

國立臺灣大學工學院機械工程學系

碩士論文

Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

混合動力系統理念之發展與評估

The Development and Evaluation of the Concepts for  
Hybrid Vehicles

郭沛宗

KUO, PEI-TSUNG

指導教授：劉 霆 博士

Advisor: Tyng Liu, Ph.D.

中華民國 98 年 7 月

July, 2009

機 國  
械 立  
工 臺  
程 灣  
學 大  
系 學

碩  
士  
論  
文

混  
合  
動  
力  
系  
統  
理  
念  
之  
發  
展  
與  
評  
估

郭  
沛  
宗  
撰

98  
7

國立臺灣大學工學院機械工程學系

碩士論文

Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

混合動力系統理念之發展與評估

The Development and Evaluation of the Concepts for

Hybrid Vehicles

郭沛宗

KUO, PEI-TSUNG

指導教授：劉 霆 博士

Advisor: Tyng Liu, Ph.D.

中華民國 98 年 7 月

July, 2009

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

混合動力系統理念之發展與評估

The Development and Evaluation of the concepts  
for Hybrid Vehicles

本論文係郭沛宗君 (R96522629) 在國立臺灣大學機械工程學系完成之碩士學位論文，於民國 98 年 07 月 28 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

劉 霆

劉 霆

李志中

李志中

鍾添東

鍾添東

系主任

張所鎡

張所鎡

## 誌謝

本論文的完成首先要感謝劉霆老師，在研究的方向上以及論文的架構上給予許多指導，且在論文撰寫時給予許多建議，使得本論文得以完成。在研究的過程中學生給老師添了許多麻煩，從一開始題目、方向的不確定，到之後進度的有些落後，都有賴老師的指導才使研究得以順利進行。從老師身上也學到做研究的精神與態度，每次和老師聊天都能得到許多啟發。跟在老師身邊學習，有機會參與各項事情與活動，讓我在做事情與做人上也學到很多。

感謝口試委員李志中老師與鍾添東老師撥空審閱我的論文，給予許多寶貴的建議，使我的論文更趨於完善。

感謝巨獅創意科技的楊先生大力贊助，提供參與混合動力機車計畫以及展覽的機會，增長了知識也得到許多不一樣的經驗。

感謝實驗室的好同學們。感謝學姊思佳、學長江霸、建欣以及冠澄，有你們的照顧讓我能很快地就適應實驗室的生活。感謝同學羿名王，你是我們寫論文時的好榜樣。感謝陳獨秀、楚哥、yulo、柏元，大家一起努力的過程是很難忘的回憶。感謝學弟妹洪毓 QQ、國璋、志明、文傑、巧梅以及 MMT 軍團，你們讓實驗室的生活變的更熱鬧、更有趣。

感謝好朋友承翰，在研究的路上給予我許多幫助。感謝好朋友比爾、黃、色狼、CFO 成員，你們讓我的生活更加豐富。

最後也謝謝所有關心我的家人，謝謝你們默默的關心與付出，是我繼續努力的動力，謝謝你們。

# 混合動力系統理念之發展與評估

郭沛宗

## 摘要

本研究之目的為建立油電混合動力系統理念之分析與合成的方法，並利用此方法針對一引擎一電機以及一引擎兩電機之系統進行評估。本研究首先探討構造之自由度，並建立構造之動力流規則，分析動力流及運動方向、扭力方向之關係，可以對系統的功能與特性發展一套分析方法。然後應用理念分析的方法與規則來建立系統化的合成方法及步驟，以產生系統所有可能之概念，並針對一引擎一電機及一引擎兩電機之系統建立構造圖集與動力流圖集。最後本研究以引擎操作限制、動力模式、行車模式、能量循環等項目來評估所有可能的設計概念，可以揀選出合適的混合動力系統，其中部分系統雖有不充分之動力模式，但應用離合器與制動器可加以改善，達到系統功能的完整性。本研究利用此方法可有效地分析及合成混合動力系統之設計概念，並對系統做定性之評估。本研究也完整地整理出所有一引擎一電機以及一引擎兩電機系統可能之設計概念。

關鍵字 混合動力系統、理念分析與合成、構造圖、動力流圖

# The Development and Evaluation of the Concepts for Hybrid Vehicles

KUO, PEI-TSUNG

## Abstract

The purpose of this study is to develop a method for analyzing and synthesizing hybrid systems, and to establish and to evaluate the concepts of all possible hybrid systems composed of 1 engine, 1 electric machine and 1 engine, 2 electric machines. At the beginning of the research, the degrees of freedom of mechanisms are discussed, the rules of power flow in the mechanisms are established, the relationships between torque, speed, and power flow are analyzed, and the method for conceptual analysis can be developed. Then, a systematic approach for conceptual synthesis can be established based on the methods and rules of conceptual analysis, which can be used to generate all possible concepts of the systems, and to build the atlas of structural graphs and power flow graphs. Finally, all possible design concepts of the systems are assessed in terms of engine operating limits, power modes, driving modes, and power circulations. The lack of power modes in some concepts can be modified through the application of clutches. To sum up, through the method developed in the research, design concepts of hybrid systems can be analyzed and synthesized efficiently, qualitative evaluation of systems can also be made. All possible design concepts of hybrid systems composed of 1 engine 1 electric machine and 1 engine 2 electric machines are also summarized in the research.

Keywords : hybrid systems, conceptual analysis and synthesis, structural graph, power flow graph.

# 目錄

口試委員審定書 .....	i
誌謝 .....	ii
摘要 .....	iii
Abstract .....	iv
圖目錄 .....	viii
表目錄 .....	x
第一章 緒論 .....	1
1-1 前言 .....	1
1-2 文獻回顧 .....	2
1-2-1 混合動力系統歷史回顧 .....	2
1-2-2 混合動力系統構造 .....	5
1-2-3 混合動力系統模型 .....	6
1-2-4 混合動力系統模擬 .....	7
1-3 研究動機與目的 .....	8
1-4 研究架構與步驟 .....	8
第二章 理論基礎及回顧 .....	10
2-1 功能拓樸圖 .....	10
2-1-1 功能拓樸圖元件表示法 .....	10
2-1-2 功能拓樸圖能量表示法 .....	13
2-1-3 構造圖表示法 .....	14
2-1-4 動力流圖表示法 .....	15
2-2 油電混合動力系統的構造演化 .....	16
2-2-1 非電子式無段變速 .....	16
2-2-2 電子式無段變速 .....	18
2-3 電子式無段變速(e-CVT)的應用 .....	20
第三章 混合動力系統理念之分析 .....	25
3-1 動能控制器之運動自由度與扭力自由度 .....	25
3-1-1 單自由度動能控制器 .....	26
3-1-2 兩自由度動能控制器 .....	27
3-2 動力流 .....	29
3-2-1 元件之動力流 .....	29
3-2-2 動能控制器之動力流 .....	31

3-2-3	單自由度動能控制器 .....	31
3-2-4	兩自由度動能控制器 .....	32
3-2-5	不容許之動力流狀態 .....	34
3-3	動能控制器之運動方向與扭力方向 .....	37
3-3-1	單自由度動能控制器 .....	37
3-3-2	兩自由度動能控制器 .....	38
3-4	動力模式之動力流 .....	41
3-5	行車模式之動力流 .....	45
3-6	小結 .....	50
第四章	混合動力系統理念之合成 .....	51
4-1	構造圖之合成 .....	51
4-1-1	構造圖之規則 .....	51
4-1-2	合成構造圖之步驟 .....	52
4-2	動力流圖之合成 .....	58
4-2-1	動能控制器之動力流合成 .....	58
4-2-2	動力流圖之規則 .....	60
4-2-3	合成動力流圖之步驟 .....	61
第五章	系統理念之評估及改善方法 .....	67
5-1	系統評估 .....	67
5-1-1	引擎操作限制 .....	67
5-1-2	動力模式 .....	68
5-1-3	行車模式 .....	69
5-1-4	能量循環(power circulation) .....	70
5-2	一引擎一電機之構造評估 .....	72
5-3	一引擎兩電機之構造評估 .....	77
5-4	構造評估結果之討論 .....	97
5-5	動力模式之改善方法 .....	99
5-5-1	改善方法 .....	99
5-5-2	改善範例 .....	101
5-5-3	改善結果 .....	107
第六章	結論與建議 .....	109
6-1	結論 .....	109
6-2	未來發展與建議 .....	111
參考文獻	.....	112
附錄	.....	115
附錄一	包含三個動力元件數系統之構造圖集 .....	115

附錄二 一引擎、一電機系統之動力流圖集 ..... 118  
附錄三 一引擎、兩電機系統之動力流圖集 ..... 119



## 圖目錄

圖 2-1 PRIUS 之運動圖.....	15
圖 2-2 PRIUS 之構造圖.....	15
圖 2-3 PRIUS 純電動模式的動力流圖.....	15
圖 2-4 電動車構造圖.....	16
圖 2-5 串聯構造圖.....	17
圖 2-6 並聯構造圖.....	17
圖 2-7 TWIN 構造圖.....	18
圖 2-8 ARONSON 設計之構造圖.....	18
圖 2-9 PRIUS 運動圖.....	21
圖 2-10 GM 2-MODE EVT 運動圖.....	22
圖 2-11 TWO-MODE HYBRID SATURN VUE 運動圖.....	23
圖 2-12 2-MODE HYBRID 運動圖.....	24
圖 3-1 NC=3 之動力流狀況.....	31
圖 3-2 NC=4 之動力流狀況.....	32
圖 3-3 NC=3 之運動方向與扭力方向.....	38
圖 3-4 NPS=3 之運動方向與扭力方向.....	39
圖 3-5 NPS=4 之運動方向與扭力方向.....	40
圖 3-6 前進之行車模式.....	46
圖 4-1 動力流圖合成之範例構造.....	61
圖 5-1 能量迴路之動力流方向可能一.....	70
圖 5-2 能量迴路之動力流方向可能二.....	71
圖 5-3 能量迴路之動力流方向可能三.....	71
圖 5-4 1ICE 1M/G 之構造圖.....	72
圖 5-5 機械能反向循環(MECHANICAL REVERSE).....	81
圖 5-6 構造 A1 改善後之構造圖.....	101
圖 5-7 構造 A1 純電動模式動力流圖.....	101
圖 5-8 構造 A2 改善後之構造圖.....	102
圖 5-9 構造 A2 純引擎模式動力流圖.....	102
圖 5-10 構造 A2 純電動模式動力流圖.....	102
圖 5-11 構造 B2 改善後之構造圖.....	103
圖 5-12 構造 B2 可能之純電動模式動力流圖.....	103
圖 5-13 構造 B2 純引擎模式動力流圖.....	103
圖 5-14 構造 B3 改善後之構造圖.....	104
圖 5-15 構造 B3 可能的純電動模式動力流圖.....	104
圖 5-16 構造 B4 改善後之構造圖.....	104

圖 5-17 構造 B4 可能的純電動模式動力流圖 .....	104
圖 5-18 構造 B5 改善後之構造圖 .....	105
圖 5-19 構造 B5 可能的純電動模式動力流圖 .....	105
圖 5-20 構造 B6 改善後之構造圖 .....	105
圖 5-21 構造 B6 可能的純電動模式動力流圖 .....	105
圖 5-22 構造 B6 純引擎模式動力流圖 .....	105
圖 5-23 構造 B7 改善後之構造圖一 .....	106
圖 5-24 構造 B7 可能的純電動模式動力流圖一 .....	106
圖 5-25 構造 B7 改善後之構造圖二 .....	106
圖 5-26 構造 B7 可能的純電動模式動力流圖二 .....	106
圖 5-27 構造 B8 改善後之構造圖 .....	107
圖 5-28 構造 B8 可能的純電動模式動力流圖 .....	107



