

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ БАЛАНСУ РЕАКТИВНОЇ
ПОТУЖНОСТІ НА ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЯХ**

Дорош Є.М.

Актуальність

Під час створення ринку послуг з регулювання реактивної потужності і напруги постають перед неоднозначним розумінням того, що саме є послугою, яку надають і яку отримують, хто повинен бути її продавцем або покупцем. Це зумовлено як специфікою фізичної суті реактивної потужності, так і особливостями її генерування та споживання й можливостями локального регулювання рівнів напруги в мережі. При цьому недостатня оснащеність засобами компенсації реактивної потужності призводить до труднощів у регулюванні напруги в окремих вузлах ЕЕС. Незадовільний стан засобів компенсації реактивної потужності в окремих вузлах електричної мережі призводить до того, що генератори електростанцій стають фактично єдиним ефективним засобом підтримки припустимих рівнів напруги в цих вузлах і прилеглих до них ділянок мережі. Будучи основним джерелом реактивної потужності в ЕЕС, генератори електростанцій водночас є важливим засобом регулювання напруги. У ринкових умовах регулювання напруги й реактивної потужності складають суть послуг, які надають для створення нормальних умов електропостачання.

- **Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є вдосконалення методів прийняття рішень в задачах планування режимів електричних станцій за напругою.
- Відповідно до поставленої мети в роботі розв'язуються такі задачі:
 - – аналіз проблеми в цілому;
 - – аналіз методів та засобів регулювання напруги на електричних станціях;
 - – вдосконалення існуючих методів визначення можливостей конкретної електричної станції в забезпеченні графіка зміни напруги на її затискачах;
 - – перевірка можливості використання розроблених моделей шляхом моделювання роботи систем збудження генераторів в середовищі Matlab.
- **Об'єктом дослідження** магістерської роботи є процеси у електроенергетичних системах пов'язані з виробітком, передачею і споживанням реактивної потужності, а **предметом дослідження** – методи та засоби забезпечення балансу реактивної потужності в електроенергетичній системі.
- **Методи проектування.** У роботі використовувалися графо-аналітичний, і аналітичний методи, методи математичного моделювання на основі диференційних рівнянь.
- **Наукова новизна одержаних результатів.**
 - – Набув подальшого розвитку графо-аналітичний метод за рахунок врахування характеристик систем збудження синхронних генераторів, що дозволило розраховувати можливості регулювання напруги на електричній станції за рахунок впливу на баланс реактивної потужності в електроенергетичній системі.
- **Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що:
 - – проведене в роботі математичне моделювання дозволило обґрунтувати можливість застосування лінеаризованих моделей систем збудження синхронних генераторів, які можна врахувати в графо-аналітичному методі і отримати відносно не складний апарат для аналізу можливостей електричних станцій в задачі регулювання напруги в електроенергетичній системі.

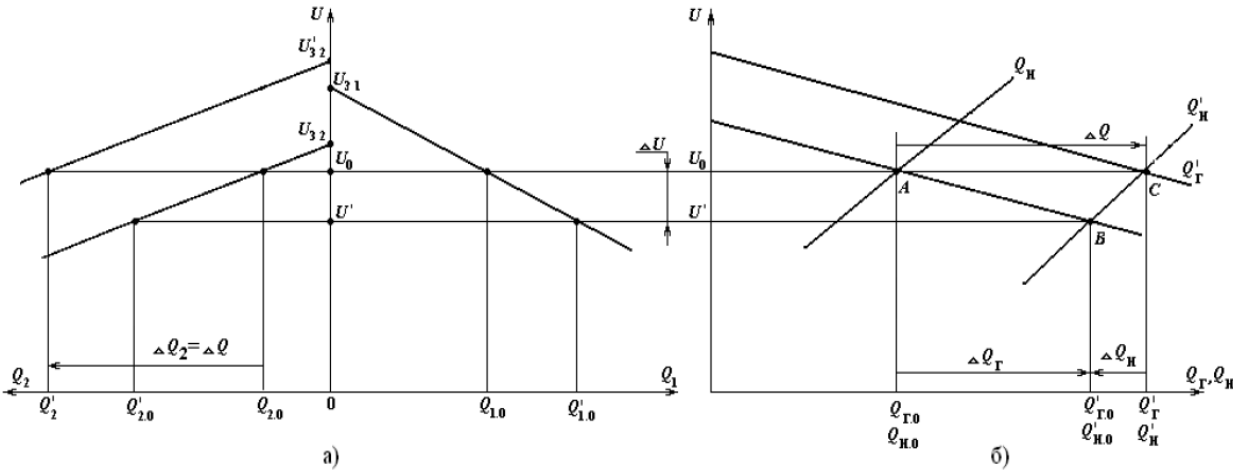
Тому необхідно розв'язати такі задачі:

- аналіз можливостей електричних станцій в регулюванні балансу реактивної потужності ЕЕС;
- аналіз систем автоматичного регулювання збудження з огляду на розв'язання задачі підтримання балансу реактивної потужності;
- розроблення методу оцінювання можливості генераторів електричних станцій в забезпеченні балансу реактивної потужності.

