

## РЕГУЛЮВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З КОМПЕНСАЦІЄЮ РЕАКЦІЇ ЯКОРЯ

**Вступ.** Системи збудження (СЗ) синхронних електроприводів, залежно від вимог, забезпечують регулювання коефіцієнта потужності, кута навантаження (перевантажувальної здатності) та захист від випадання з синхронізму синхронної машини (СМ). Особливістю СЗ з компенсацією реакції якоря (з компаундуванням) є наявність в силовій схемі додаткового контуру, що забезпечує добавку до струму збудження складової, пропорційної струму статора.

Регулювання збудження здійснюється за відомими принципами керування: за відхиленням (для СЗ з автоматичними регуляторами збудження АРЗ), за збуренням (СЗ з компаундуванням без АРЗ) і при використанні комбінованого принципу керування (СЗ з АРЗ і з компаундуванням). До складу СЗ СМ, побудованих на принципі керування за відхиленням (рис. 1, а), входять керований випрямляч (КВ), що живиться від трансформатора напруги ТН, та АРЗ, який, в даному випадку, забезпечує підтримання заданого коефіцієнта потужності статора і обмеження кута навантаження  $\theta$ . Системи збудження з компенсацією реакції якоря містять контур компаундування, який складається з трансформаторів струму ТС та некерованого випрямляча (НВ) В2, вихідний струм якого алгебраїчно додається до нерегульованого (рис. 1.б – регулювання за збуренням), або регульованого (рис. 1.в – комбіноване регулювання за збуренням і за відхиленням) струму збудження СМ.

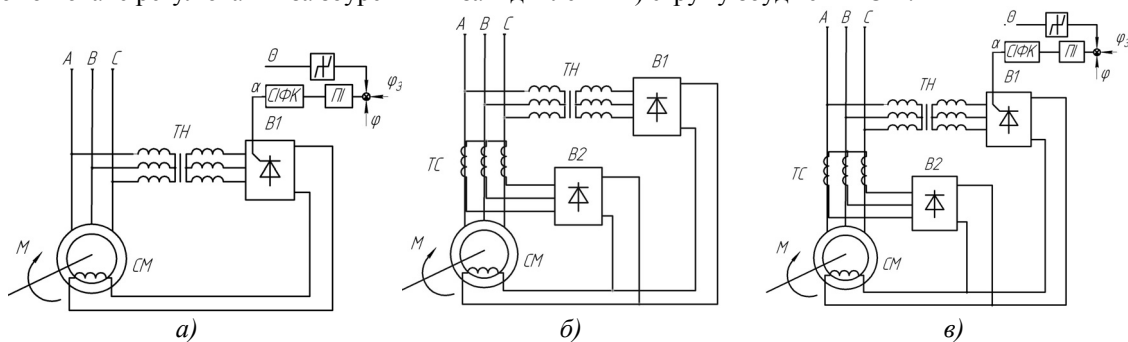


Рис. 1. Схеми систем збудження синхронних електроприводів

**Завдання дослідження** - проаналізувати електромагнітні та електромеханічні процеси в синхронних електроприводах з різними принципами регулювання збудження, в тому числі з компенсацією реакції якоря синхронної машини, методом математичного моделювання.

**Результати досліджень.** Математичні моделі описаних вище систем збудження СМ було створено на основі теорії математичного моделювання електромашинно-вентильних систем [1] з застосуванням методу середньокрокових напруг [2] та об'єктно-орієнтованого методу [3]. Контур компаундування в математичних моделях схем, представлених на рис. 3.б та рис. 3.в, реалізовано згідно з принципами описаними в [4].

Параметри СМ, які використовувалися під час розрахунків:  $U_1 = 10,5$  кВ,  $P = 100$  МВт,  $I_1 = 5000$  А, номінальний струм збудження  $I_{fn} = 1500$  А,  $L_d = 0,00536$  Гн,  $L_{ad} = 0,0048$  Гн. Параметри ПІ-регулятора, що використовується в схемах, показаних на рис. 3.а та рис. 3.в –  $K=50$ ,  $T=0.04$ . Параметри кола компаундування для схем, представлених на рис.3.б та рис. 3.в: коефіцієнт трансформації ТС  $K_{TC} = 7$ , внутрішній опір кола збудження  $R_w = 2 \cdot R_f$ .

Дослідження електромагнітних та електромеханічних процесів в синхронних електроприводах проводились для режиму завантаження синхронного двигуна та для режиму 10% зниження напруги мережі. Задачею регулювання було підтримання  $\cos\varphi_3 = 1$ . Результати досліджень показано на рис. 2 (на 30 с здійснюється накид номінального навантаження). При регулюванні коефіцієнта потужності синхронної машини ( $\cos\varphi_3=1$ ) найкращі характеристики з точки зору швидкодії регулювання має схема з контуром компаундування та регулятором збудження (рис. 3, в). Зокрема, час перехідного процесу в такій схемі в 3 рази менший в порівнянні зі схемою, де є лише регулятор збудження (рис. 3, а) (табл. 1). Статична похибка регулювання відсутня в обох системах, де є ПІ-регулятор збудження.