## 表目錄

表 2-1 元件名稱及其對應之圖形.....	11
表 2-2 能量表示方式.....	13
表 2-3 元件對應之能量線種類.....	14
表 2-4 GM 2-MODE EVT 離合器操作順序.....	22
表 2-5 Two-MODE HYBRID SATURN VUE 離合器操作順序.....	23
表 2-6 2-MODE HYBRID 離合器操作順序.....	24
表 3-1 C 的運動自由度、扭力自由度及相連動能線數目.....	27
表 3-2 PS 的運動自由度、扭力自由度及相連動能線數目.....	28
表 3-3 元件對應之動力流狀態.....	30
表 3-4 不容許之動力流狀態.....	36
表 3-5 動力模式分類.....	41
表 3-6 純電動模式.....	42
表 3-7 純引擎模式.....	42
表 3-8 引擎/充電模式.....	43
表 3-9 引擎/BOOST 模式.....	43
表 3-10 煞車回充(無引擎煞車)模式.....	44
表 3-11 煞車回充+引擎煞車模式.....	44
表 3-12 行車模式.....	45
表 3-13 引擎與輸出元件之間只有 C 相連之行車模式.....	47
表 3-14 引擎與輸出元件之間只有 NPS=3 的 PS 相連之行車模式.....	48
表 3-15 引擎與輸出元件之間有 NPS=3 的 PS 和 C 相連之行車模式.....	49
表 3-16 引擎與輸出元件之間只有 NPS=4 的 PS 相連之行車模式.....	50
表 4-1 三個以下動力元件可能產生之構造種類.....	52
表 4-2 N=5 以下之動能控制器.....	53
表 4-3 動力元件數與動能控制器數量之關係.....	54
表 4-4 動力元件數與動能控制器數量與類型之關係.....	55
表 4-5 IICE 1M/G 構造圖集.....	56
表 4-6 IICE 1M 1G 構造圖集.....	57
表 4-7 $N_C=3$ 之動力流可能方向.....	59
表 4-8 $N_C=4$ 之動力流可能方向.....	59
表 4-9 $N_{PS}=3$ 之動力流可能方向.....	60
表 4-10 $N_{PS}=4$ 之動力流可能方向.....	60
表 4-11 動力流圖合成範例之 PS 部分.....	62
表 4-12 動力流圖合成範例之 C 部分.....	63
表 4-13 動力流圖合成範例之電能線部分.....	64

表 5-1 構造 A1 之動力流圖 .....	73
表 5-2 構造 A1 之動力模式 .....	74
表 5-3 構造 A1 之行車模式 .....	74
表 5-4 構造 A2 之動力流圖 .....	75
表 5-5 構造 A2 之動力模式 .....	75
表 5-6 構造 A2 之行車模式 .....	76
表 5-7 1ICE 2M/G 之構造圖 .....	77
表 5-8 構造 B1 之動力模式 .....	78
表 5-9 構造 B1 之行車模式 .....	80
表 5-10 構造 B2 之動力模式 .....	82
表 5-11 構造 B2 之行車模式 .....	84
表 5-12 構造 B3 之動力模式 .....	85
表 5-13 構造 B3 之行車模式 .....	87
表 5-14 構造 B4 之動力模式 .....	88
表 5-15 構造 B4 之行車模式 .....	89
表 5-16 構造 B5 之動力模式 .....	90
表 5-17 構造 B5 之行車模式 .....	90
表 5-18 構造 B6 之動力模式 .....	91
表 5-19 構造 B6 之行車模式 .....	92
表 5-20 構造 B7 之動力模式 .....	93
表 5-21 構造 B7 之行車模式 .....	93
表 5-22 構造 B8 之動力模式 .....	94
表 5-23 構造 B8 之行車模式 .....	95
表 5-24 構造 B9 之動力模式 .....	96
表 5-25 構造 B9 之行車模式 .....	96
表 5-26 1ICE 1M/G 與 1ICE 2M/G 評估結果 .....	97
表 5-27 移除動能控制器上單一條動能線之方法 .....	101
表 5-28 1ICE 1M/G 與 1ICE 2M/G 改善後評估結果 .....	108

# 第一章 緒論

## 1-1 前言

隨著全球暖化的議題逐漸受到關注，以及意識到石油資源有限，伴隨而來的是各國更嚴格的汙染排放標準，科技對於應該減少能源消耗和降低廢氣排放等課題的重視越來越高。在車輛領域，除了改善現有引擎效率等短期目標，長期目標將是發展零廢氣排放的車輛，例如電動車以及燃料電池車，而混合動力傳動系統的發展則作為中期目標。

結合了引擎與電機的混合動力系統早在 20 世紀以前就已經出現，但直到最近 30 年內才有了較大的進步與提昇，車輛製造商開始對混合動力車有濃厚的興趣。目前，各家車廠紛紛推出多款混合動力車，Toyota 可算是現今混合動力系統發展的先驅，1997 年 Toyota Prius 率先在日本上市，3 年後將 Prius 推向歐美市場，而今 Toyota 已經推出了第 3 代的 Prius。此外，其他車廠也推出許多混合動力車系列，例如 Honda Insight 在 1999 年於美國上市。Ford 於 2004 年推出 Escape hybrid，是第一台混合動力休旅車。2005 ~ 2007 年間 Lexus 陸續推出 RX, GS, LS 系列混合動力車。2007 年 Toyota Highlander Hybrid 上市。2008 年 Chevrolet Malibu Hybrid、Chevrolet Tahoe Hybrid 上市。

一般而言，混合動力車輛在省油表現上比傳統車輛來的好，而且性能和操控性也能和傳統車輛旗鼓相當，但混合動力車輛的傳動系統較為複雜，包括增加的動力元件數量以及更精密的控制系統。

與目前傳統車輛相比，混合動力車輛能達成的功能更多，例如怠速熄火、煞車回充以及馬達輔助引擎之高功率輸出等。隨著電池以及電機在混合動力系統內佔總輸出功率的比例越來越大，煞車回充以及高功率輸出的效果與作用也會越來越顯著，混合動力車輛的與傳統車輛的差異也越來越大。

混合動力系統的種類繁多，構造越來越複雜，特徵與功能不易辨認，雖然江承舜[1]所提出之功能拓樸圖可簡化系統的構造複雜度，以最精簡的方式呈現系統構造，但當需要比較各混合動力系統之設計概念時，缺少一套可清楚描述各系統之間功能上之差異的方法。此方法必需具備彈性的特質，可以套用到所有混合動力系統上，此方法也必須簡單，使得混合動力系統的分析容易進行。本研究期望可以發展一套完整的混合動力系統理念分析與合成之方法，可以分析且合成系統所有可能的設計概念，以有效地進行混合動力系統的評估。

## 1-2 文獻回顧

本節分為四部份，第一小節先介紹混合動力系統的發展歷史[2][3]，第二小節回顧混合動力構造的發展，介紹各種不同的構造以及分類方式。第三小節回顧混合動力系統的表示方法、模型的建立。第四小節將介紹混合動力系統的模擬與分析。

### 1-2-1 混合動力系統歷史回顧

混合動力系統至今已經有超過一百年的歷史，工程技術的能耐以及人類對交通工具的需求影響了混合動力系統發展的方向與速度。藉由歷史的回顧[2][3]，此小節將依據時間的順序來介紹混合動力系統的過去與現在。

#### 1. 西元 1897 年之前

19 世紀以前的主要交通工具為馬車，這情形一直到 19 世紀下半葉才逐漸有了改變，在當時包括以蒸氣機驅動、以汽油驅動，或者以電池驅動的車輛逐漸崛起。

電動車的發展上一個很重要的部份為電池，電池的技術影響著電動車可能的

未來。西元 1859 年，法國科學家 Gaston Planté 發明了鉛酸電池，使電池的技術有了相當大的突破，從此之後鉛酸電池的技術不斷發展，在電動車上一直沿用到了 1990 年代。首部電動車便是搭載鉛酸電池與一部馬達於西元 1881 年出現。隔年 Ayrton 和 Perry 設計一台更進步的電動車，性能表現為時速可達約 14 km/h，可以行駛 30-50 公里，在當時完全可以取代傳統的馬車作為主要的交通工具。就在首部電動車誕生的四年之後，首部汽油引擎車也於西元 1885 年出現。在這段時期，電動車與汽油引擎車漸漸地取代了馬車，將交通工具的發展史推向下一階段。

## 2. 西元 1897 年 ~ 1920 年代

電動車的效率較引擎車來的高，但是發展電動車有一大難題——行駛距離會受到電池容量的限制。解決此困難主要從兩個方向著手，一是開發更大容量的電池，另一就是使用混合動力的概念，以引擎來對電池充電，延長行駛的距離。

第一台油電混合動力車輛出現在 1897 年，由 Justus B. Entz 所設計。此車輛可以引擎單獨驅動車輛，而當需要較大扭力的情況下，系統也可以改為利用馬達輔助引擎來驅動車輛。

1899 年 Pieper 推出一前置引擎的混合動力車，配搭一部由鉛酸電池驅動的馬達，此馬達同時可作為引擎的啟動馬達。此系統屬於並聯混動的型式，當引擎輸出功率高於行車需求時，引擎可替電池補充電力；當引擎輸出功率不足時，馬達將驅動後輪，輔助引擎輸出。此車輛的引擎負責驅動前輪，馬達負責驅動後輪，當其中一動力元件故障時仍可繼續行駛，在當時動力技術仍未純熟的時代，是個很實用的設計。

之後陸陸續續還有其他混合動力車輛問世。Lohner-Porsche 於 1903 年推出的混合動力車，在兩個前輪上使用了兩部的輪轂馬達，引擎只用來發電，屬於串聯混動的系統。1917 年 Woods 公司推出一款混合動力車輛” Woods’ Dual”，前輪由引擎驅動，後輪由馬達驅動，兩者之間有一電磁離合器。此車輛有三種驅動模式：

引擎獨立驅動，馬達獨立驅動，或是同時驅動。車速可達 56 km/h，而油耗表現大約為每公升汽油可以行駛 20 公里。

在這段時期，混合動力系統的設計主要是以串聯混動或並聯混動兩種型式為主。混合動力系統在這段期間蓬勃發展，一直持續到西元 1920 年代才停止。

### 3. 西元 1920 年代 ~ 1960 年代

1920 年代到 1960 期間，引擎車成為主流。主要受到混合動力車製造成本較高，以及電池的容量令人質疑等問題，使得許多製造混合動力車的車廠經營不下去或轉向研發引擎車，情況一直持續到 60 年代。

### 4. 西元 1960 年代 ~ 1990 年代

隨者對於環境變遷的重視，都市地區空氣污染日漸嚴重，矛頭指向引擎車的排放。此外，為解決對石油過度依賴，加上各國政府針對車輛紛紛制定更高的環保標準、排污限制，不少車廠開始重新重視混合動力系統的研發。

從這段時期開始，混合動力車的發展逐漸受到了政府的重視，且與環保開始有較密切的結合。美國 Minicars 公司推出一款混合動力車，並在美國環境保護局 (EPA, Environmental protection Agency) 的贊助下，與政府合作安排一連串的車輛排污測試，共同努力期望能達成政府對減少廢氣排放的要求。

Wouk 在 1974 年將一台 1972 Buick *Skylark* 改裝成一部並聯混動型式的混合動力車，目標放在減少廢棄的排放以及提高油耗表現。這部車輛在經過測試後達成了原先的目標，測試的結果也提供給政府以在將來制定混合動力車輛的測試標準。除此之外，像是 General Motors、General Electric Company 等公司也都有推出混合動力車，油耗表現與汙染等也都是設計的重點。

在 1971 年，Gelb[4] 等人提出能量分配式(power-split)的混合動力系統，此系統可提供電子式無段變速的功能，不過在當時仍未實際應用到車輛上。在這段時期

問世的車款，構造上仍主要屬於串聯混動以及並聯混動的型式。

## 5. 西元 1990 年代 ~ 目前

90 年代後上市的混合動力車，多數應用了電子式無段變速的功能，例如 Toyota Hybrid System (THS)、GM two-mode 系統。無段變速能夠將引擎操作在最佳效率狀態，減少污染排放，也提高油耗表現。在功能增加的同時，混合動力機構也變得更複雜，車輛必需搭配更精密更複雜的控制系統，使電子控制在這時代扮演更重要的腳色。

此一小節回顧了混合動力系統的發展歷史，簡短的介紹了這百年來發生的一些故事。到目前為止，在許多車廠的努力下，已上市的混合動力車輛種類已有十餘款，技術上也越來越為成熟。