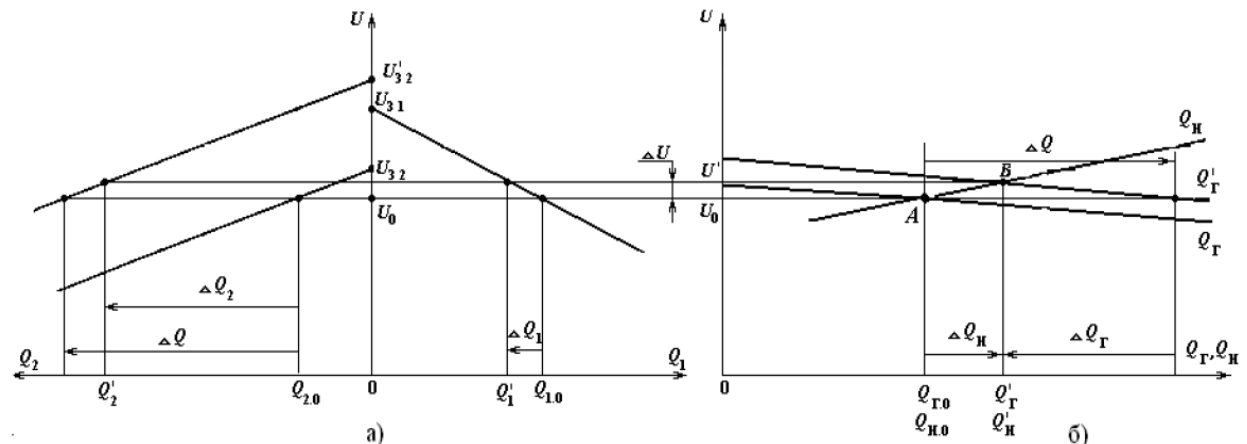
За наявності на електричній станції декількох паралельно працюючих СГ виникає необхідність у вирішенні таких задач:

- Автоматичний розподіл реактивної потужності станції між паралельно працюючими СГ;
- Керування реактивною потужністю електричної станції по умовам режимів роботи електроенергетичної системи;
- Автоматичне регулювання напруги на шинах електричної станції.

Керування реактивною потужністю синхронного генератора шляхом зміни уставки АРЗ :



Статичні характеристики генераторів (а) і станції з навантаженням (б) до і після зміни уставки АРЗ одного з генераторів



Зміна реактивної потужності і напруги генераторів (а) і станції (б) шляхом зміни уставки АРЗ одного з генераторів

Групове керування збудженням синхронних генераторів

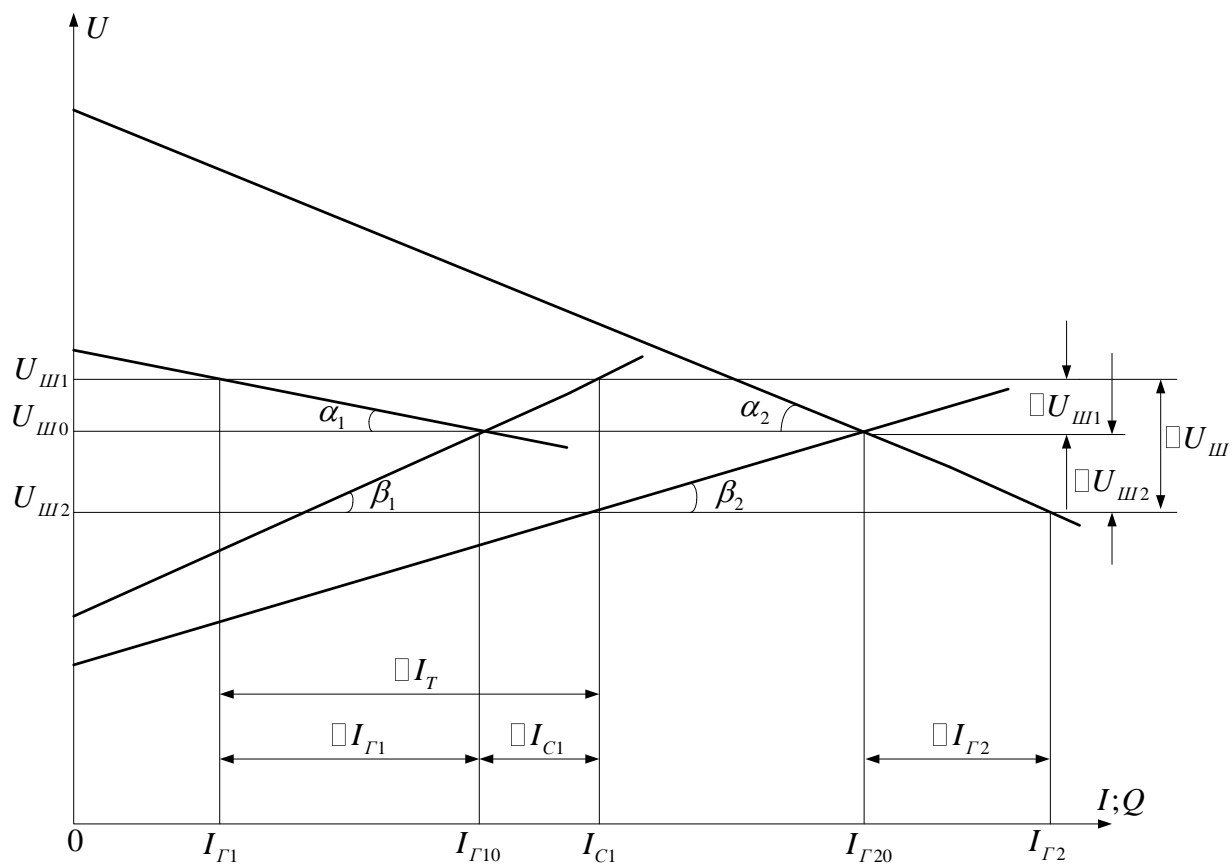
На ГКЗ в основному покладаються дві функції:

- регулювання напруги на шинах електростанції;
- розподіл реактивної потужності між генераторами.

