

Research and Application Simulation of Frequency Response Improvement Methods for Power Systems.



電力系統頻率簡化模型與控制器參數研究

指導教授: 吳元康

學生: 古岱軒

背景介紹

現代社會對電力系統的穩定性和可靠性要求迫切，但在負載變動和多元能源的情況下，頻率響應的控制極具挑戰。本研究旨在提供全面解決方案，強化電力系統頻率控制，確保系統迅速應對各種挑戰。我們的研究取得以下主要成果，建立了如汽輪機和水輪機等主要元件的等效方程，提出包含PID控制器和下垂特性的調速器系統以增強頻率響應，提供簡單有效的PID參數整定法，引入PSO演算法優化PID控制器參數，以確保系統快速且有效應對負載變化，並開發通用模型簡化多機系統為單機系統。我們的研究貢獻體現在提供全面改進電力系統頻率控制的方法，對電力系統的穩定性和控制具有重要影響。

實作方法

本研究探討具有水輪機和汽輪機系統的等效方法和控制技術，為了證明等效系統的可行性，假設該系統包括兩種類型的水力發電機和一種類型的蒸汽發電機，水力和蒸汽發電機的數量分別為24和2。表2列出了所有發電機的參數，其中1號到24號屬於水力發電系統，而25號和26號屬於熱發電系統。在這種情況下，系統的總額定容量 S_{sys} 為1776MW。我們在調速器中加入了PID控制器以因應負載變化。在多機系統的簡化過程中，通過加權平均法(Method of Weighted Average)聚合所有擺動方程，將具有火力機組和水力機組的多機系統簡化為單機模型，每個發電機組的渦輪調速器響應均被保留，該系統僅計算平均頻率行為。