### 1-2-2 混合動力系統構造

油電混合動力系統的發展已經有上百年的歷史[2][3]，最初混合動力構造主要以串聯以及並聯的型式為主。之後研究的趨勢則多著重在兩個自由度或兩個自由度以上的構造。兩自由度以上之構造加入行星齒輪組，利用行星齒輪組兩個自由度的特性，使機構可以達到變速的功能。

Tsai[5]的設計結合行星齒輪組以及一部電機，還透過多組離合器使構造可在多種模式之間做切換。此系統可以操作在純電動模式、純引擎模式、引擎/充電模式、power 模式、煞車回充模式、以及 CVT 無段變速模式。在 CVT 無段變速模式下，構造利用行星齒輪機構來提供兩個自由度，透過電機的轉速調整來對引擎變速。其他模式則利用離合器操作，將構造降低一個自由度切換至並聯的型式。

如果增加混合動力系統的動力元件數量，例如搭配兩部電機後，透過不同的

配置，混合動力系統可以產生更多型式，變的更複雜而使特色不易辨別。目前一個較常被使用的混合動力系統分類法為：系統可依動力分配裝置(power split device)所在的位置來分類，可分做輸入分配式(input-split)、輸出分配式(output-split)、複合分配式(compound-split)等三大類[6]，此三種統稱為能量分配式(power-split)的系統。其中目前市面上較常見的混合動力系統為輸入分配式與複合分配式，Miller[7]整理出數個屬於此兩種類型並已使用在市售車上的構造。Toyota Prius[7]屬於輸入分配式，使用一個行星齒輪組。Renault IVT[8]屬於複合分配式，使用兩個行星齒輪組。此外 Conlon[9]還設計有三個行星齒輪組的複合分配式構造。

除了歸類在上述三大分類之下的構造，有些構造還可以同時橫跨不同的類別。透過離合器的操作，構造可因應不同的行車狀況在多種模式之間切換，例如構造[10]可在輸入分配式與複合分配式之間切換。構造[10]使用兩個行星齒輪組、兩部電機、兩個離合器，利用車上電子控制系統來決定離合器作用的時機，判斷何時該做構造的切換。除此之外，Timken 的 eVT 系統[11, 12]也可在輸入分配式與複合分配式之間切換。Holmes[13]設計的構造則可以在輸入分配式與輸出分配式之間切換。

有些構造可在並聯型式、輸入分配式與複合分配式之間做切換[14-17]。當構造切換為並聯型式時，引擎轉速與輸出轉速之間是一個固定的比例，使得混合動力傳動系統變成類似傳統變速箱的固定檔位。構造[14]在並聯模式之下可以提供 2 個檔位，像是傳統變速箱的 1 檔與 2 檔；構造[15, 16]在並聯模式之下可以提供 4 個檔位；構造[17]在並聯模式之下則可以提供 6 個檔位。

### 1-2-3 混合動力系統模型

在分析混合動力系統之前，需要建立一套分析模型能夠完整的描述整個系統。Lam 等人[18]利用 bond graph 來描述行星齒輪組，也可以用來建立混動系系

統的模型。Liu 等人[19]透過系統內各元件之間的力學方程式使用一套通用的規則來建構模型。此外，江承舜[1]則是建立一概念性的圖畫表示法，可以簡化混合動力構造的複雜度。

#### 1-2-4 混合動力系統模擬

隨著混合動力系統越來越複雜，加上單一系統又可在多種構造模式之間切換，關於構造模式切換的時機、策略，以及各種混合動力系統的效率分析、數值模擬也很重要。在設計時，除了選用適合的構造以外，能否更進一步提升系統的表現的關鍵就是控制的策略。

Schouten 等人[20]對並聯系統的能量管理策略做了分析。能量管理將會決定車輛如何處理駕駛的要求(踩油門、煞車)，判斷動力元件應該提供多少的功率、引擎與電機功率輸出的比例，以及管理電池的電量，以確保車輛運作在效率最高的範圍。

行星齒輪組是能量分配式構造的基礎，這類構造具有提高引擎效率以及減少廢氣排放等優點，但是相對來說構造較並聯以及串聯型式來的複雜、成本較高、以及電機負擔較大。Ren 與 Crolla[21] 針對一個行星齒輪組與兩個行星齒輪組的構造做分析。該文中討論一個行星齒輪組與兩個行星齒輪組傳動系統的減速比與電機轉速之關係、車速與電機功率之關係、以及車輛在加速情況下電機的負擔等。其中單行星齒輪組傳動系統會有一個效率高峰，而雙行星齒輪組系統有兩個效率高峰。

Conlon[22]則對輸入分配式、輸出分配式、複合分配式等三種構造做模擬，比較此三種構造之差異。分別從起步、引擎啟動、行車時電機的負荷、引擎發電的效率、煞車回充效率、加速、高負荷行車狀態、以及倒車等不同角度來模擬比較。

當一個系統可以在不同的能量分配構造模式之間切換，其切換的時機點對於

系統整體效率的影響至關重要，Villeneuve[23]以 Renault Dual-Mode Transmission 為例分析系統構造的切換與否以及切換的時機對車輛的影響。

當一個可在不同能量分配式構造之間切換的系統，再增加並聯的模式，可以使系統的操作有更多的選擇以應付各種行車狀況。Grewe 等人[24]以能量分配式構造為基礎，討論在加入並聯模式之前與之後的影響。分析結果顯示，系統加入並聯模式之後，可以降低電機的負擔以及有更大的拖曳能力，適合裝配在大型休旅車上。而 Ahn 等人[25]則分析系統在能量分配式與並聯模式切換的時機選擇，建立傳動系統效率的模型並比較各種切換策略，最後做策略的最佳化分析，找出並聯模式以及能量分配模式的平衡點。

### 1-3 研究動機與目的

混合動力系統涉及電能傳動系統與機械能傳動系統的整合，使混合動力機構較為複雜，不同元件的配置方式產生的特色與功能難以辨別。現有的研究與專利中介紹到大量各式各樣的系統，但是缺乏可辨別各構造功能、操作模式差異的方法，也較少有關於混合動力系統理念設計的研究。江承舜[1]提出之功能拓撲圖可對系統構造簡化其複雜度，但對於系統構造可達成之功能則缺少更仔細地探討。

本研究期望發展一套系統理念分析方法，可以清楚並容易地認識、辨別系統的特性與功能，理解各元件之規則與系統的限制。除此之外，亦期望發展一完整的合成方法，產生所有可能之設計概念，以建立混合動力系統的概念資料庫，可作為系統評估時的參考。

### 1-4 研究架構與步驟

本研究主要針對油電混合動力系統理念做探討，研究架構可分為混合動力系

統理念之分析與理念之合成評估兩部份。分析方面，首先介紹一圖畫表示法簡化混合動力系統之構造，接著探討構造之自由度，並分析各元件之間能量流動的狀態，建立系統容許與不容許之動力流規則，接著討論能量流動與扭力及轉速的關係，最後定義各種動力模式及行車模式的規則。

合成評估方面，首先建立混合動力系統的構造合成方法，然後建立動力流的合成方式，找出針對不同的構造可能的所有操作狀態，最後對系統做定性的評估，判斷系統可達成的功能。

本研究之各章節重點分述如下：

第一章 緒論：介紹研究背景、文獻回顧、動機目的，並說明研究的架構。

第二章 理論基礎及回顧：首先介紹混合動力系統的圖畫表示法，接著介紹混合動力系統發展的歷史、構造的演化以及現有構造的主要發展趨勢。

第三章 混合動力系統理念之分析：對組成混合動力系統的元件做定性的分析，討論構造的連接限制、規則，分析能量流動的狀態，最後並說明混合動力系統動力模式及行車模式的定義。

第四章 混合動力系統理念之合成：發展構造圖以及動力流圖的合成方法，以建立合成的資料庫。

第五章 系統理念之評估及改善方法：訂定系統評估項目，以一引擎一電機及一引擎兩電機之系統為例對系統進行評估、討論，並針對其中一評估項目提出改善的方法。

第六章 結論與建議：本研究之結論與未來展望。

## 第二章 理論基礎及回顧

### 2-1 功能拓樸圖

混合動力系統之構造較傳統車輛複雜，系統不易描述，使系統特性及差異不易辨別。圖畫表示法為一種可直觀呈現系統的方法，若能將系統透過圖畫表示，藉由圖畫以更清楚地表示各種概念，將有利於凸顯各系統的特徵。例如在系統控制的研究中，常透過方塊圖(block diagram)以及信號流圖(signal-flow graph)[26]來處理資訊，利用圖畫以簡化系統，表示系統之功能。

本研究將引用江承舜[1]所提出功能拓樸圖的概念，以功能拓樸圖表示混合動力系統。拓樸圖裡包含動力元件、能量儲存元件、能量分配元件、輸出元件以及能量傳遞的路線等。利用功能拓樸圖，有助於進行混合動力系統理念性的研究，本研究會使用到兩種功能拓樸圖：(1)構造圖 (2)動力流圖。構造圖可明確表示各系統之構造，動力流圖可呈現系統在各操作模式之能量流動情形。

功能拓樸圖為一種圖畫表示法，針對混合動力系統的構造做概念性的呈現，任何一個混合動力機構都可以轉換成功能拓樸圖來表示。此表示法可以幫助本研究辨別系統的構造差異，將構造的複雜度簡化，省略細部以及量化的資訊，例如傳動系統裡齒輪的類型與齒數等。透過功能拓樸圖，可以把擁有多動力源、多能量傳遞路徑的混合動力系統簡化表示，提供更一目瞭然的系統呈現方式。

#### 2-1-1 功能拓樸圖元件表示法

本節先介紹功能拓樸圖中會使用到的元件圖形。動力元件、能量儲存元件以及輸出元件以長方形來表示，動能控制器以圓形呈現，電能控制器以一粗點來表示。動力元件的部份，引擎的圖形以 ICE(internal combustion engine)來表示，

馬達以 M(motor)表示，發電機以 G(generator)表示，兼具馬達及發電機的電機則以 M/G(motor/generator)來表示。能量儲存元件的部分，電池以 B(battery)來表示。動能控制器的部份則以運動自由度來區分，單自由度的元件以 C(coupler)表示，兩自由度的以 PS(power split device)表示。系統的輸出元件則以 O(out)表示。構造內有離合器的地方將以虛線表示，制動器則在被制動的元件上多加一個外框來表示。表 2-1 為各元件名稱及其對應之圖形。

表 2-1 元件名稱及其對應之圖形

名稱	圖示	名稱	圖示
引擎	ICE	單自由度動能控制器 C	C
馬達	M	兩自由度動能控制器 PS	PS
發電機	G	電能控制器	●
電機	M/G	離合器	-----
電池	B	制動器	□
輸出元件	O		○

以下將針對各元件說明其特性及規則。

### 1. 動力元件

- 一、引擎可以將化學能轉換成動能輸出，不可由動能轉回化學能。引擎驅動時旋轉方向與提供扭力的方向都是固定且同一方向。
- 二、馬達可以將電能轉換成動能輸出，不可由動能轉回電能。馬達做正功，因此旋轉方向與提供的扭力方向需相同，旋轉方向與扭力方向可以同時順時鐘或同時逆時鐘方向。

三、發電機可以將動能轉換為電能，不可由電能轉動能。發電機做負功，旋轉方向與扭力方向相反。可以順時鐘旋轉，扭力在逆時鐘的方向；也可以逆時鐘旋轉，扭力在順時鐘的方向。