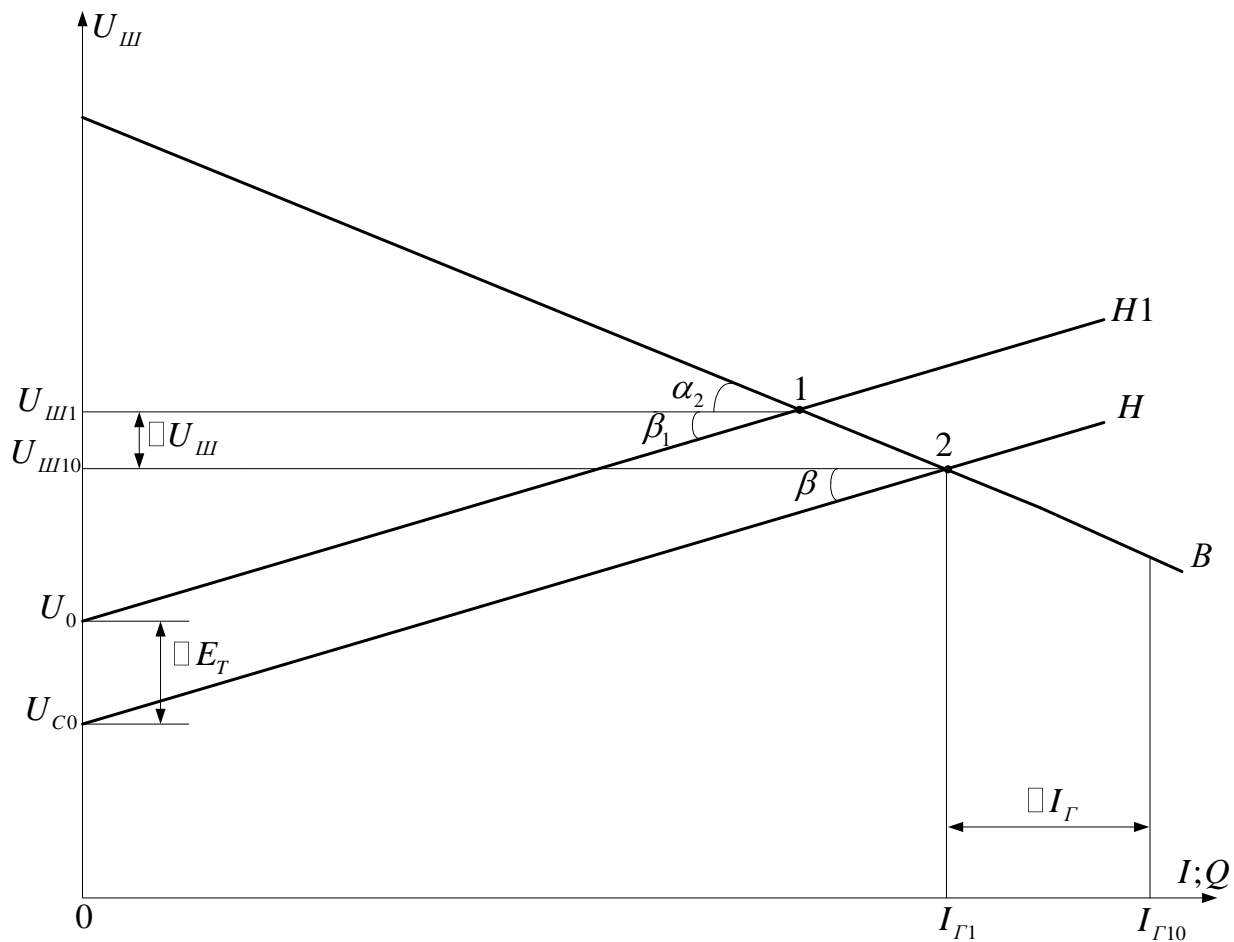
За способом регулювання напруги системи ГКЗ можна розділити на два види:

- системи, в яких автоматичне регулювання напруги СГ проводиться індивідуальними для кожного СГ пристроями АРЗ, а центральний пристрій здійснює лише автоматичну зміну уставок індивідуальних регуляторів;
- системи, в яких автоматичне регулювання збудження СГ здійснюється центральним регулятором напруги (ЦРН) при відсутності індивідуальних АРЗ або при використанні тільки підсилювальних та виконавчих органів цих АРЗ в якості виконавчих блоків, що реалізують регулюючі дії ЦРН.

