$  МРС основної обмотки. БСК [3] мають один збуджувач та реверсивний тиристорний перетворювач (ТП). Струми к.з. обмежуються реакторами. Основний недолік БСК, який описаний в роботах [1, 3] — збільшенні вага та габарити. В реверсивному БСК [6] один збуджувач, одна обмотка збудження (без струмообмежуючого реактора), реверсивний ТП. Недолік БСК — дві керувальні машини. Актуальним є подальше вдосконалення БСК.

Неявнополюсний асинхронізований компенсатор АСК-100-4 має додаткову обмотку збудження по поперечній осі ротора [5]. МРС цієї обмотки складає  $6\%$  від МРС основної обмотки збудження. В робочому режимі ковзання АСК  $s = 0$ . Основні переваги АСК над СК: збільшення споживання реактивної потужності до номінальної; короткочасна видача (споживання) двохкратної (від номінальної) реактивної потужності в електричну мережу в динамічних режимах; висока швидкодія регулювання. Недолік АСК: наявність контактних кілець. Актуальною задачею є розробка безконтактних АСК (БАСК).

У роботах [4, 7, 8] наведено результати досліджень моделей трифазно-трифазних та багатофазно-трифазних електромашинно-вентильних перетворювачів (ЕМВП) безконтактних асинхронізованих машин (БАСМ). Показано, що при інфранізських частотах збудження БАСМ найкращу якість форми вихідної напруги та струму збудження забезпечують ЕМВП з модульованою вхідною напругою. При ковзанні БАСМ  $s \neq 0$  якісна робота ЕМВП забезпечується при навантаженні з  $\cos \varphi > 0,7$ . При зміні величини навантаження БАСК при  $s \neq 0$  кут навантаження ЕМВП може змінюватися на величину  $\Delta\varphi = 2\pi/3$  та більше [8]. Особливу увагу необхідно звернути на вибір величини ковзання в залежності від навантаження БАСК.

*Мета роботи* — вдосконалення реверсивних систем збудження безконтактних синхронних (БСК) та асинхронізованих компенсаторів (БАСК).

### Результати дослідження

Ця мета досягається розв'язанням таких задач: розробка принципової електричної схеми реверсивної системи збудження БСК та ЛАСК, дослідження роботи асинхронізованого компенсатора у разі зміни ковзання.

Принципова електрична схема БСК з реверсивною системою збудження показана на рис. 1.

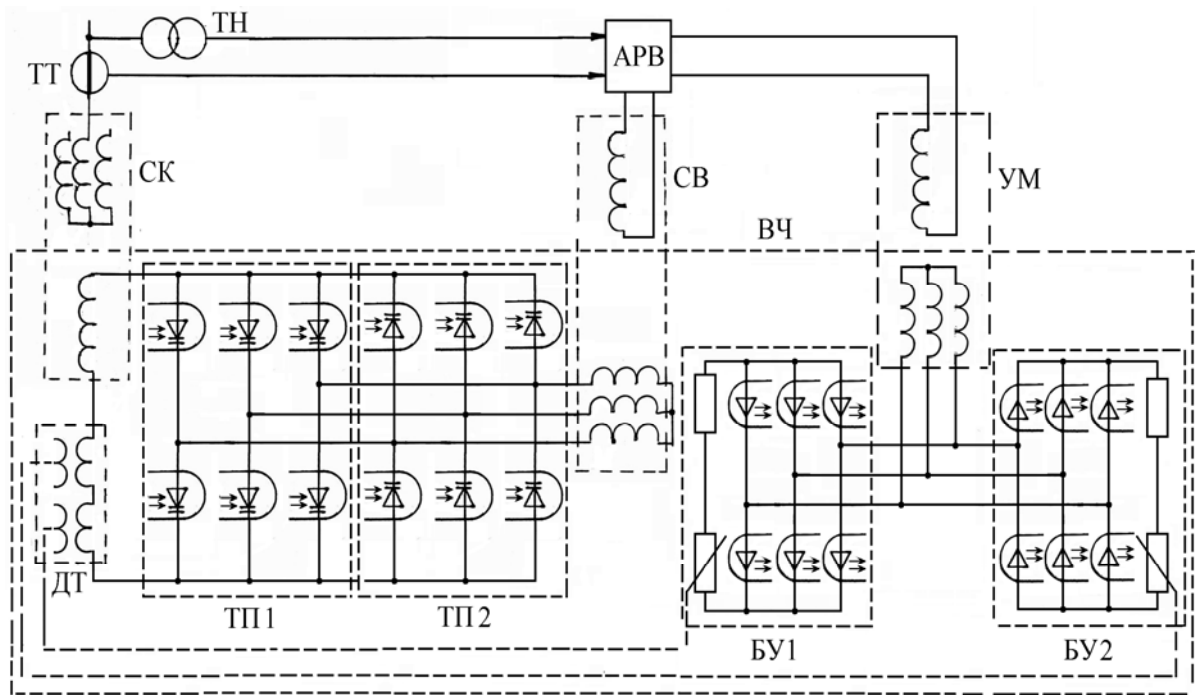


Рис. 1. Принципова електрична схема БСК з реверсивною системою збудження:

СК – основна електрична машина; СВ – синхронний збуджувач; УМ – керуюча машина; ТН, ТТ – трансформатори напруги та струму; АРВ – автоматичний регулятор збудження; ВЧ – частина, що обертається; ДТ – сенсор струму збудження СК; ТП1, ТП2 – прямий та зворотній блоки реверсивного тиристорного перетворювача (ТП); БУ1, БУ2 – блоки керування ТП. Кількість пар полюсів СВ та УМ однакові. Обмотка збудження СВ підключена до реверсивного джерела постійного струму, а обмотка збудження УМ – до нереверсивного джерела

Застосовується комбінований спосіб керування ТП [2], за яким сумісне керування зустрічно ввімкненими тиристорами здійснюється при струмі збудження, меншому стуму уставки, а роздільне – в інших випадках. В кожному випадку сигнал керування подається з випередженням.

Надійність роботи реверсивних ТП з комбінованим способом керування підтверджується результатами досліджень фізичних та математичних моделей електромашинно-вентильних перетворювачів [4, 7, 8].

БАСК з малопотужною поперечною обмоткою ротора розробляється на базі БСК з реверсивною системою збудження.

БАСК з симетричною обмоткою ротора. На рис. 2а показана схема заміщення основної електричної машини БАСК (далі АК), де  $r_1, x_1, r_2, x_2$  – активні опори та опори розсіювання обмоток АМ;  $r_m, x_m$  – параметри намагнічуючого контуру (н. к.);  $U_{1c}, I_1$  – напруга первинної мережі та струм статора;  $U_{2c}, I_2$  – напруга вторинної мережі та струм ротора;  $E_\delta$  – результуюча ЕРС повітряного зазору;  $I_\delta, I_{\delta_a}, I_{\delta_r}$  – струм н. к., активна та реактивна його складові. Параметри ротора зведені до статора.

Рівняння напруг та намагнічувальних сил

$$\begin{cases} \dot{U}_{1c} + \dot{E}_\delta - j\dot{I}_1 x_1 - \dot{I}_1 r_1 = 0; \\ \frac{\dot{U}_{2c}}{s} + \dot{E}_\delta - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 \cdot \frac{r_2}{s} = 0; \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_\delta. \end{cases}$$

Векторні діаграми напруг та струмів АСК під час роботи у режимі споживання номінальної реактивної потужності показані на рис. 2б. На рис. 2с показано визначення напруги  $U_{2c+}$  та  $U_{2c-}$  при позитивному та негативному ковзаннях.