四、電機可以經由控制選擇作為馬達或者發電機，兼具兩者的特性。

## 2. 能量儲存元件

在油電混合動力系統上，能量儲存元件主要為電池。電池可以有三種操作狀態：不作用、充電或者放電。

## 3. 輸出元件

在混合動力車上通常為車輪。系統驅動車輛時能量經輸出元件輸出到外部；系統在煞車時做能量回收，能量由外部經輸出元件進入系統。

## 4. 單自由度動能控制器 C

此用來描述以一個自由度機構相連的情況，例如最簡單的齒輪組、軸與軸直接相連等。以單自由度動能控制器相連的桿件，轉速之間會存在一定的比例。

## 5. 兩自由度動能控制器 PS

此用來描述混合動力系統內以兩個自由度的機構相連的裝置，例如行星齒輪組。以此種裝置相連的桿件之間，速度關係可以調整，因此可以達到變速的功能。

## 6. 電能控制器

電能控制器可以控制電能的流動情形與方向，也能決定電池的操作情形。

## 7. 離合器、制動器

離合器可以將不同桿件接上或分離，離合器出現的位置用虛線來表示。當離合器接上時，虛線即轉換成實線，代表桿件之間實際連接。當離合器將桿件分離時，桿件之間沒有連結，虛線即可刪除而形成斷路；制動器可以將桿件接地，使桿件轉速為零，制動器出現的位置以在該元件上加一個外框來表示。當制動器作用時，無能量通過該元件，與之相連的動能線須刪除。

## 2-1-2 功能拓樸圖能量表示法

在油電混合動力系統內，能量的型式主要有機械能(動能)及電能。機械能的部分即類似傳統車輛的傳動系統，能量由引擎經過齒輪、軸等元件來傳遞；另一方面，和傳統車輛不同之處在於系統結合了電能的使用，系統可儲存電能，也可利用電能來輔助引擎輸出。油電混合動力系統是一個擁有兩種能量型式的環境。

功能拓樸圖內能量可以傳遞的路徑以能量線來表示，包含機械能及電能。機械能傳遞的路線(mechanical path)用粗黑線條表示，電能傳遞的路線(electrical path)以細線條表示，如表 2-2 所示。

能量流動的方向以在線條上標示箭頭來表示，如果該段沒有能量通過則能量線不加上箭頭。因此每條能量線會有三種可能情形：箭頭指向其中一端、另一端、或無箭頭。

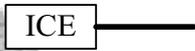
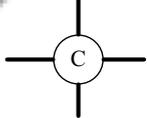
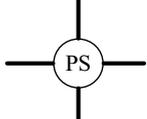
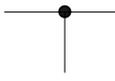
表 2-2 能量表示方式

機械能(動能)	電能
—	—

混合動力系統之各元件只能以特定的能量型式輸入或輸出，因此功能拓樸圖上不同的元件對應的能量線也不相同。引擎只能以動能的型式輸出，所以 ICE 只能和動能線相接；馬達得到電能輸出動能、發電機得到動能輸出電能、電機則是

動能與電能可以雙向傳遞，因此 M、G、M/G 一端接動能線另一端接電能線；輸出元件的傳遞是以動能的型式，所以 O 只能和動能線相接；電池只能傳遞電能，所以 B 只能和電能線相接；單自由度與雙自由度動能控制器可將經過的動能作分配或結合，僅傳遞動能，所以 C、PS 只和動能線相接。電能控制器作電能的分配或結合，所以只與電能線相接。表 2-3 介紹各元件對應之能量線種類。

表 2-3 元件對應之能量線種類

名稱	連接之能量線說明	圖示
引擎	僅與動能線相接。	
馬達	一端接電能線，一端接動能線。	
發電機	一端接電能線，一端接動能線。	
電機	一端接電能線，一端接動能線。	
輸出元件	僅一端有能量線與動能線相接。	
電池	僅與電能線相接。	
單自由度動能控制器	僅與動能線相接。	
兩自由度動能控制器	僅與動能線相接。	
電能控制器	僅與電能線相接。	

### 2-1-3 構造圖表示法

構造圖(structure graph)為功能拓撲圖的第一種型式。構造圖將混合動力系

統的構造簡化，呈現各元件之間的連接情形。構造圖省略了系統內詳細的數值資訊，例如齒輪的齒數比、軸的半徑等定量資訊，簡化為一種定性上的模型，便於理解系統的特徵。如果系統內有離合器或制動器存在，構造圖上需標示出其安裝位置，但不考慮其作用情形，只呈現構造最原始的模樣。構造圖重點在於描述構造接合方式，沒有能量流動的資訊，因此構造圖上的能量線皆為無箭頭之線條。在此以 Prius[5] 之運動圖轉換為構造圖為例，圖 2-1 Prius 之運動圖，圖 2-2 Prius 之構造圖

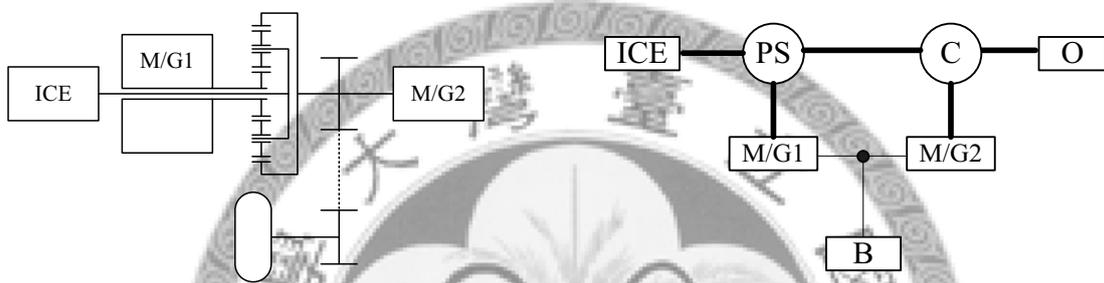


圖 2-1 Prius 之運動圖

圖 2-2 Prius 之構造圖

#### 2-1-4 動力流圖表示法

第二種功能拓撲圖型式為動力流圖(power flow graph)。動力流圖為在構造圖的能量線加上箭頭，表示能量流動的路線與方向。同一個構造在不同的操作模式下，能量的傳遞狀態不太相同，一個動力流圖僅代表一個構造在其中一種操作模式下的情況。如果構造有多種操作模式，則一個構造圖可以對應到不只一種的動力流圖。圖 2-3 Prius 純電動模式的動力流圖，能量只由電池提供經由電機 2 直接傳遞到輸出元件，電機 1 不作用，引擎保持靜止。

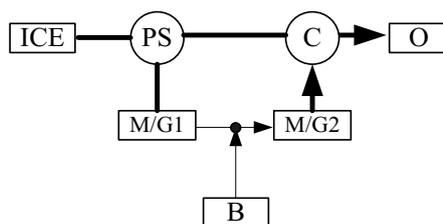


圖 2-3 Prius 純電動模式的動力流圖

## 2-2 油電混合動力系統的構造演化

此小節回顧混合動力構造在概念上的發展，並以功能拓撲圖來呈現各種構造。構造的發展可依有無電子式無段變速[7]來分界，90 年代之後上市的混合動力車多數有此功能，此種機構使用的元件數量較多，構造也較為複雜。而沒有電子式無段變速的構造則屬於較簡單的型式。

### 2-2-1 非電子式無段變速

從混合動力系統出現直到大約 90 年代以前，混合動力系統主要以串聯混動以及並聯混動兩種較基本的型式佔大部分，外加少數幾款特殊的型式。這段期間構造大都維持類似的概念，較無明顯的大突破。

#### 1. 串聯混動 (series hybrid)

串聯系統的出現是單純將引擎視為延伸電動車行駛里程的備用能量來源，在電動車的電池即將耗盡時，如果備有一個油箱及一部引擎，就可以使引擎驅動發電機替電池充電而繼續行駛。串聯就像額外增加一部引擎和一部發電機在原本由電池和一部電機所組成的電動車上。引擎驅動發電機，發電機產生電能再提供給馬達，最後由馬達驅動車輛。圖 2-4 為電動車之構造圖，圖 2-5 為串聯之構造圖。



圖 2-4 電動車構造圖

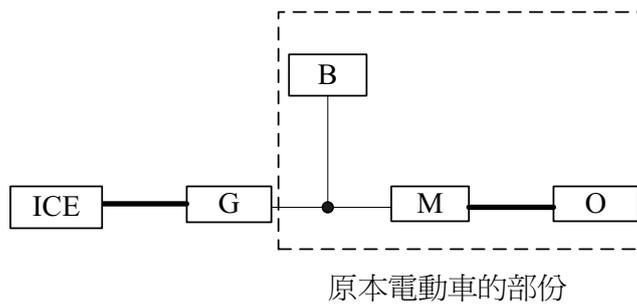


圖 2-5 串聯構造圖

## 2. 並聯混動 (parallel hybrid)

車輛可以單獨靠引擎來驅動，也可以引擎和電機(作為馬達)同時驅動；電池電量不足時引擎可以對電機(作為發電機)發電。引擎與輸出元件有直接的相連，因此引擎能量型式不需經過轉換即可傳遞至車輪來驅動車輛。圖 2-6 為並聯之構造圖。

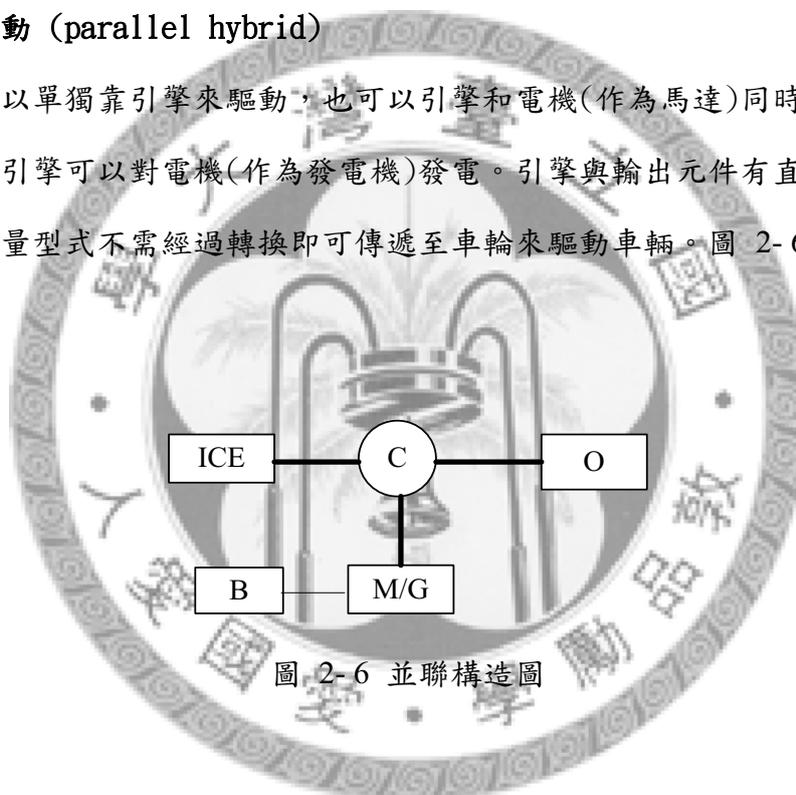


圖 2-6 並聯構造圖

## 3. 可更換動力源之混合動力

OPEL 在 1992 年發表的 *Twin*[2]，車輛可根據車主的需求來對車上的動力模組做更換，有電力驅動模組以及汽油驅動模組可選擇。此設計將動力源以及後輪整合為一個可拆卸更換的構造，在裝上電力模組後，即成為一台純電動車；如果換上汽油模組，則成為一台引擎車。圖 2-7 為 *Twin* 之構造圖。

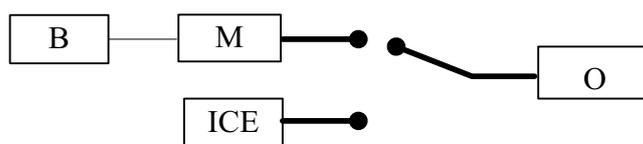


圖 2-7 Twin 構造圖

#### 4. 汽油輔助之電動車

A. Aronson[2]在 1975 年發表一部拖車式的混合動力車，如圖 2-8。在一般情況下為純電動車，車上只有電池與電機，如果需要做長途的旅行，超過電池所能負荷的距離時，則可加裝一部拖車連接在車後。拖車本身含有一油箱、一部引擎以及發電機，可以替車上電池充電，延長行駛距離，連接後就類似串聯的型式。