Схема з контуром компаундування і без АРЗ (рис. 3, б) має дещо гірші характеристики (що однак не впливає суттєво на основні показники роботи приводу). Зокрема більшою є динамічна похибка регулювання, час регулювання, а також є незначна статична похибка (дані зведено в табл. 1).

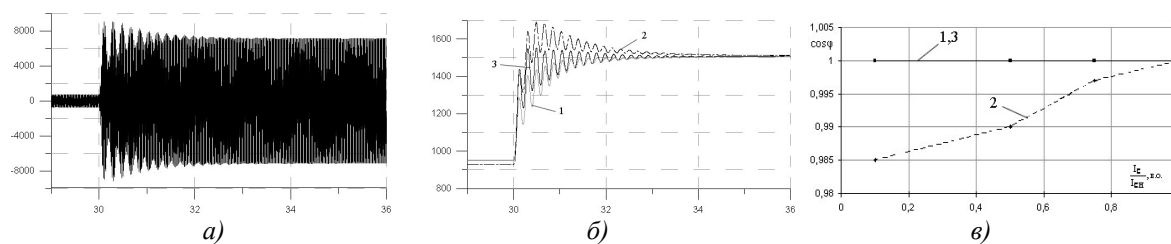


Рис. 2. Струм статора (а) та струм збудження (б) СМ в режимі завантаження, статична характеристика коефіцієнта потужності (в): 1 – схема рис.1.а, 2 – рис.1.б, 3 - рис.1.в.

Результати досліджень для режиму просадки напруги мережі показали, що найкращі характеристики з точки зору швидкодії та статичної точності регулювання забезпечує схема з контуром компаундування та регулятором збудження (табл. 1).

Табл. 1

Режими роботи	Номінальне завантаження синхронної машини			10% зменшення напруги мережі		
	Статична похибка регулювання %	Динамічна похибка регулювання %	Час регулювання, с	Статична похибка регулювання %	Динамічна похибка регулювання %	Час регулювання, с
Схема з КВ	0	0,1	3 с	0	12,5	3 с
Схема з НВ і КК	1.5	3	4 с	0,5	13	5 с
Схема з КВ і КК	0	0,8	1 с	0	12,5	1 с

У всіх варіантах систем збудження, що розглядалися, спостерігаються коливання в перехідних режимах, які можна зменшити введенням в систему автоматичного регулювання збудження гнучкого зворотного зв'язку за струмом збудження. Як показали результати досліджень, це дозволяє зменшити пульсації струму збудження в перехідних режимах завантаження СМ, що в свою чергу зменшує і динамічну похибку регулювання (для системи з контуром компаундування та АРЗ в 1.3 рази, а для системи з АРЗ без контуру компаундування в 1.1 рази).

**Висновки.** 1. Найкращі регульовальні характеристики точки зору швидкодії та статичної точності регулювання притаманні системі збудження з АРЗ та контуром компаундування (компенсації реакції якоря), яка реалізує комбінований принцип регулювання: за збуренням і за відхиленням.

2. Системи збудження з компаундуванням без застосування керованих випрямлячів та автоматичних регуляторів збудження забезпечують дещо гірші, у порівнянні з системами з АРЗ, регульовальні характеристики, які однак можна вважати задовільними. Для потужних синхронних електроприводів, які, в основному, працюють в усталених режимах, відмінності, які проявляються в перехідних режимах не мають суттєвого впливу на показники роботи електроприводу.

3. Введення гнучкого зворотного зв'язку за струмом збудження синхронного двигуна в системах збудження з АРЗ дозволяє зменшити пульсації струму збудження в перехідному режимі, що в свою чергу дозволяє зменшити динамічну похибку регулювання в режимах зміни навантаження.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашинно-вентильных систем / Плахтына Е.Г. – Л.: Вища шк. изд-во при Львов. ун-те, 1986 – 161с.
2. Плахтына О.Г. «Числовий однокроковий метод аналізу електричних кіл і його застосування в задачах електромеханіки», Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008, № 30. – С. 223 – 225.
3. Куцук А.С. Об'єктно-орієнтований метод аналізу електромеханічних систем // Технічна електродинаміка. – 2006. – №.2. – С. 57 - 63.
4. Семенюк М. Б. Математична модель турбогенераторної установки з компенсацією реакції якоря / Семенюк М. Б. // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Електроенергетичні та електромеханічні системи». – №615. – Львів, 2008. – С. 126 –132.