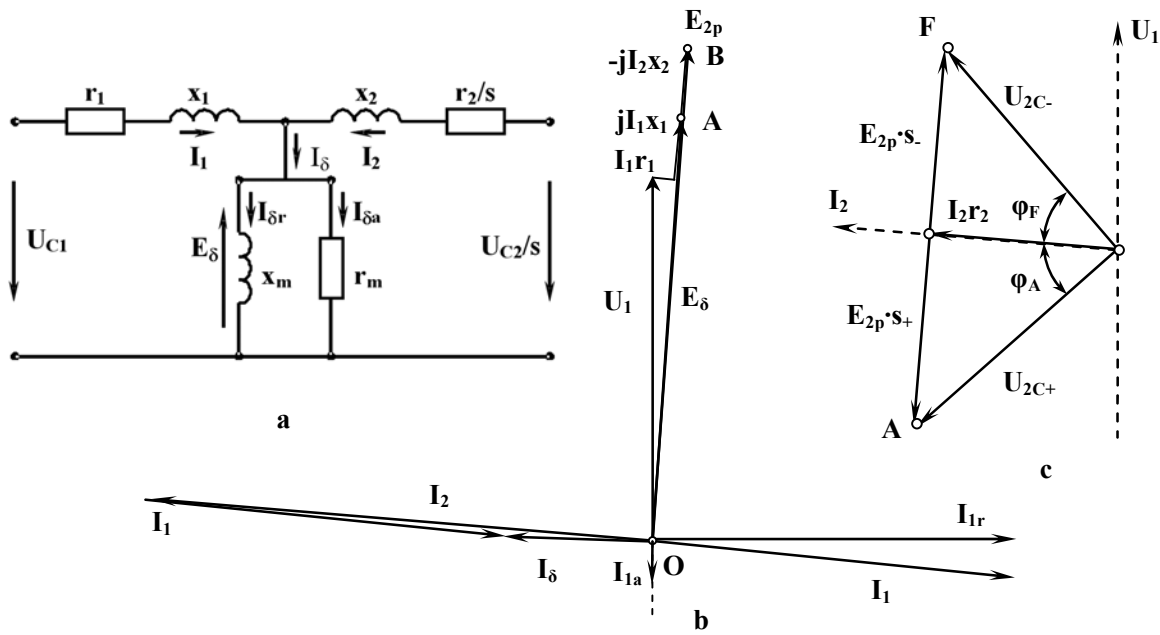


Рис. 2. Схема заміщення та векторні діаграми АСК при споживанні номінальної реактивної потужності

Проведемо аналіз роботи АСК при реактивній складовій струму статора:  $I_{1r} = -1 \dots 1$ .

Параметри схеми заміщення:  $r_1 = 0,015$ ;  $x_1 = 0,065$ ;  $r_2 = 0,01$ ;  $x_2 = 0,093$ ;  $r_m = 300$ . Всі величини у в. о.

Втрати в обмотках статора та ротора:  $p_{m1} = I_1^2 \cdot r_1$ ;  $p_{m2} = I_2^2 \cdot r_2$ . Механічні втрати  $p_{mx} = 0,05$ . Додаткові втрати при номінальному струмі статора  $p_{дN} = 0,005$ . Активна складова струму статора  $I_{1a} = p_{m1} + i_{m2} + p_m + p_{mx} + p_d$ , де  $p_m$  – основні магнітні втрати,  $p_d = I_1^2 \cdot p_{дN}$ .

На рис. 3 показані залежності струмів  $I_{\delta r}$ ,  $I_2$ , напруги  $U_2$ , кута  $\varphi_2$  та потужності  $S_2$  від струму  $I_{1r}$ , розраховані при ковзаннях: 1.  $s_1 = 0,002$ ; 2.  $s_2 = 0,001$ ; 3.  $s_0 = 0$ ; 4.  $s_4 = -0,001$ ; 5.  $s_5 = -0,002$ ; 6.  $s_6 = 0,01$ ; 7.  $s_7 = 0,02$ ; 8.  $s_8 = -0,02$ .