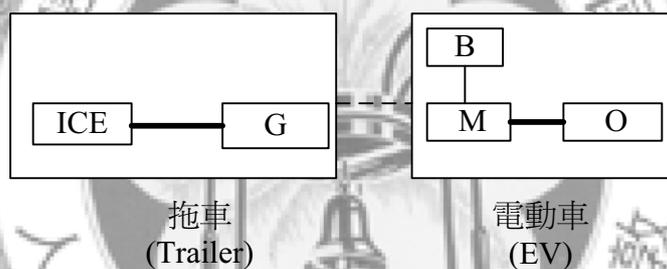


圖 2-8 Aronson 設計之構造圖

#### 2-2-2 電子式無段變速

90 年代之後上市的混合動力車，混合動力傳動系統大多配有一個或一個以上的行星齒輪組機構，同時搭配兩部電機。傳動系統在使用兩部電機後增加了控制上的自由，能量流動的型式更多元，可增加更多的操作功能。此小節將介紹行星齒輪組與兩部電機的搭配在混合動力系統內帶來哪些特色，並介紹電子式無段變速系統的概念。

## 1. 行星齒輪組

行星齒輪組有兩個運動自由度，如果引擎接在行星齒輪組上的其中一桿，另外兩桿的轉速改變可不影響到引擎，行星齒輪組可使引擎轉速可維持固定而不受輸出元件的影響，以達到變速的功能。

在串聯混動系統內，引擎和輸出元件並沒有直接的連接，引擎不受到車輛行駛狀態的影響，使引擎可操作在最佳效率的區間。在並聯混動系統內，引擎和電機連接在單運動自由度的機構上，引擎與電機都可同時直接傳遞能量給輸出元件。並聯混動相較於串聯混動的劣勢在於，引擎和輸出元件有直接的連接，引擎會受到輸出元件狀態的影響。並聯混動比起串聯系統的優勢在於，並聯系統內引擎能量不需轉換為電能輸出，可減少能量轉換過程的損失。

行星齒輪組結合了串聯與並聯的優點。藉由行星齒輪組，引擎在調整轉速的同時也不需將能量轉成電能，引擎能量可直接往輸出元件傳遞。行星齒輪組是電子式無段變速系統中的重要元件。

有些混合動力傳動系統使用一個行星齒輪組，有些使用兩個，例如一些可變換混合動力模式的構造；又有些系統使用三個以上行星齒輪組的機構，可以達成的操作模式就會更多。

## 2. 構造兩部電機

如果引擎運轉的區段可自由決定，引擎的效率可以提高。傳動系統利用兩部電機來調整引擎的輸出，其中一部電機與引擎接在行星齒輪組上，調整引擎的轉速；另一部電機用來支援車輛所需的扭力，填補引擎的輸出扭力與車輛需求扭力之間的差距，使引擎扭力可更自由地控制。

兩部電機配置在引擎與輸出元件之間，分別調整引擎的轉速與扭力，提供類似緩衝的效果，使得輸出元件的運動狀態不直接影響到引擎，以提高引擎效率。

### 3. 電子式無段變速

當輸出元件狀態決定後，引擎的轉速與扭力仍然可調整時，系統便有了變速箱的功能。引擎的轉速利用接在行星齒輪組上的電機來調整，使得引擎與輸出元件間的轉速比可以改變。而引擎與輸出元間之間的扭力比則由另外一部電機來調整。在此系統內，轉速比與扭力比的改變是由電機本身的轉速與扭力控制，是連續性的變化，不同於傳統變速箱的固定減速比。

當傳統變速箱換檔時，由離合器將變速箱的齒輪組鎖在一固定的減速比上，屬於機械式的變速。然而此類型的混合動力機構，轉速與扭力是利用電機來調整，並非藉由離合器來調整，屬於電子式的變速，因此又可稱**電子式無段變速箱** [6](e-CVT, electronic continuously variable transmission)。

#### 2-3 電子式無段變速(e-CVT)的應用

電子式無段變速(e-CVT)構造複雜，現在許多的混合動力車上都具有此種功能。利用引擎與輸出端之間的兩部電機，利用控制系統調整車上兩部電機的轉速或扭力，來達到類似傳統變速箱變速的功能。

此類構造有多種型式，可根據無段變速模式是否可變換來分類[24]，例如有些系統只擁有一個無段變速的範圍(模式)，稱為單模式(1-mode)構造；當系統擁有兩個以上的無段變速範圍(模式)，稱為雙模式(2-mode)構造。有些系統除了可在兩個無段變速範圍之間切換，還可切換成並聯的模式，稱為雙模式及固定減速比(2-mode with fixed gear ratios)構造。當系統擁有兩個無段變速之範圍，車輛可利用控制系統判斷合適的時機來操作離合器，對混合動力系統的構造進行變化，使系統在不同範圍的無段變速之間做切換。

此小節將已上市的混合動力車為例，列舉出其中幾個有電子式無段變速功能的系統做介紹。

## 1. 單模式(1-mode)

單模式為最簡單的電子式無段變速系統，沒有離合器，所以構造無法改變，只有單一種模式。Prius 屬於單模式電子式無段變速的系統，構造僅使用一個行星齒輪組，外加兩部電機，沒有離合器，如圖 2-9。Prius 的引擎接在行星架上，MG1 接在太陽齒輪上，而 MG2 與輸出元件接在環齒輪。行星齒輪作為能量分配的元件，可將一部份引擎能量經由環齒輪直接傳到輸出元件，一部份引擎能量可以經由太陽齒輪進入 MG1(作為發電機)，轉變成電能。

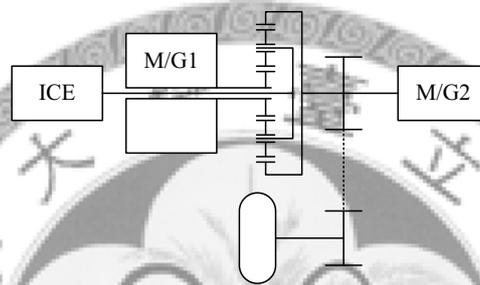


圖 2-9 Prius 運動圖

## 2. 雙模式(2-mode)

雙模式之系統有兩個以上之行星齒輪組，並配置有離合器，模式之變換可經由離合器之操作來達成。GM (General Motors) 2-mode EVT[24] 即屬於雙模式的系統，含有兩個電子式無段變速的範圍，運動圖如圖 2-10。該構造使用三個行星齒輪組，兩部電機，加上兩個離合器，兩模式之間的切換可由離合器來完成。離合器操作順序如表 2-4，當離合器 C1 接上而 C2 不作用時，系統操作在第一個無段變速模式。當離合器 C2 接上而 C1 不作用時，系統便會操作在第二無段變速模式。擁有雙模式的系統可以依照當時的行車狀態，來選擇不同的模式，將構造操作在效率比較高的模式下。單模式無論在什麼行車狀態都只能用固定的構造，雙模式系統因為多了選擇性，傳動系統的效率較單模式高。

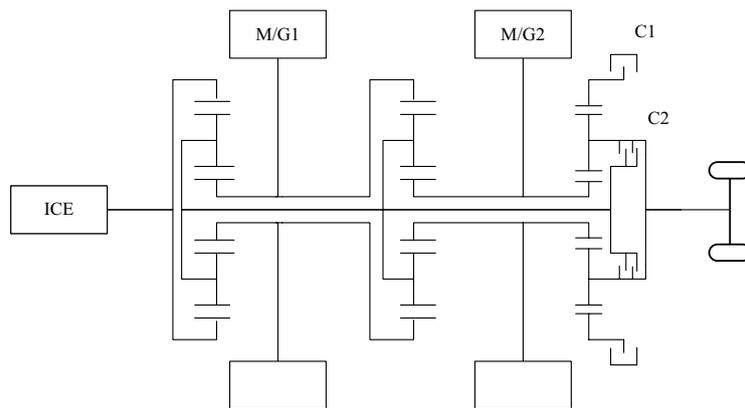


圖 2-10 GM 2-Mode EVT 運動圖

表 2-4 GM 2-Mode EVT 離合器操作順序

模式	C1	C2
第一無段變速模式	ON	
第二無段變速模式		ON

### 3. 雙模式及固定減速比(2-mode with fixed gear ratios)

雙模式及固定減速比的系統除了有兩個電子式無段變速範圍，還可以提供類似傳統變速箱裡的固定減速比功能，產生固定的檔位。GM 使用在 Two-Mode Hybrid Saturn VUE [27] 混合動力車上的編號 2MT70 變速箱即屬於此類型，構造內含有兩個行星齒輪組、兩部電機，再加上四個離合器，如圖 2-11 所示，而離合器操作順序如表 2-5。

此類型構造特別之處在於有固定減速比的功能，當系統操作在固定減速比模式時，傳動系統就像一個傳統變速箱，成為機械式的變速裝置，不再需要透過接在行星齒輪組上的電機來做變速的功能，使電機可暫時停止作用。此時能量不需經過電機，電能路徑不需傳遞能量，沒有能量須在電能與機械能之間做轉換，可以減少能量轉換過程的消耗，提高傳動系統的效率。

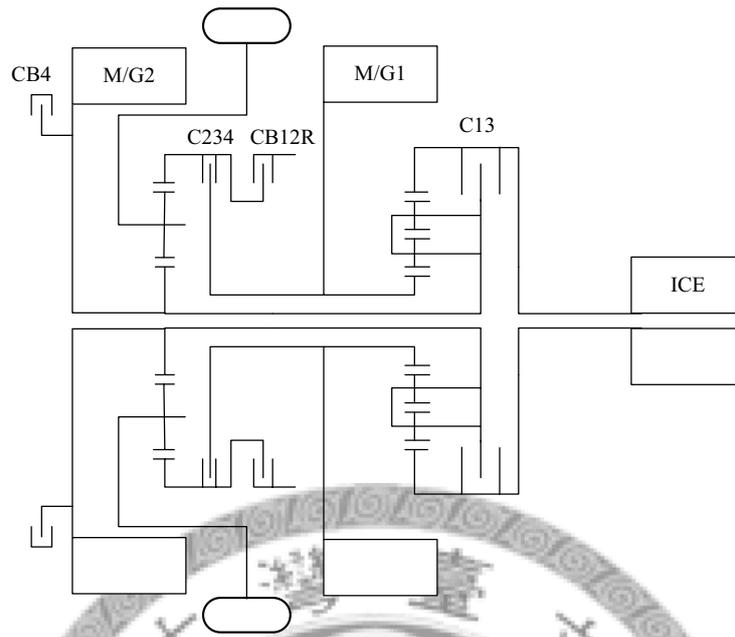


圖 2- 11 Two-Mode Hybrid Saturn VUE 運動圖

表 2- 5 Two-Mode Hybrid Saturn VUE 離合器操作順序

模式	CB12R	C234	C13	CB4
第一無段變速模式	ON			
1 檔	ON		ON	
2 檔	ON	ON		
第二無段變速模式		ON		
3 檔		ON	ON	
4 檔		ON		ON

除了 2MT70 變速箱，GM 還有另一款功能類似的變速箱 2-mode hybrid[24]同樣具有雙模式與固定減速比的功能。此變速箱使用在 Chevrolet Tahoe Hybrid 與 GMC Yukon Hybrid SUV 兩款混合動力休旅車上，運動圖如圖 2-12 所示。該構造使用三個行星齒輪組與四個離合器，其中離合器操作順序如表 2-6。

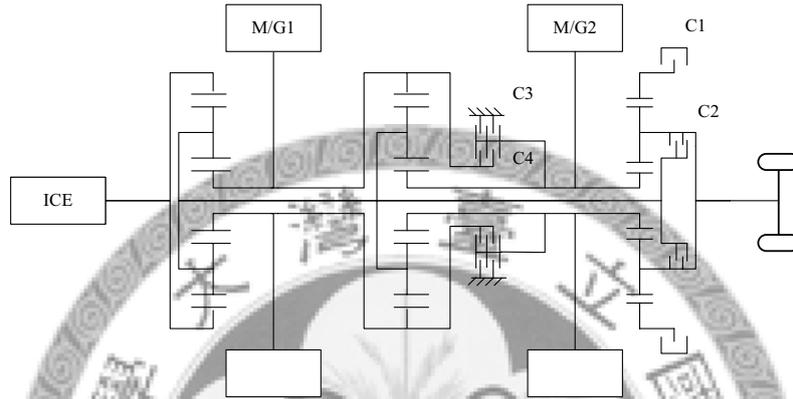


圖 2-12 2-Mode Hybrid 運動圖

表 2-6 2-mode hybrid 離合器操作順序

模式	C1	C2	C3	C4
第一無段變速模式	ON			
1 檔	ON			ON
2 檔	ON	ON		
第二無段變速模式		ON		
3 檔		ON		ON
4 檔		ON	ON	