Режимна діаграма для графо-аналітичного розрахунку ефекту регулювання



Графічний розрахунок ефекту регулювання напруги на шинах станції трансформаторами з РПН



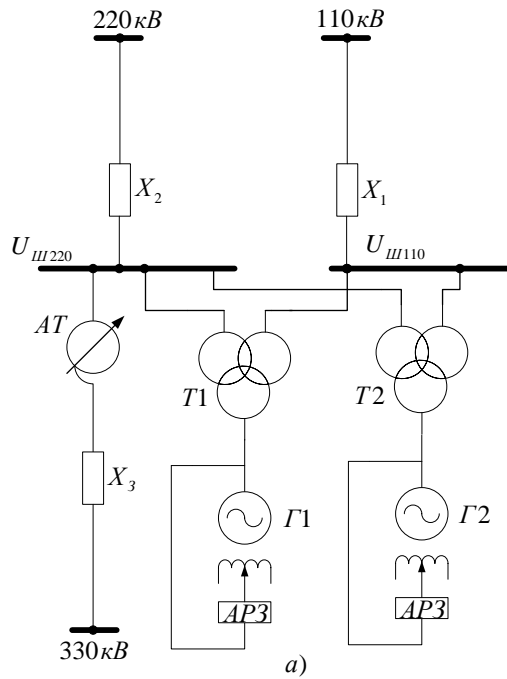
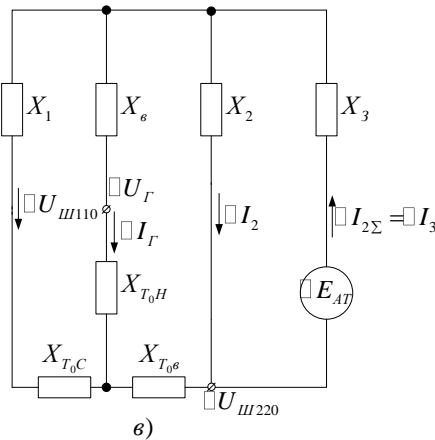
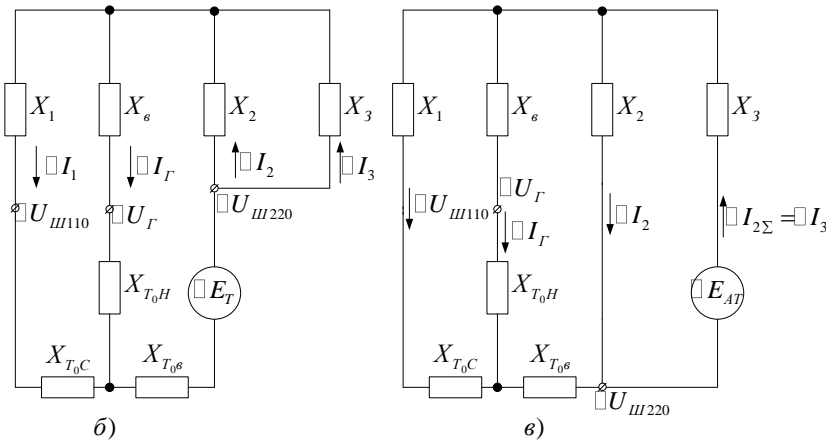


Схема для розрахунку системи регулювання напруги
 а – первинна схема; б – розрахункова схема заміщення для випадку регулювання коефіцієнта трансформації трансформаторів ; в – розрахункова схема заміщення для випадку регулювання коефіцієнта трансформації автотрансформатора.



Вихідні дані для розрахунку ефекту

Найменування параметра	Трансформатор T	Автотрансформатор AT	Генератор G
Потужність S , МВА	120	240	50
Напруга U , кВ	242/121/10,5	242/330	10,5
Напруга короткого замикання U_K , %	14(ВН) 8(СН) 0(НН)	7,18	-
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	-	-	0,8
Синхронний реактивний опір X_d , %	-	-	140
Величина ступеня РПН $\Delta U_{СТ}$, %	1,25	1,25	-
Число ступенів РПН n	20	20	-
Регульовальна ЕРС ΔE , відн.од.	0,25	0,066	-

Параметри розрахункової схеми заміщення

Параметри		Позначення	Величина	
Коефіцієнт статизму навантажувальної характеристики (кВ/МВАр) на шинах 110 кВ		δ_{H110}	0,06	
		δ_{H220}	1,4	
		δ_{H330}	0,62	
Коефіцієнт статизму зовнішньої характеристики відносно шин 110 кВ, кВ/МВАр		δ_a	0,005	
Опір розрахункової схеми заміщення, відн. од.	Коло навантаження мережі, кВ	110	X_1	0,13
		220	X_2	1,45
		330	X_3	0,45
	Коло генератора Г1(Г2)	АРЗ увімкнено	X'_a	0,12
		АРЗ вимкнено	X''_a	3,35
	Коло трансформатора Т1(Т2)	ВН	$X_{T,a}$	0,28
		СН	$X_{T,c}$	0,16
		НН	$X_{T,n}$	0
	Коло автотрансформатора АТ	-	X_{AT}	0,07