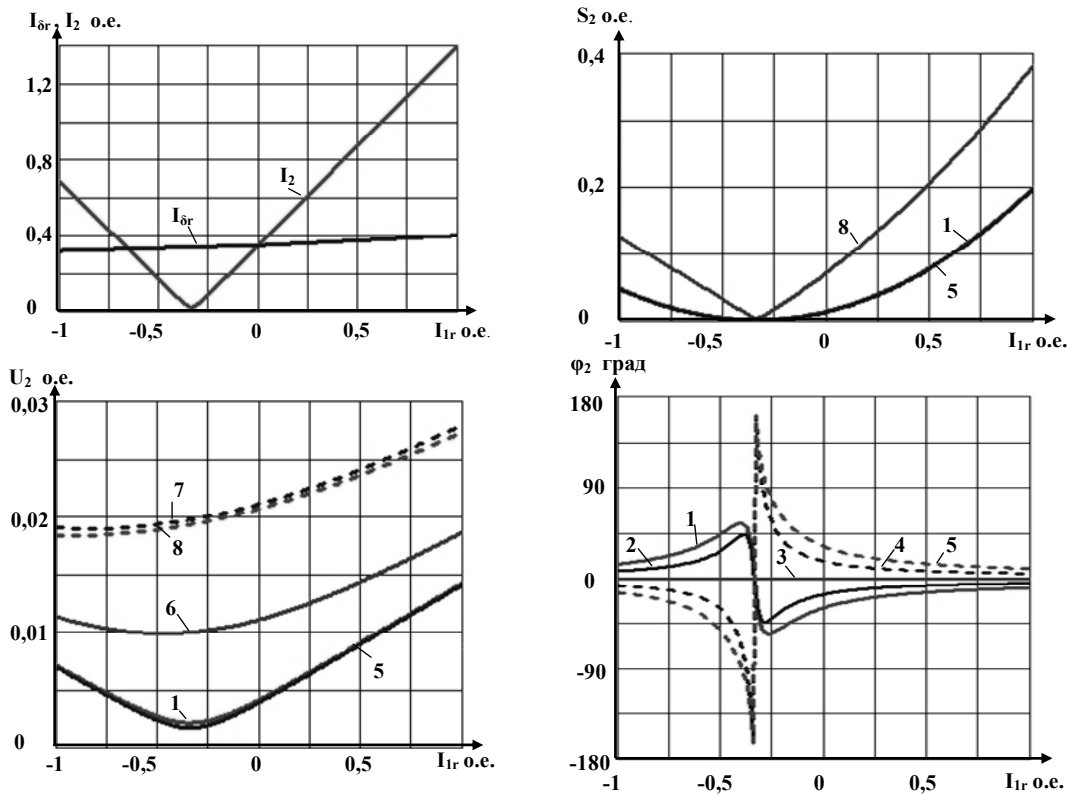


Рис. 3. Залежності струму  $I_r$  та вихідних параметрів НІЧЕМ від величини  $I_{1r}$  та  $s$

Аналіз результатів досліджень показує (див. рис. 3):

- знак ковзання АСК суттєво впливає на величину кута ( $\varphi_2$ ) між векторами напруги та струму навантажування перетворювача;
- в зоні мінімальної величини струму  $I_2$ , якщо  $s \neq 0$  спостерігається різка зміна кута  $\varphi_2$ ;
- величина кута  $\varphi_2$  змінюється більше під час роботи СК з від'ємним ковзанням;
- розрахункова (найбільша) потужність ( $S_2$ ) перетворювача практично не змінюється в діапазоні ковзання  $s = 0,002 \dots -0,002$ , суттєве збільшення розрахункової потужності перетворювача настає коли  $|s| > 0,01$ .

### Висновки

1. Розроблена принципова електрична схема реверсивної системи збудження безконтактного синхронного компенсатора (БСК) явноплюсного типу на базі одного синхронного збуджувач та однієї керуючої машини.
2. Схема реверсивної системи збудження БСК з одноосним збудженням може бути застосована при розробці безконтактного асинхронізованого компенсатора (БАСК) неявноплюсного виконання з малопотужною поперечною обмоткою збудження.
3. Найбільшу розрахункову потужність (за однакових масогабаритних показників) має БАСК з трифазною обмоткою збудження. У таких БАСК доцільно застосовувати систему збудження на базі безпосередніх перетворювачів частоти з природною комутацією та модульованою вхідною напругою. Рекомендується робота БАСК при ковзаннях:  $s = 0$  в режимі споживання реактивної потужності;  $s > 0$  в режимі видачі реактивної потужності.
4. Враховуючи актуальність широкого впровадження БАСК, доцільними є розробка, виготовлення та багатопланове дослідження установок та дослідно-промислових зразків БАСК.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пекне В. З. Синхронные компенсаторы (конструкция, монтаж, испытания и эксплуатация) / В. З. Пекне. — М. : Энергия. 1980. — 272 с.
2. А. с. СССР № 1339821. Способ комбинированного управления тиристорным преобразователем частоты / Галиновский А. М., Дубчак Е. М. ; опубл. 1987, Бюл. № 35.
3. А. с. №1356130(СССР) Синхронная машина с бесщеточной реверсивной системой возбуждения / Ю. В. Зозулин, Ю. Е. Савельев, В. В. Кузьмин ; опубл. 1987, Бюл. № 44.
4. Исследование моделей трехфазно-однофазных и трехфазно-трехфазных возбудителей бесконтактных машин двойного питания / [Галиновский А. М., Дубчак Е. М., Цюрила М. А., Ленская Е. А.] // Гидроэнергетика Украины. — 2006. — № 4. — С. 36—43.
5. Карташова Т. Н. Асинхронизированные неявнополюсные компенсаторы [Электронный ресурс] / [Карташова Т. Н., Кийло О. Л., Антонюк О. В. и др.] 15 января 2010 г., 09:33. — Режим доступа : <http://neftegaz.ru/science/view/600>.
6. Патент України : Пристрій реверсивного безщіткового збудження синхронного компенсатора / О. М. Галиновський, О. О. Ленська, Є. М. Дубчак, Ю. Ю. Савельєв / Патент на корисну модель № 22001, у 2006 11764, Опубл. 10.04.2007. Бюл. № 4.
7. Галиновский А. М. Электромашинно-вентильные преобразователи машин двойного питания (часть 1) / А. М. Галиновский, Е. М. Дубчак, Е. А. Ленская // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. — 2010. — № 84. — С. 218—227.
8. Галиновский А. М. Электромашинно-вентильные преобразователи машин двойного питания (часть 2) / А. М. Галиновский, Е. М. Дубчак, Е. А. Ленская // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. — 2010. — № 85. — С. 159—169.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11  
Рекомендована до друку 25.11.11

**Галиновський Олександр** — доцент, **Дубчак Євгеній Михайлович** — старший викладач.

Кафедра електромеханіки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