### 第三章 混合動力系統理念之分析

本研究引用之功能拓樸圖可將混合動力機構化簡，將系統的運動圖轉換成為構造圖，清楚地呈現出構造內動能控制器與動力元件、輸出元件之間的連接方式，使構造之複雜度降低。針對簡化後之系統，其能量流動的方式、狀態以及可以達成的功能等，將是進一步需要探討的主題。

本章將對功能拓樸圖之各元件做定性的分析，補充一些動力流的規則至功能拓樸圖上，將系統定性的概念做完整的解釋。經由建立各元件與各能量線在拓樸圖上的規則與限制，可以建構出系統合成設計的條件與限制，並清楚辨認系統的功能。

本章 3-1 節首先討論構造圖內動能控制器的性質。3-2 節討論能量在構造圖上流動的規則。3-3 節討論桿件能量與扭力及轉速的關係。3-4 節與 3-5 節將對車輛的動力模式及行車模式下定義。

#### 3-1 動能控制器之運動自由度與扭力自由度

混合動力車輛與傳統車輛在動力元件數上有很大的差異，系統為了達成「混合」的效果，至少會有兩個以上的動力元件。不同的動力元件或動力元件的配置位置，都會產生不同功能的混合動力系統。

在功能拓樸圖上，動能控制器負責將各個動力元件之間相連，動能控制器的排列方式影響到動力元件的配置。動能控制器以運動自由度區分，可分為單自由度動能控制器(C)以及兩自由度動能控制器(PS)，這兩種動能控制器為組成混合動力系統的最基本元素，所有複雜的機構都可其組合而成。本節將探討動能控制器的運動自由度以及扭力自由度規則。

### 3-1-1 單自由度動能控制器

#### 一、運動自由度

單自由度動能控制器指的是以一個自由度機構相連的情況，相連桿件的轉速存在一定比例關係的連接裝置。在構造圖上以 C 來表示，而與 C 相連的動能線數目( $N_c$ )必須大於或等於 3。如果相連動能線數只有二，在功能拓撲圖上 C 可以省略，不需標示出來。構造圖上與 C 相連的動能線可以是虛線(存在離合器)。

如果在 C 上加裝一個制動器將 C 給制動，則 C 會降低一個運動自由度，使得自由度變為零，與 C 相連的桿件都會被制動，轉速都會為零；如果在 C 上加裝一離合器將某一相連的桿件給切開，則與 C 連接的桿件數減少 1，但是不影響運動自由度。

#### 二、扭力自由度

動能控制器相連的桿件之間，其中可以自由決定扭力的桿件數目稱作扭力自由度。如果扭力自由度是一，已知一桿件的扭力後其他桿件的扭力就會被確定，且所有相連桿件的扭力會呈一個比例關係；如果扭力自由度是二，一桿扭力確定後，還必須再知道另一桿的扭力，也就是須確定 2 桿的扭力才可決定所有相連桿件的扭力。

今以連接三桿件的 C 為例說明，三根桿件的轉速與扭力分別以  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$  與  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$  來表示。轉速乘上扭力就等於功率，所有流進 C 的功率必定等於流出的功率，可得方程式(3.1)：

$$\omega_1\tau_1 + \omega_2\tau_2 + \omega_3\tau_3 = 0 \quad (3.1)$$

當三根桿件透過 C 相連時，彼此轉速必呈一定比例關係，可以將  $\omega_2$ 、 $\omega_3$  以  $\omega_1$  來表示，其速度比例分別以  $k_1$ 、 $k_2$  來表示，如方程式(3.2)、(3.3)中所示。

$$\omega_2 = k_1\omega_1 \quad (3.2)$$

$$\omega_3 = k_2 \omega_1 \quad (3.3)$$

將方程式(3.2)、(3.3)代回方程式(3.1)，且當 $\omega_1$ 不為零時，可得方程式(3.4)：

$$\tau_1 + k_1 \tau_2 + k_2 \tau_3 = 0 \quad (3.4)$$

由方程式(3.4)可知， $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$ 其中兩者的扭力可自由決定，代表此三根與C相連的桿件中，其中兩桿的扭力可以自由決定，扭力自由度為二。

當與C相連的桿件數增加，方程式(3.4)也可以推演到更多桿件的情況下，扭力自由度會是與C相連的桿件數減一( $N_c - 1$ )。例如有四根桿件與C相連，則此四桿之間的扭力自由度為三；有五桿與C相連時，則此五桿之間的扭力自由度為四。表 3-1 整理出單自由度動能控制器C的運動自由度、扭力自由度與相連的動能線數目規則。

表 3-1 C 的運動自由度、扭力自由度及相連動能線數目

	運動自由度	扭力自由度	相連動能線數目
單自由度動能控制器	1	$N_c - 1$	3 以上

本研究中如果無特別強調，則所出現的「自由度」都是指「運動自由度」；欲表示扭力自由度時，會用完整的名稱「扭力自由度」來表示。

### 3-1-2 兩自由度動能控制器

#### 一、運動自由度

此用來描述以兩個自由度的機構相連的情形，在構造圖上以PS來表示。此動能控制器運動自由度為2，與之相連的所有桿件中，可以任意決定其中兩桿的轉速。與PS相連的動能線數目( $N_{ps}$ )必須大於或等於三，如果相連動能線數目為二，

會無法控制而形成斷路，在構造圖上必須移除。

如果在 PS 上裝一制動器將某一桿件制動，則運動自由度會下降一，變成單自由度動能控制器，PS 會變成 C；如果在 PS 上有兩個制動器作用，也就是 PS 上的其中兩根桿件接地，則運動自由度會下降二，使得運動自由度變為零，所有桿件都會無法運動。如果在 PS 上裝一離合器將某一桿件切開，不影響運動自由度，仍然維持運動自由度為 2，但是所剩的動能線數目不能小於二，否則 PS 會無法控制變成斷路。

## 二、 扭力自由度

與 PS 相連的桿件之間的扭力自由度也可以能量的觀點推導得到，PS 的扭力自由度為相連的桿件數減二。假如有 3 根桿件和 PS 相連，則扭力自由度為 1，三根桿件之間的扭力會有一比例關係，已知其中一桿的扭力就可求出另外兩桿的扭力；如果有 4 桿與 PS 相連，則之間的扭力自由度為  $4-2=2$ ，必須知道其中兩桿的扭力才可求出另外兩桿。表 3-2 整理出兩自由度動能控制器 PS 的運動自由度扭力自由度與相連的動能線數目規則。

表 3-2 PS 的運動自由度、扭力自由度及相連動能線數目

	運動自由度	扭力自由度	相連動能線數目
兩自由度動能控制器	2	$N_{ps}-2$	3 以上

## 3-2 動力流

當混合動力系統運作時，能量會在各元件之間流動，以功能拓樸圖表示系統時，構造圖上的能量線必須標上箭頭表示能量流動方向。能量流動時必須遵照能量守衡的原則，經過動能控制器的能量有進就必須有出，能量線的箭頭不可全部指向動能控制器或箭頭全部由動能控制器朝外。動力流除了能量守衡的條件外，各種元件與動能控制器依據其特性而各自有不同的動力流規則，以下將對各元件與動能控制器的容許以及不容許之動力流狀態進行探討。

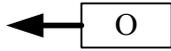
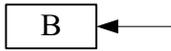
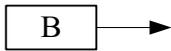
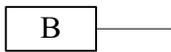
### 3-2-1 元件之動力流

一條能量線有 3 種可能的動力流狀態：箭頭指向元件、箭頭遠離元件、無箭頭。視能量線與何種元件相接，動力流實際情形必須符合元件本身的性質，並非所有元件都適用各種動力流方向，元件對應之動力流狀態如表 3-3。

發電機、馬達和電動機除了可以有能量進出之外，還有空轉的操作模式。空轉時沒有能量通過，與之相連的動能線處於扭力為零的狀態，與之相連的電能線則沒有電能通過。至於電池的部份有三種的操作模式，充電、放電以及電池靜止不作用。

有些元件必須特別注意：例如引擎即使關閉，仍然會有阻力存在，因此引擎沒有空轉的操作模式。引擎只有驅動、煞車，或是靜止；輸出元件也沒有空轉的型式，輸出元件僅可以有能量流進、流出，或者完全靜止(停車)。

表 3-3 元件對應之動力流狀態

元件	可能之動力流狀態種類	動力流狀態說明	動力流圖示	動力流圖意義
引擎 (ICE)	3	引擎輸出動能		引擎驅動
		動能進入引擎		引擎煞車
		無動力流通過		引擎靜止
發電機 (G)	2	動能進入發電機 發電機輸出電能		作發電機
		無動力流通過		發電機空轉
馬達 (M)	2	電能進入馬達 馬達輸出動能		作馬達
		無動力流通過		馬達空轉
電機 (M/G)	3	電能進入電機 電機輸出動能		作馬達
		動能進入電機 電機輸出電能		作發電機
		無動力流通過		電機空轉
輸出元件 (O)	3	動能進入輸出元件		驅動車輛
		輸出元件輸出動能		煞車回充
		無動力流通過		停車
電池 (B)	3	電能進入電池		電池充電
		電池輸出電能		電池放電
		無動力流通過		電池靜止

### 3-2-2 動能控制器之動力流

動能控制器在構造圖上的連接規則在 3-1 節已經討論，接下來將討論動能控制器在動力流圖中的能量流動規則。除了能量守衡，通過動能控制器的動力流還有特殊的規定。動能控制器的動力流規則與其運動自由度、扭力自由度息息相關。本研究將討論四種最常見的動能控制器，包含  $N_c=3$  的 C 與  $N_c=4$  的 C 與  $N_{ps}=3$  的 PS 以及  $N_{ps}=4$  的 PS。

### 3-2-3 單自由度動能控制器

#### 1. 三桿件相連之單自由度動能控制器( $N_c=3$ 之 C)

$N_c=3$  的單自由度動能控制器的扭力自由度為 2，三端扭力之間沒有固定比例關係，當一端扭力決定後，還有一端的扭力可以任意決定。扭力的方向會直接影響動力流的方向，有一端的扭力可以任意決定代表有一端的動力流方向可以任意決定。以圖 3-1 為例，只要滿足能量守衡，連接端 1 與 2 的動力流方向已經決定，第 3 端的動力流方向可以任意，也就是第三端的動力可以流進 C、由 C 流出，或者不做功。因此在有能量經過的情況，最多可能有一桿無動力流通過。當該端不做功時其代表的意義便是該端處在空轉的狀態，該端有轉速但扭力為零。

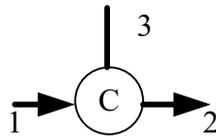


圖 3-1  $N_c=3$  之動力流狀況

以下列出  $N_c=3$  的 C 動力流的規則，繪製動力流圖時必須遵守。

$N_c=3$  的 C 動力流規則：

1. 當 C 沒有能量通過時，與 C 相連的動能線都不標上箭頭

2. 當 C 有能量通過時，至少兩條動能線要有箭頭
3. 當 C 有能量通過時，為符合能量守恆，至少有一個向內箭頭和一個向外箭頭

## 2. 四桿件相連之單自由度動能控制器( $N_c=4$ 之 C)

$N_c=4$  的 C 扭力自由度為三，當一端扭力決定後，還有兩端可以任意決定扭力。以圖 3-2 為例，當連接端 1 與 2 的動力流方向決定後，只要有滿足能量守恆的規則，第 3 端與第 4 端的動力流方向皆可以任意決定，可以流進 C、由 C 流出，或者不做功。因此在有能量經過的情況，最多可能有兩桿無動力流。