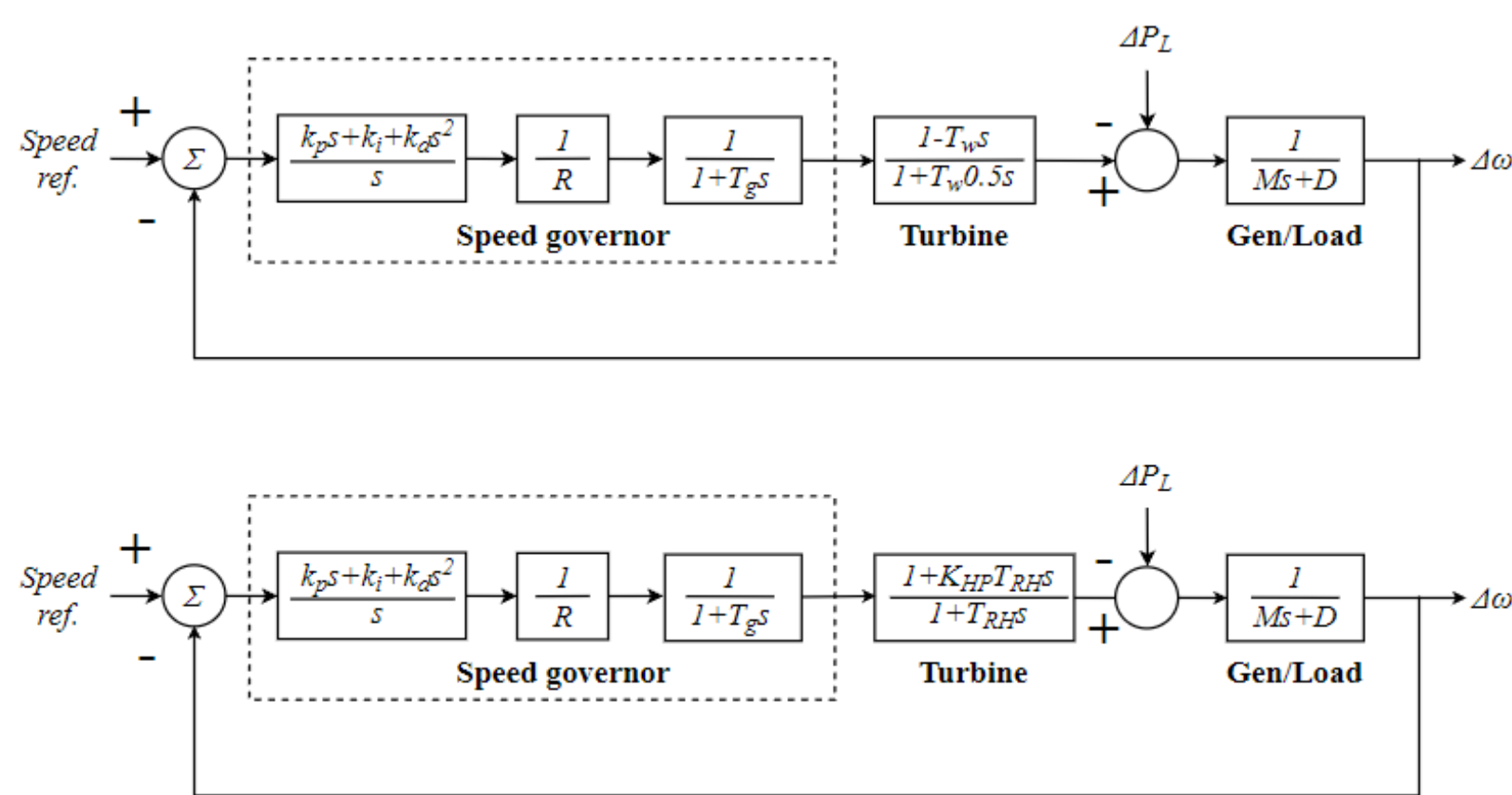


圖1 蒸汽渦輪機模型(下)和水力渦輪機模型(上)的結構

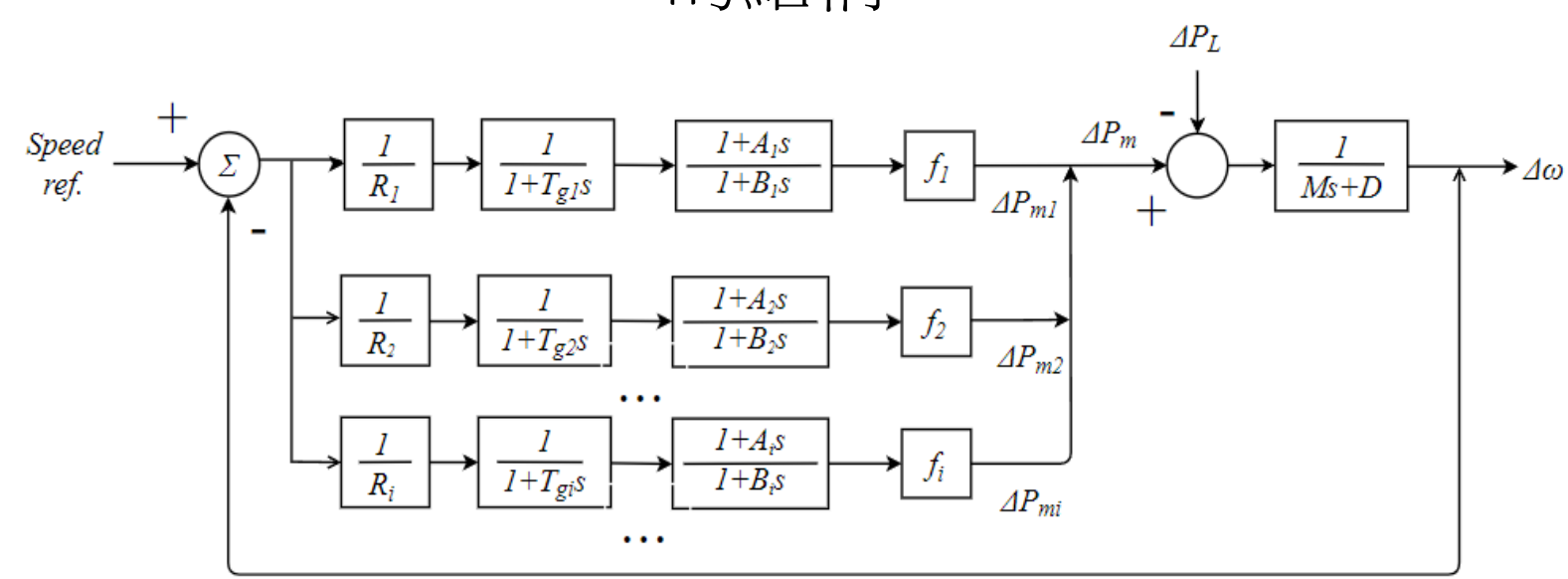


圖2 多機系統頻率響應模型

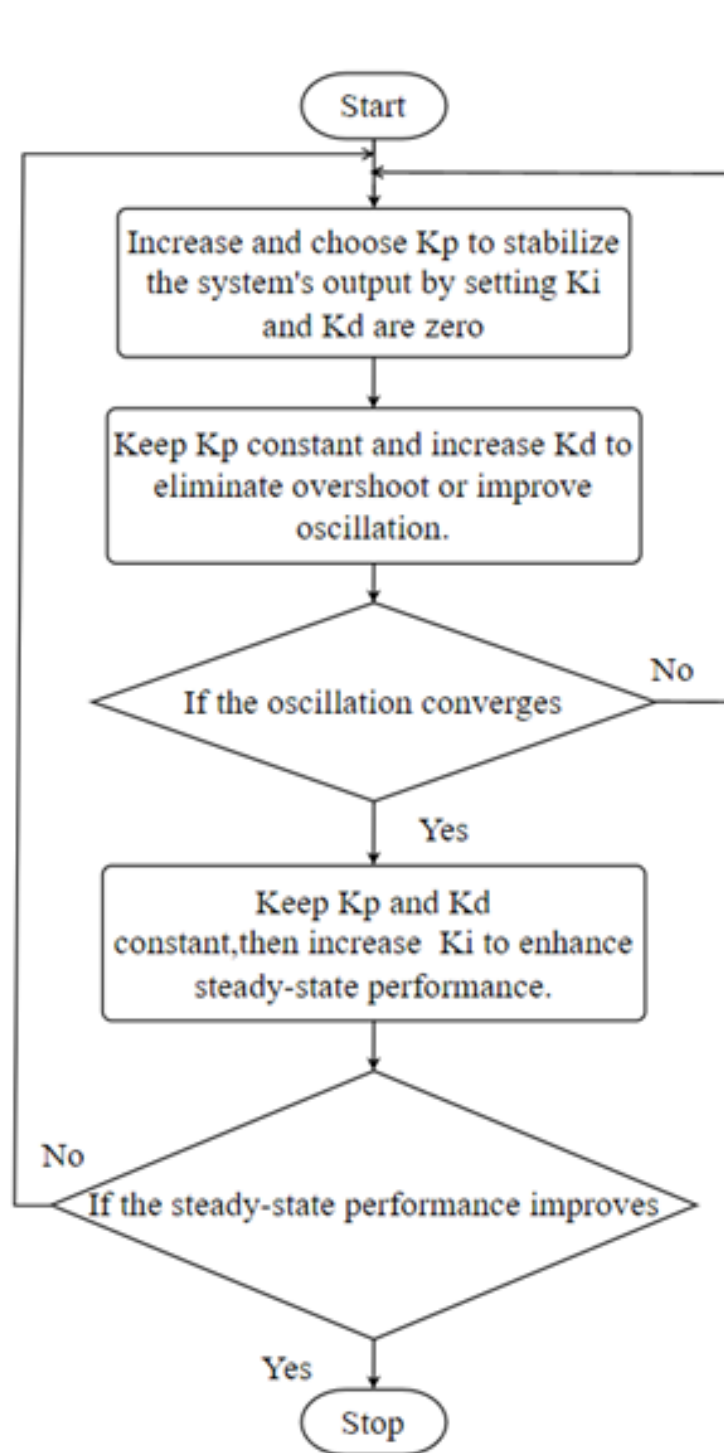


圖3 使用PID整定法調整PID參數流程圖

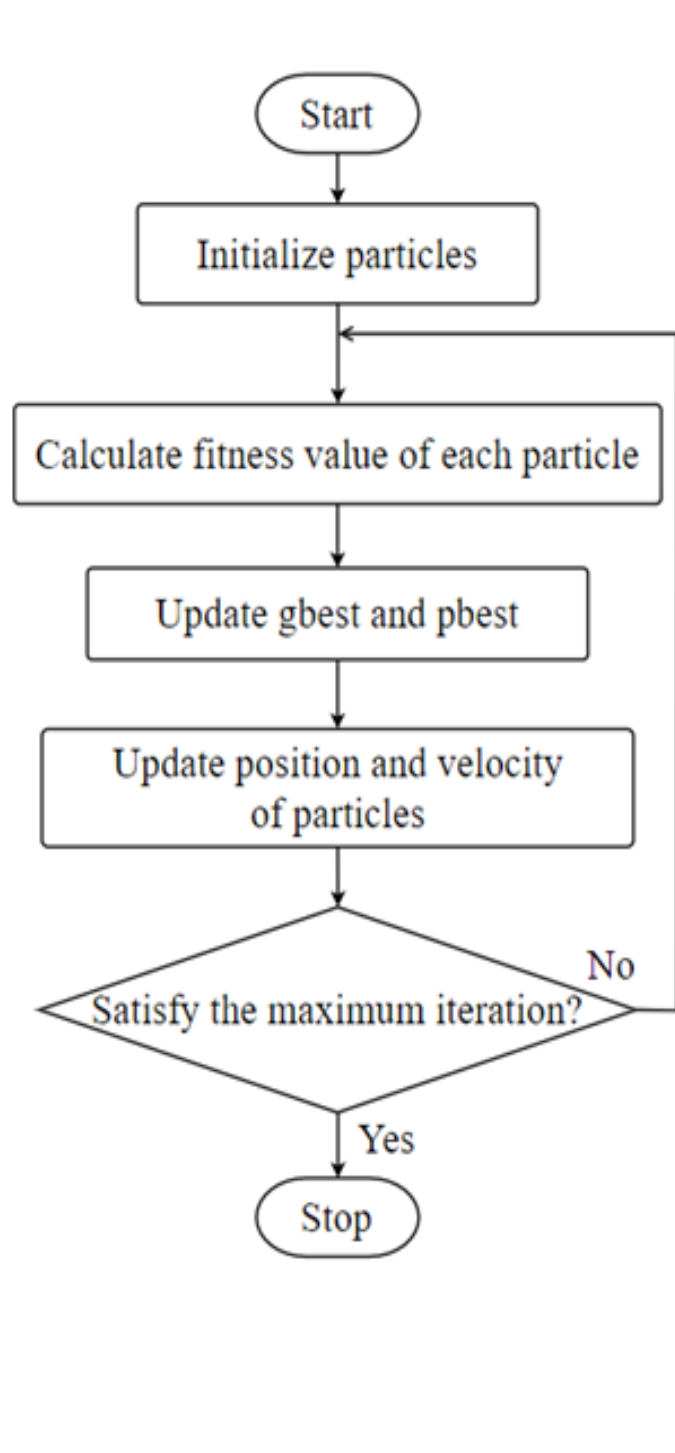


圖4 使用PSO演算法調整PID參數流程圖

表1 蒸汽渦輪機和水力渦輪機的參數

Unit No	S (MW)	M (s)	T _w (s)		T _g (s)
1-12	18	5.47	0.8		0.5
13-24	20	7.89	2		0.5