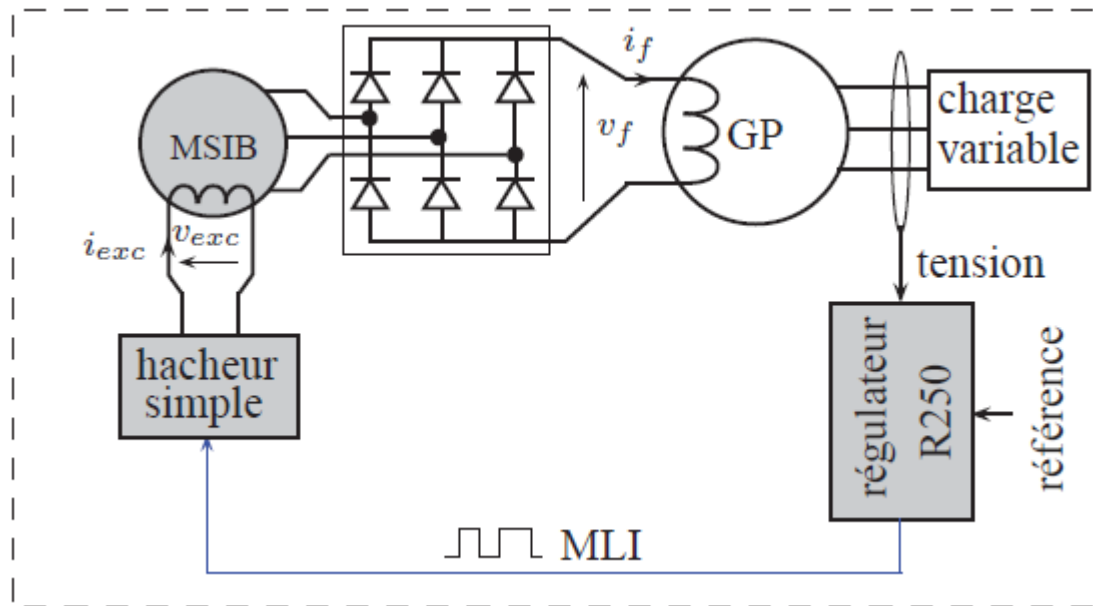
Результати розрахунку ефекту регулювання

Параметри		Засіб регулювання			
		Трансформатор		Автотрансформатор	
		АРЗ увімкнений	АРЗ вимкнений	АРЗ увімкнений	АРЗ вимкнений
Розрахункові значення регулювальної ЕРС, відн.од.		0,25	0,25	0,066	0,066
Сумарний опір схеми заміщення, відн. од.		0,668	0,668	0,689	0,724
Приріст струму, відн. од.	В мережі:				
	110 кВ	0,16	0,35	0	0
	220 кВ	0,105	0,09	0,014	0,017
	330 кВ	0,34	0,285	0,104	0,091
	В колі генератора	0,265	0,025	0	0
Приріст реактивної потужності, МВАр	В мережі:				
	110 кВ	39	84	0	0
	220 кВ	25	21	3,4	4
	330 кВ	82	69	25	22
	В колі генератора	62	6	0	0
Приріст напруги на шинах, %	110 кВ	2,1	4,6	0	0
	220 кВ	15,3	13	2	2,5
	330 кВ	15	12,8	6	6

Розрахунок і експериментальна перевірка ефекту регулювання коефіцієнта трансформації станційних трансформаторів Т1 і Т2

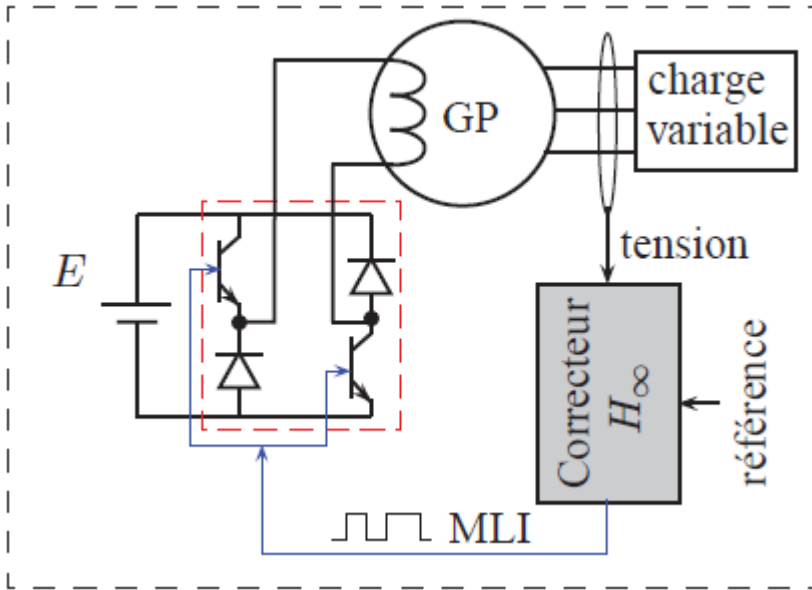
Умови дослідів	$\Delta Q_{110},$ <i>МВАр</i>		$\Delta U_{110},\%$		$\Delta Q_{220},$ <i>МВАр</i>		$\Delta U_{220},\%$		$\Delta Q_{330},$ <i>МВАр</i>		$\Delta U_{330},\%$		Примітка
	розр	досл	розр	досл	розр	досл	розр	досл	розр	досл	розр	досл	
Генератор Г1 вимкнений вимикачем на стороні генераторної напруги	53	48,5	3,5	3,5	24	20	13	11,2	32	40	1,9	1,4	Без АРЗ
	33	-	2,2	2,5	26	-	14	12,3	44	50	27	24	Без АРЗ
Нормальна схема станції	48	45,5	3,2	2,3	24	31	13	12	31	25,5	1,8	2,0	Без АРЗ
	22	26	1,5	2,7	29	32	15,6	13	37,6	35	22	17	3 АРЗ