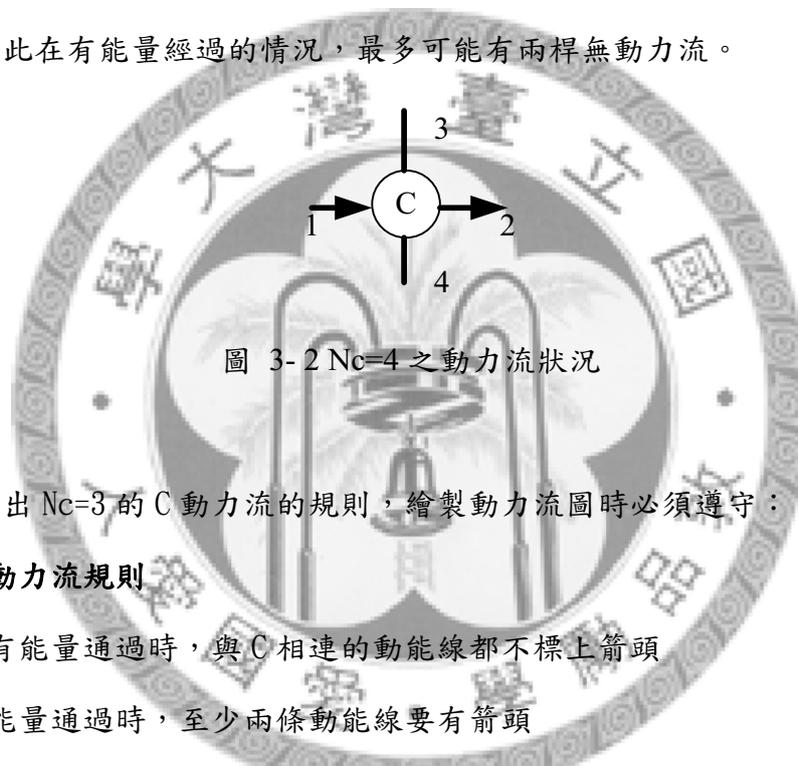


圖 3-2  $N_c=4$  之動力流狀況

以下列出  $N_c=3$  的 C 動力流的規則，繪製動力流圖時必須遵守：

### $N_c=4$ 的 C 動力流規則

1. 當 C 沒有能量通過時，與 C 相連的動能線都不標上箭頭
2. 當 C 有能量通過時，至少兩條動能線要有箭頭
3. 當 C 有能量通過時，為符合能量守恆，至少有一個向內箭頭和一個向外箭頭

## 3-2-4 兩自由度動能控制器

### 1. 三桿件相連之兩自由度動能控制器( $N_{ps}=3$ 之 PS)

$N_{ps}=3$  的 PS 扭力自由度為 1，代表 3 端之間的扭力永遠存在某一比例關係，一端決定扭力後，另外兩端扭力也跟著確定。當 PS 其中一端有扭力作用時，三端都同時會有扭力作用，也代表當一端扭力決定後，沒有其他端可以再自由控制扭

力。在有能量經過的情況，因為三桿件都同時會有扭力，與 PS 相連的三端都同時得有動力流通過。

PS 的三端都同時有動力流通過，除了在某一速度(機械節點)例外， $N_{ps}=3$  的 PS 才只有兩端有動力流。當機械節點時 PS 上會有一桿速度恰巧為零，因此動力流也在那一刻剛好為零。機械節點發生在 PS 其中兩根桿件速度在某一特定比例，除非使用離合器將減速比固定，系統不會一直操作在該狀態。因此如果希望能量只經過  $N_{ps}=3$  的 PS 其中兩端，則必須使用離合器將 PS 其中一端制動，使之轉速為零。

C 可以只有其中兩端有能量通過， $N_{ps}=3$  的 PS 三端都得有動力流通過。將 PS 一端制動，降低一自由度即可變成 C。不可以將其中一端切開，否則會變成只有兩條動能線的 PS，會無法控制形成斷路。

以下列出  $N_{ps}=3$  的 PS 動力流的規則，繪製動力流圖時必須遵守：

#### **$N_{ps}=3$ 的 PS 動力流規則**

1. 當 PS 沒有能量通過時，與 PS 相連的動能線都不標上箭頭
2. 當 PS 有能量通過時，三條動能線都要有箭頭
3. 當 PS 有能量通過時，為符合能量守恆，至少有一個向內箭頭和一個向外箭頭

#### **2. 四桿件相連之兩自由度動能控制器( $N_{ps}=4$ 之 PS)**

$N_{ps}=4$  的 PS 扭力自由度與運動自由度皆為 2，無論是扭力或轉速都不再有固定比例關係，特性因此和前 3 種動能控制器較不相同。運動自由度為 2，代表可任意決定其中兩端的轉速，兩端轉速決定後，PS 的第三端及第四端的轉速即可利用運動方程式求出。扭力自由度也為 2，必須知道 PS 其中兩端的扭力，才可求出另外兩端的扭力。

各桿件的扭力之間沒有固定比例關係，當一端扭力決定後，還有一端的扭力可以任意決定。扭力的方向會直接影響動力流的方向，有一端的扭力可以任意決

定代表有一端的動力流方向可以任意決定。當其他 3 端的動力流方向決定後，只要符合能量守恆，第 4 端就可以任意決定動力流方向。

當機械節點時，PS 上會有一桿速度恰巧為零，因此該桿動力流也會在那一刻剛好為零。因此  $N_{ps}=4$  的 PS 相連的四端在機械節點時可以只有兩端有動力流經過。不過機械節點發生在車速與引擎轉速某一特定減速比，除非使用離合器將減速比固定，系統不會一直操作在該狀態。除了機械節點，在有能量通過的情況下， $N_{ps}=4$  的 PS 可以控制其中一端的扭力可以為零，處在空轉的狀態，讓其中一端沒有動力流通過。

將  $N_{ps}=4$  的 PS 一端制動會降低一自由度變成 C，動力流即依照 C 的規則。將  $N_{ps}=4$  的 PS 一端用離合器切開會變成  $N_{ps}=3$  的 PS，動力流即依照  $N_{ps}=3$  的 PS 規則。

以下列出  $N_{ps}=4$  的 PS 動力流的規則，繪製動力流圖時必須遵守。

**$N_{ps}=4$  的 PS 動力流規則：**

1. 當 PS 沒有能量通過時，與 PS 相連的動能線都不標上箭頭
2. 當 PS 有能量通過時，至少三條動能線要有箭頭
3. 當 PS 有能量通過時，為符合能量守恆，至少有一個向內箭頭和一個向外箭頭

### 3-2-5 不容許之動力流狀態

元件的動力流狀態與動能控制器的動力流狀態相結合，構成了動力流圖中可能的能量流動情形。當元件與動能控制器搭配時，兩者動力流特性會互相影響。由於引擎與輸出元件本身的特性為不可以空轉，當沒有能量通過時，引擎與輸出元件都必須為靜止的狀態。而沒有動力流經過並不足以代表元件完全靜止，僅代表轉速或扭力其中之一為零，桿件要完全靜止必須該端的扭力以及轉速都為零。因此與引擎和輸出元件有關的動力流狀態須特別討論，

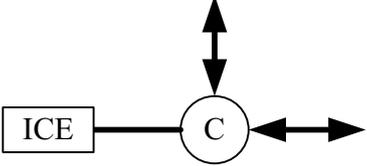
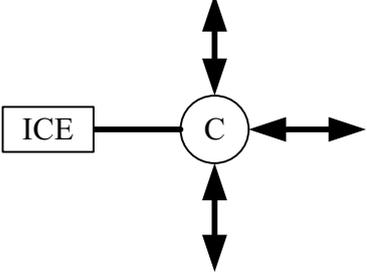
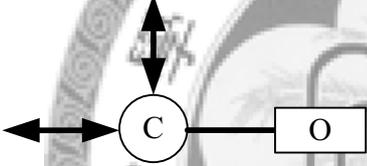
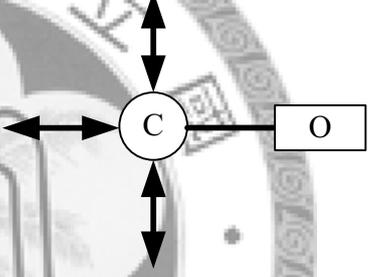
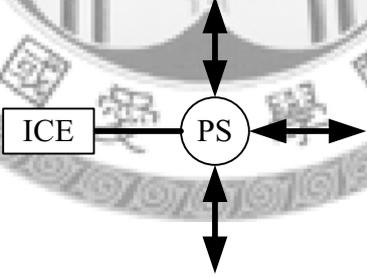
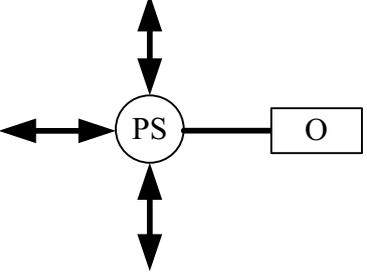
在動力流圖中，轉速為零而扭力不為零的情況必須透過制動器將該桿件制動。扭力為零而轉速不為零的情況不需透過離合器或制動器即可在動力流圖上成立，因此必須特別篩選動力流圖中扭力為零而轉速不為零的情況。

空轉只可能發生在元件與扭力自由度為二以上動能控制器相接時。空轉時，其他桿件持續有有扭力作用，而空轉的桿件扭力為零。因此引擎或輸出元件的空轉發生在當動能控制器其他端有動力流通過，而與引擎或輸出元件相接端沒有動力流時。當動力流圖上出現代表引擎或輸出元件空轉，為不容許的動力流狀態，規則與說明如下，並整理於表 3-4。

#### 不容許之動力流狀態：

1. 當引擎和 C 相連，與引擎相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭。
2. 當輸出元件和 C 相連，與輸出元件相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭。
3. 當引擎和 Nps=4 的 PS 相連，與引擎相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭。
4. 當輸出元件和 Nps=4 的 PS 相連，與輸出元件相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭。

表 3-4 不容許之動力流狀態

<p>(1) 當引擎(ICE)和 C 相連，與 ICE 相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭</p>	
	
<p>(2) 當輸出元件(O)和 C 相連，與 O 相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭</p>	
	
<p>(3) 當引擎和 Nps=4 的 PS 相連，與 ICE 相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭</p>	
	
<p>(4) 當輸出元件和 Nps=4 的 PS 相連，與 O 相連的動能線沒有箭頭，其他動能線有箭頭</p>	
	

### 3-3 動能控制器之運動方向與扭力方向

本小節將探討和動能控制器相連之桿件其動力流方向與扭力方向、旋轉方向的關係。不同的動能控制器連接桿件時，會受到其特性的影響，使得動力流在轉速、扭力之間有特殊的規則，亦即並非所有動力流狀態在任何速度下都可以成立。例如在某些配置情況，動力流方向必須與轉速或扭力一致，改變動力流方向會使得轉速或扭力方向跟著變動。以下將常出現的動能控制器包括  $N_c=3$  與  $N_c=4$  的 C 與  $N_{ps}=3$  與  $N_{ps}=4$  的 PS，分別討論其動力流方向與運動方向、扭力方向的關係。

#### 3-3-1 單自由度動能控制器

##### 1. 三桿件相連之單自由度動能控制器( $N_c=3$ 之C)

C 的運動自由度只有一，與 C 相連的各端轉速會呈固定比例關係。假設其中一端旋轉方向固定後，另外兩端旋轉方向也將被迫固定，桿件之間的轉速比例無法改變。動力流 = 轉速  $\times$  扭力，C 的動力流方向改變只能藉由扭力方向改變來達成。以圖 3-3 為例，假設桿件 1 接上引擎，桿件 1 速度方向將固定，其他兩桿速度方向也會固定。操作模式(A)和操作模式(B)中第 3 桿件動力流方向相反，代表第 3 桿件的扭力必須為相反的方向。假定桿 3 在操作模式(A)扭力為正，操作模式(B)的桿 3 扭力就為負，反之亦然。