Unit No	S(MW)	M (s)	K _{HP} (s)	T _{RH} (s)	T _g (s)
25-26	660	10	0.363	13.463	0.25

根據加權平均法，可以使用以下方程式計算等效參數：

$$f_i = \frac{S_i}{S_{sys}} \quad (1)$$

$$X_j = \frac{\sum_{i \in G} S_i X_i}{\sum_{i \in G} S_i} \quad (2)$$

表2 汽渦輪機和水力渦輪機簡化和聚合後參數

No.	M(s)	A(s)	B(s)	R(%)	T _g (s)	Σf _i
1-12	5.47	-0.8	0.4	5	0.5	0.1216
13-24	7.89	-2	1	5	0.5	0.1351
25-26	10	4.887	13.463	5	0.25	0.7432
	M _{eq} (s)	A _{eq} (s)	B _{eq} (s)	R _{eq} (%)	T _{eq} (s)	sum
Weighted	9.164	3.265	10.190	5	0.3142	1

其中， X_i 和 X_j ，($X=\{A, B, R, T_g\}$)，分別表示聚合操作之前和之後的參數。 S_i 是第*i*個發電機的額定容量，而 S_{sys} 是所有發電機的總額定容量。

討論

1. 單機等效模型的準確性：

單機等效模型在描述多機系統的頻率響應方面能夠提供極為接近的結果，尤其是在穩態運行情況下。這強調了使用等效單機模型迅速而有效地簡化多機系統分析的優勢。而兩者在頻率響應仍有差異的原因，是因為每台發電機具有不同的參數和慣性，它們在初始時可能會產生功率交換，也就是機組間震盪（Inter-machine Oscillation）情形。但隨著時間的推移，這種振盪會逐漸減小，直到整個系統的頻率恢復穩定。