Види і режими роботи систем збудження генератора

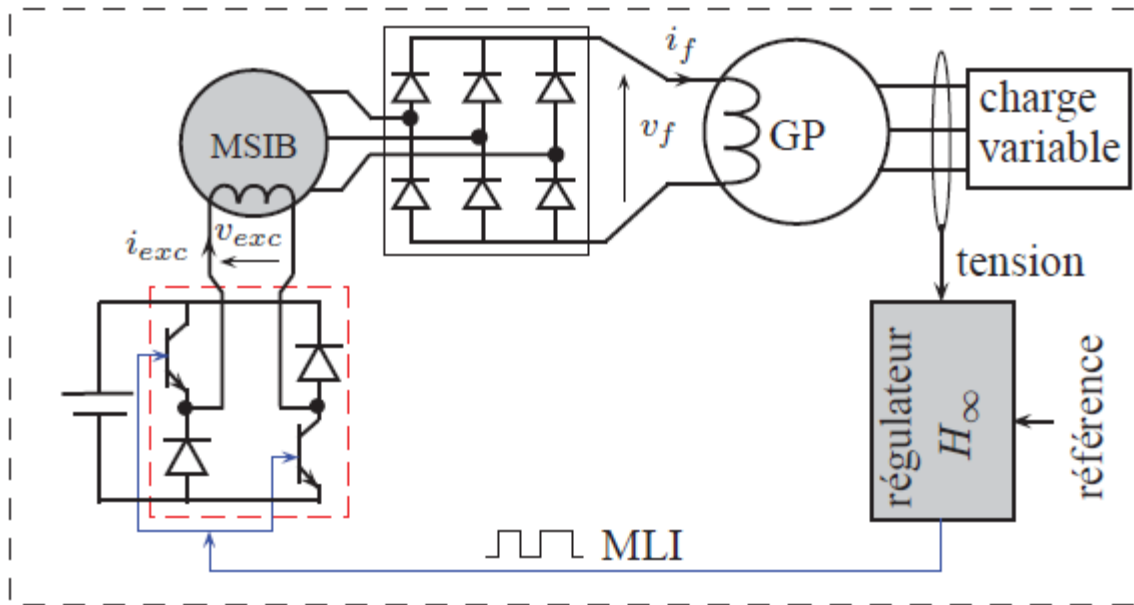


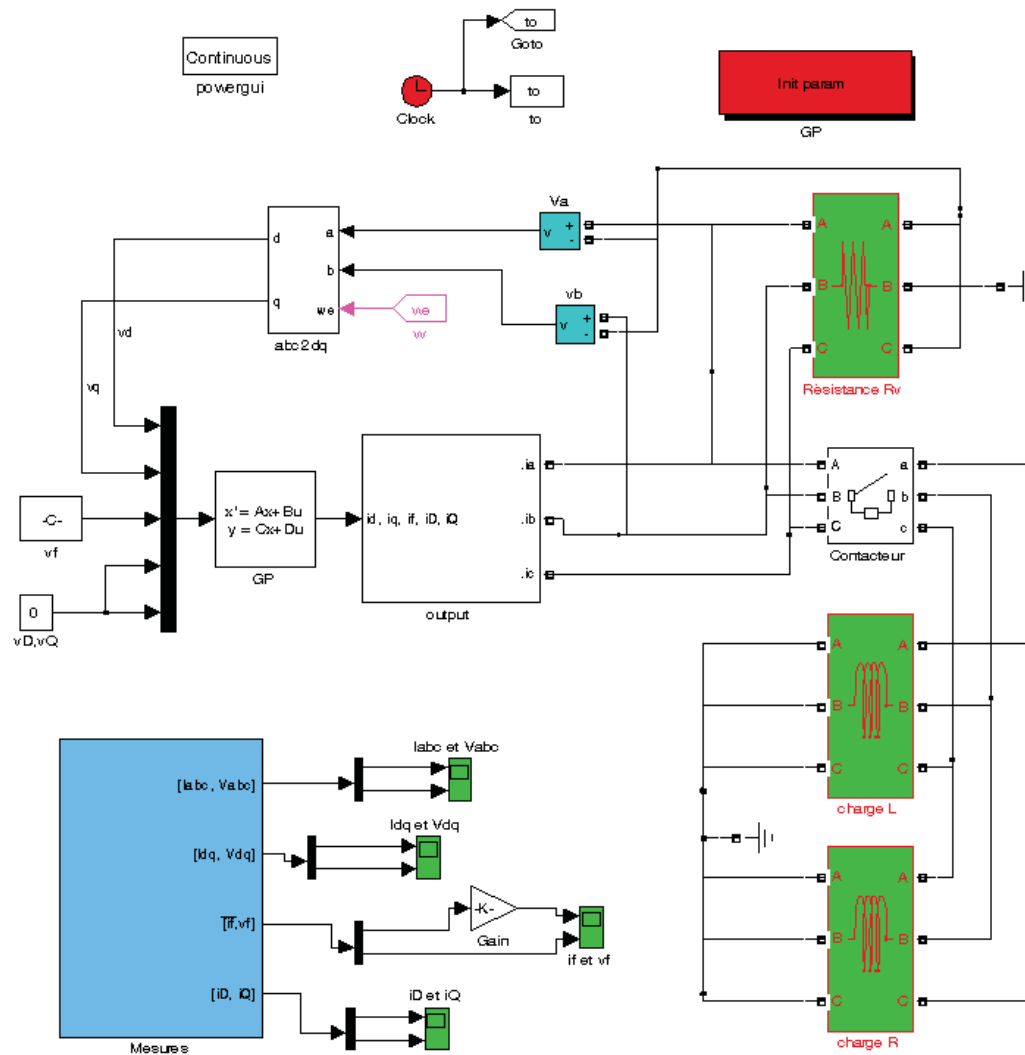
Звичайні системи збудження

Структура ідеальної системи збудження

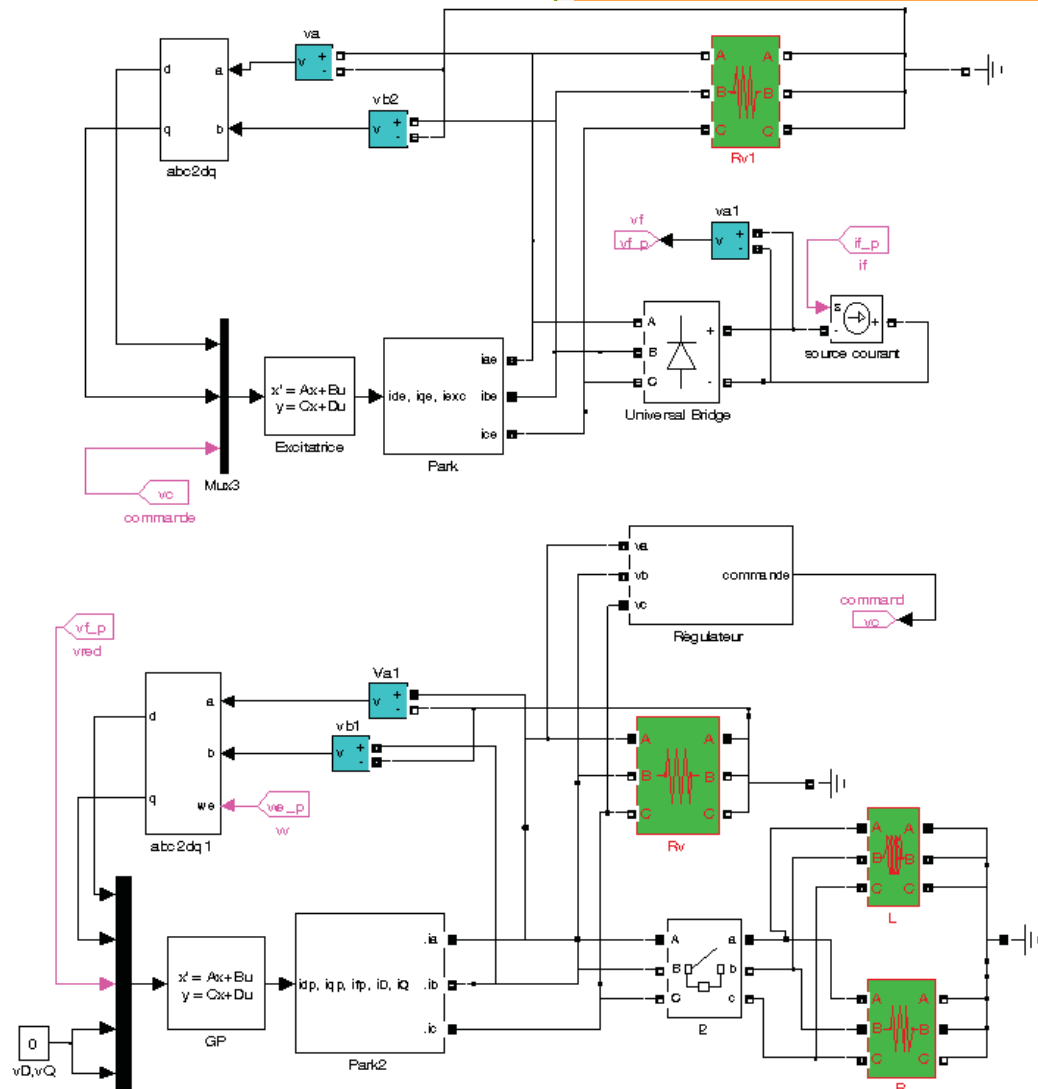


Структура класичної системи збудження з допомогою регулятора H_{∞}



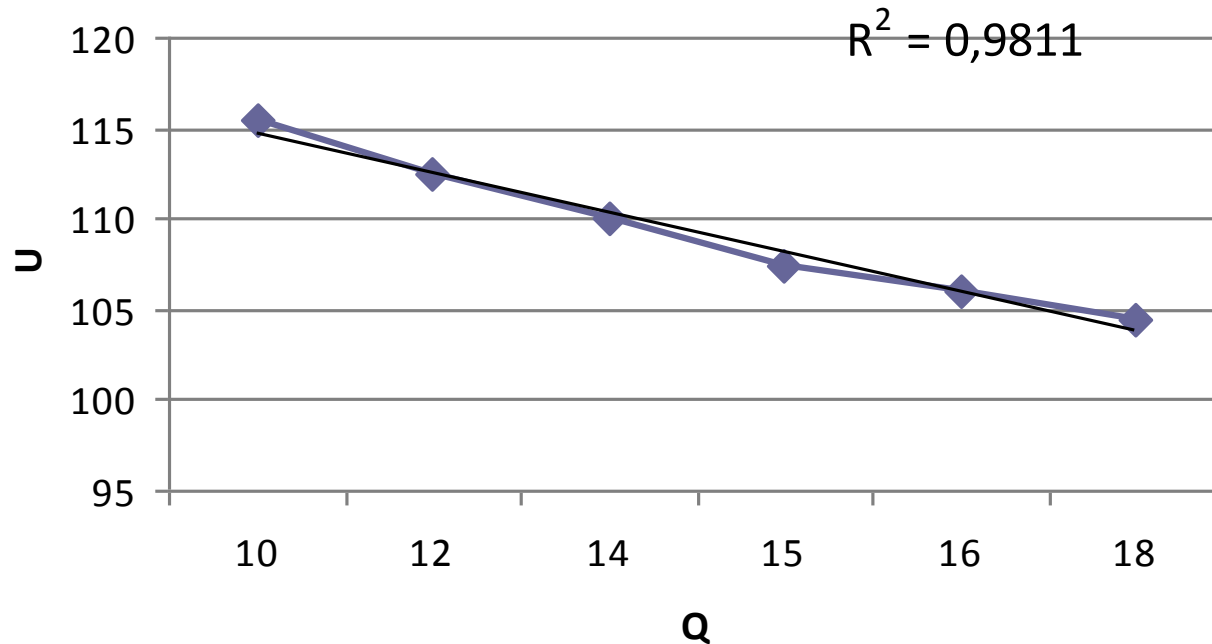


4.1 Імітаційна модель генератора



4.2 Нелінійні моделі системи в цілому

Результати моделювання в Matlab



- З точки зору підтримання напруги на шинах 110 кВ автоматичне регулювання збудження на генераторах неефективне внаслідок малого регульовального діапазону генераторів.
- Напруга на шинах 220 кВ може ефективно підтримуватись в необхідних експлуатаційних межах за допомогою РПН станційних трансформаторів.
- В цілях розширення регульовального діапазону на шинах 220 кВ на генераторах слід зберегти АРЗ і вести режим збудження генераторів на шинах 110 кВ.
- Ефект регулювання коефіцієнта трансформації автотрансформатора зв'язку визначаються умовами роботи мережі 330 кВ і не залежить від первинної схеми станції. Переключення РПН автотрансформатора практично не позначається на напрузі на шинах 220 кВ.