2. 火力和水力裝置容量比例的影響：

隨著火力和水力裝置容量比例的增加，多機模型和等效單機模型之間的差異變得更小。這意味著在火力裝置容量相對較大的情況下，單機模型能夠更準確地反映原始多機系統的動態行為，這是因為相對於汽輪機，水輪機通常具有較顯著的頻率響應振盪情形，並且頻率更難以控制，導致了較差的聚合結果。

3. 控制策略對頻率響應的影響：

在電力系統頻率控制領域，PID控制器在不同情境下均表現出綜合表現的卓越性能，尤其在採用現代整定方法或是引進優化演算法的情況下。另外，單機等效和多機模型的頻率響應表現相似，這些結果對於電力系統的穩定性分析和控制策略選擇具有重要意義，有助於選擇適當的控制策略和整定方法。

實作結果

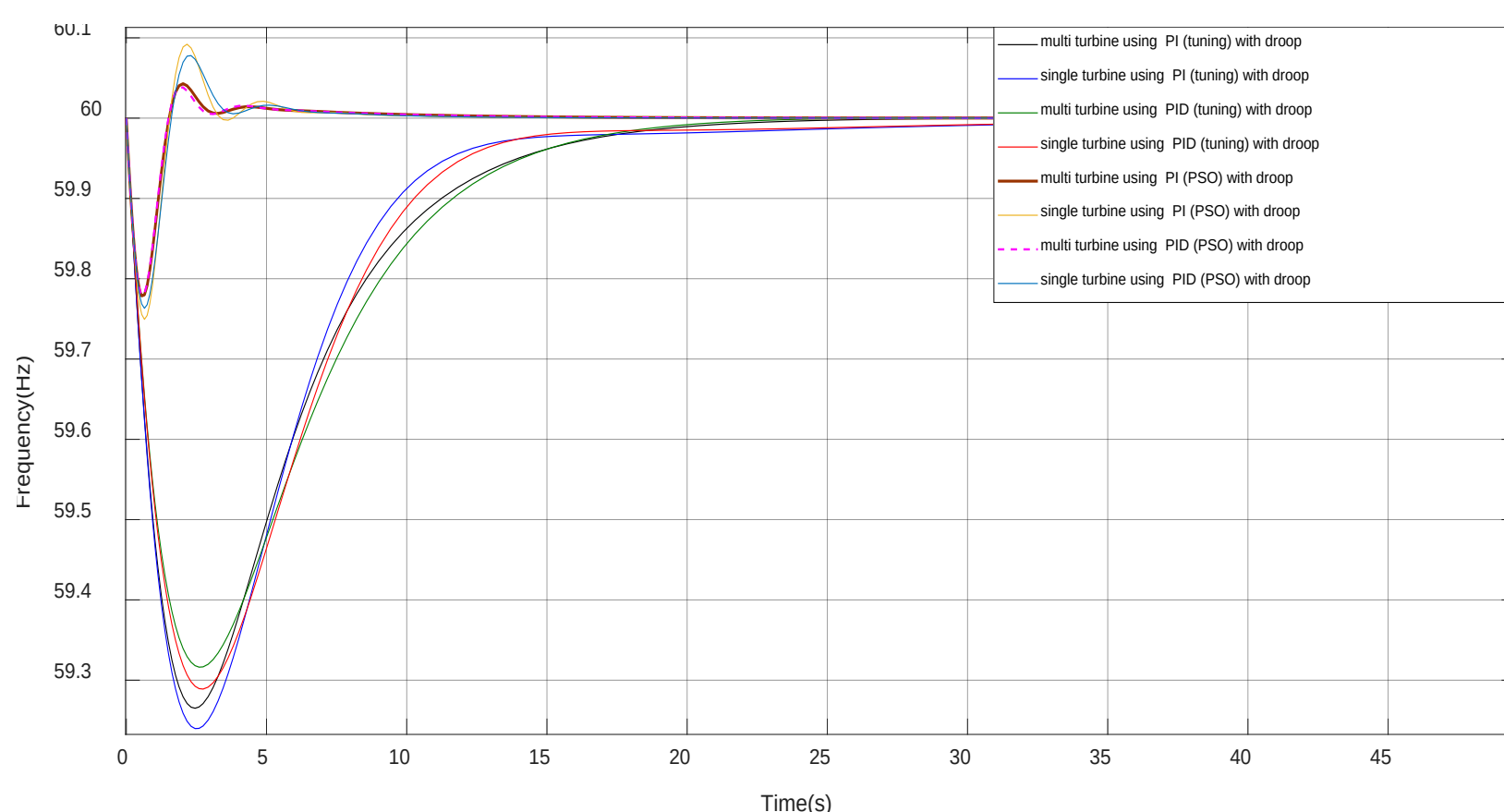


圖5 多機和聚合單機在不同控制下頻率響應

表3 不同裝置容量比的多機和單機的誤差

火力/水力的裝置容量比	頻率最低點(Hz)		相對誤差(%)
	多機	單機	
比為1	58.07	58.08	0.0172
比為2	58.17	58.13	-0.0688
比為3	58.2	58.15	-0.0859
比為4	58.2	58.16	0.0687