- Використання РПН автотрансформатора для регулювання перетоку реактивної потужності в мережі 330 кВ недоцільно внаслідок малого регулювального діапазону.
- Пристрій РПН автотрансформатора може бути використано для автономного ведення режиму по напрузі в точках мережі 330 кВ, які знаходяться близько від станції.
- Б) побудова системи автоматичного регулювання напруги станції:
- Напруга на шинах 110 кВ слідує підтримувати за допомогою генераторів. Тому генератори повинні бути оснащені системою групового керування збудження (ГКЗ), яка забезпечує централізоване керування уставками АРЗ.
- Напруга на шинах 220 кВ може ефективно підтримуватись в необхідних експлуатаційних межах за допомогою РПН станційних трансформаторів. Тому на станційних трансформаторах слідує встановити систему автоматичного регулювання коефіцієнта трансформації (АРКТ).

- Наладка системи ГКЗ (статизм зовнішньої характеристики) впливає на діапазон регулювання станційних трансформаторів.
- При відповідній налазці системи ГКЗ діапазон регулювання на шинах 220 кВ при інших умовах може бути розширеним.
- При спільній роботі систем ГКЗ і АРКТ в процесі регулювання можливі як перевантаження, так і глибоке розбудження генераторів. Тому на генераторах повинно бути передбачено автоматичне обмеження по верхній і нижній межах, а також блокування системи АРКТ трансформаторів в крайніх режимах по збудженню.
- Регулювання коефіцієнта трансформації автотрансформатора не впливає на регульований діапазон іншого станційного устаткування. Тому системи АРКТ автотрансформатора виконуватись автономно, без спеціальних блокувань з другими елементами системи регулювання напруги станції.
- В відповідності з приведеними висновками в схемі автоматичного регулювання напруги розглянутої станції повинно бути передбачено:
 - а) регулювання збудження генераторів по напрузі на шинах 110 кВ за допомогою ГКЗ;
 - б) автоматичне обмеження збудження генераторів по верхній і нижній межах;
 - в) автоматичне групове регулювання коефіцієнта трансформації станційних трансформаторів по напрузі на шинах 220 кВ;
 - г) автоматичне регулювання коефіцієнта трансформації автотрансформатора по напрузі 330 кВ;
 - д) блокування системи АРКТ при досягненні генераторами крайніх режимів по збудженню.