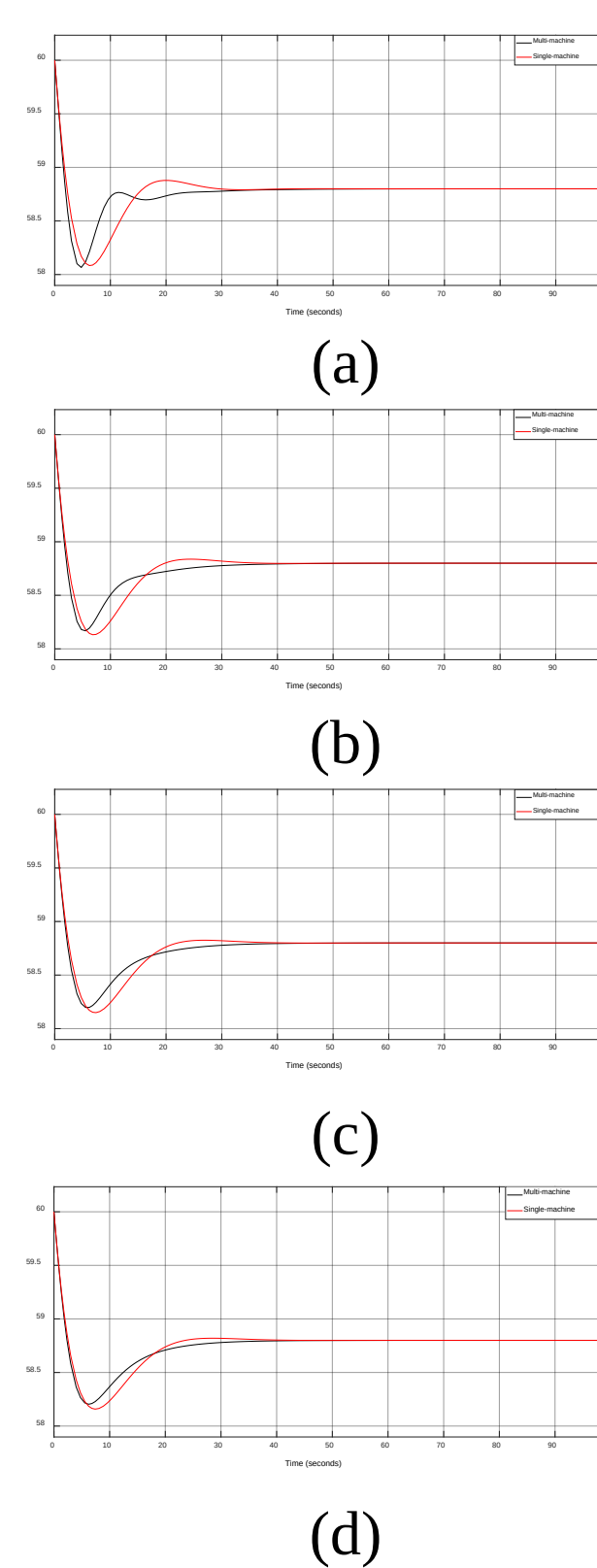


圖6 多機和單機在火力發電單元和水力發電單元之間具有不同裝置容量比的頻率響應: a) 比為1, b) 比為2, c) 比為3, d) 比為4

結論

本研究建立了一個簡化的頻率響應模型，以快速分析大型電力系統的動態頻率行為，這對頻率穩定性和系統安全性是一個重要問題。本文分析了蒸汽渦輪機和水力渦輪機的等效方程，以及使用兩種參數調整方法調整的PID控制器。此外，本研究比較了使用原始多機系統和簡化的單機系統的頻率響應。模擬結果表明，所提出的等效系統對描述系統頻率的動態特性是十分有效的。