可得到  $N_c=3$  運動方向與扭力方向的規則：

桿件之間的轉速比例無法改變，動力流方向的改變只能藉由扭力方向的改變來達成。

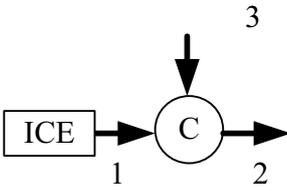
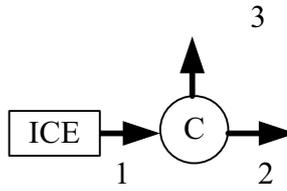
	(A)	(B)
動力流狀態		
扭力	$\tau_3$	$-\tau_3$
說明	桿件動力流方向不同，代表扭力方向不同	

圖 3-3  $N_c=3$  之運動方向與扭力方向

## 2. 四桿件相連之單自由度動能控制器( $N_c=4$ 之C)

$N_c=4$ 的C運動自由度是一，扭力自由度是三，其動力流方向與轉速、扭力的關係和 $N_c=3$ 的C相同。 $N_c=4$ 運動方向與扭力方向的規則：

桿件之間的轉速比例無法改變，動力流方向的改變只能藉由扭力方向的改變來達成。

### 3-3-2 兩自由度動能控制器

#### 1. 三桿件相連之兩自由度動能控制器( $N_{ps}=3$ 之PS)

$N_{ps}=3$ 的PS運動自由度為二，扭力自由度只有1，與PS相連的三端扭力之間會呈一固定比例關係。假設一端扭力方向固定後，另外兩端扭力方向也將被迫固定。PS相連桿件之間的扭力比例無法改變，只能改變速度的比例。PS的動力流向改變只能藉由桿件之間不同的旋轉方向來達成。

以圖 3-4 為例，假設桿件 1 接上引擎，因引擎輸出扭力方向固定不變，故桿件 1 扭力方向將固定，其他兩桿扭力方向也都同時固定。操作模式(A)和操作模式(B)中第 3 桿件動力流方向相反，代表第 3 桿件在(A)與(B)的速度為相反的方向。假定桿 3 在操作模式(A)轉速為正，操作模式(B)的桿 3 轉速就為負，反之亦然。

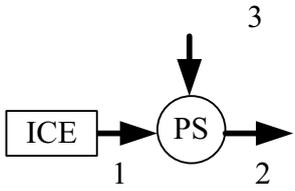
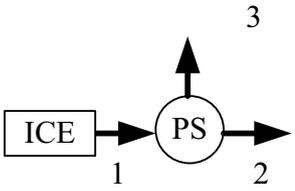
	(A)	(B)
動力流狀態		
轉速	$\omega_3$	$-\omega_3$
說明	桿件動力流方向不同，代表速度方向不同	

圖 3-4  $N_{ps}=3$  之運動方向與扭力方向

PS 的性質與桿件分別接在行星齒輪的哪一桿上無關，無論是哪一桿接在環齒輪、行星架、太陽齒輪上都會滿足這個規則。整理  $N_{ps}=3$  運動方向與扭力方向的規則為：

桿件之間的扭力比例無法改變，動力流方向的改變只能藉由速度方向的改變來達成。

## 2. 四桿件相連之兩自由度動能控制器( $N_{ps}=4$ 之 PS)

$N_{ps}=4$  的 PS 性質較特別，有別於 C 或著  $N_{ps}=3$  的 PS。C 只要改變一端的速度方向，其他端的速度方向也會改變； $N_{ps}=3$  的 PS 只要改變一端的扭力方向，另外兩端的扭力方向就會改變。

$N_{ps}=4$  的 PS 運動自由度與扭力自由度都為二，使得相連的桿件之間扭力或速度並無一固定比例關係。其中一桿扭力或速度固定後，還有一桿的速度或扭力可以自由調整。動力流方向的改變可以由改變扭力方向或是速度方向來達成。

以圖 3-5 為例。假設桿件 1 接上引擎，引擎輸出的速度與扭力方向固定不變，所以桿件 1 速度與扭力方向將固定。但因為 PS 運動與扭力自由度皆為 2，其他桿扭力、轉速都允許改變。在操作模式(A)和操作模式(B)中第 3 桿件的動力流方向

相反，則桿件 1 與桿件 3 之間運動方向與扭力方向的關係可能有兩種情況：

(1) 桿 3 扭力方向不變，變的是速度方向

(2) 桿 3 速度方向不變，變的是扭力方向

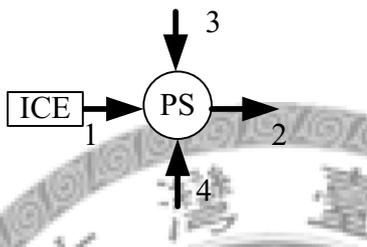
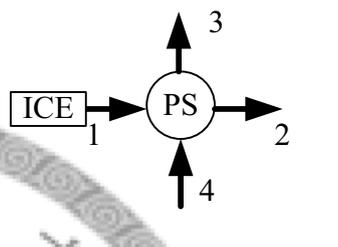
	(A)	(B)
動力流狀態		
可能一	$\omega_3$	$-\omega_3$
	說明：桿件動力流方向不同，速度方向不同	
可能二	$\tau_3$	$-\tau_3$
	說明：桿件動力流方向不同，扭力方向不同	

圖 3-5  $N_{ps}=4$  之運動方向與扭力方向

PS 桿件之間的扭力與速度並無一定比例關係，某一桿的動力流方向不同，可能是扭力方向或者速度方向的不同。如果同時改變該桿件速度方向與扭力方向，則動力流方向會維持不變。PS 的運動方向與扭力方向特性與桿件分別接在行星齒輪的哪一桿上無關。 $N_{ps}=4$  運動方向與扭力方向的規則為：

桿件之間的扭力與速度並無一定比例關係，其中一桿的速度或扭力可任意改變。此外，某一桿件動力流方向的改變可能由其速度方向改變或由扭力方向的改變來達成。

### 3-4 動力模式之動力流

依系統中使用動力的種類將系統的動力流狀態分為 6 種動力模式，可分為純電動模式、純引擎模式、引擎/充電模式、引擎/boost 模式、煞車回充(無引擎煞車)模式、煞車回充+引擎煞車模式。前四項動力模式用於驅動車輛，能量由系統傳遞至輸出元件後輸出；後兩項動力模式發生在煞車時，作能量的回收，輸出元件將能量由外進入系統內部。動力模式的分類如表 3-5。

表 3-5 動力模式分類

驅動模式	1	純電動模式
	2	純引擎模式
	3	引擎/充電模式
	4	引擎/boost 模式
煞車模式	5	煞車回充(無引擎煞車)模式
	6	煞車回充+引擎煞車模式

透過建立各動力模式的規則，可作為將來系統評估的項目。動力模式只需考慮動力流的方向，關注那些元件做正功，哪些做負功或不做功。以下對每個動力模式進行說明與定義。

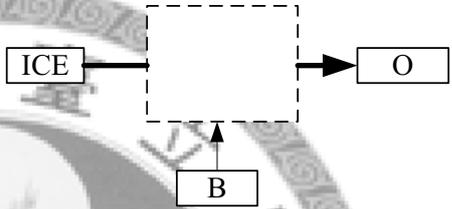
#### 一、純電動模式

混合動力車在低速或由靜止起步時、或其他功率需求較低的情況，可以將引擎關閉僅由電力來驅動。等到功率需求增加，到達應該啟動引擎的條件時才啟動

引擎，如此可減少引擎在較低的效率區間運轉的浪費。在純電動模式下倒車時可以將馬達反轉，單獨使用馬達來倒車。

純電動模式下只有電池與馬達在作用，引擎保持靜止的狀態。純電動模式的定義如表 3-6 所示，圖示中虛線的部份為系統的其他元件或桿件，虛線內部的情形不影響動力模式的定義。

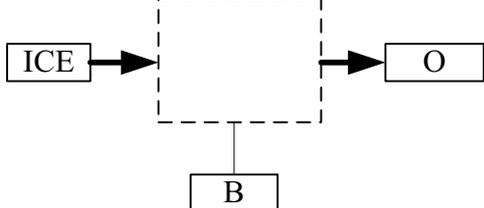
表 3-6 純電動模式

定義	圖示
1. B 箭頭向外 2. O 箭頭向內 3. ICE 無箭頭	

## 二、純引擎模式

當行車狀態較穩定，沒有負荷的改變、沒有加速度的情況下，車輛輸出功率維持一定，可使用引擎單獨來操作，驅動車輛前進。純引擎模式下，電池不作用，可以避免電池電能已經飽足時，過度充電；或者電量不足時，放電導致電量過低。純引擎模式的定義如表 3-7。

表 3-7 純引擎模式

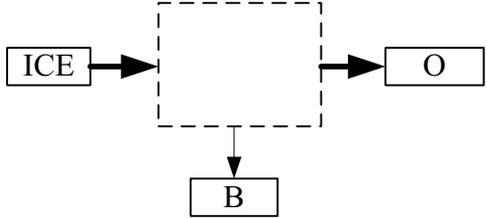
定義	圖示
1. ICE 箭頭向外 2. O 箭頭向內 3. B 無箭頭	

## 三、引擎/充電模式

當輸出功率需求低於引擎提供的功率時，可將多餘引擎能量回收；或當電池電量不足時，引擎可以驅動發電機替電池充電。引擎/充電模式下引擎一面驅動車

輛前進，一面提供能量給電池。引擎/充電模式的定義如表 3-8。

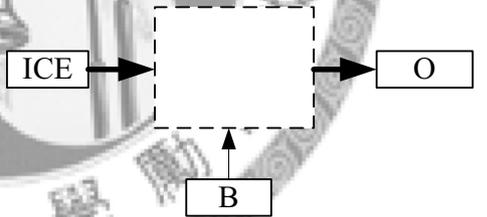
表 3-8 引擎/充電模式

定義	圖示
1. ICE 箭頭向外 2. O 箭頭向內 3. B 箭頭向內	

#### 四、引擎/Boost 模式

在車輛忽然需要加速的情況等需較大功率的情況下，或是當引擎操作在最大功率輸出時仍然無法滿足車輛需求時，額外的扭力需求便由電池提供電力給馬達來給輸出元件。引擎/boost 模式的定義如表 3-9。

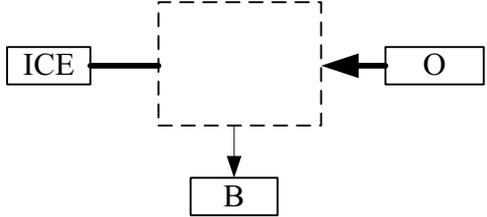
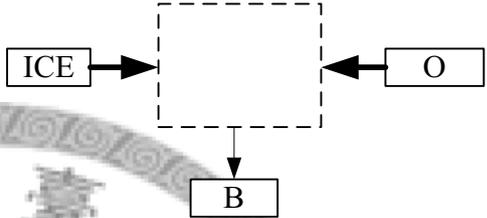
表 3-9 引擎/boost 模式

定義	圖示
1. ICE 箭頭向外 2. O 箭頭向內 3. B 箭頭向外	

#### 五、煞車回充(無引擎煞車)模式

當車輛減速時，可將多餘動能回收，經由發電機發電替電池充電，回收的動能等到車輛又需要加速或功率需求增加時，可再以電能的型式釋放出來，增強車輛動力。在煞車回充(無引擎煞車)模式時，能量由輸出元件提供給電池，引擎的操作可能是暫時降低輸出的功率或是引擎處在關閉的狀態，有兩種可能。煞車回充(無引擎煞車)模式的定義如表 3-10。

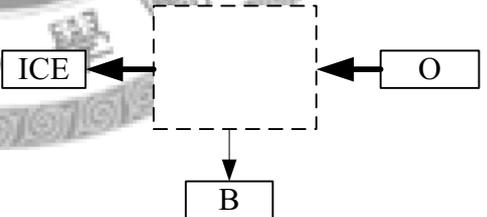
表 3-10 煞車回充(無引擎煞車)模式

定義	圖示
1. O 箭頭向外 2. B 箭頭向內 3. ICE 無箭頭	
1. O 箭頭向外 2. B 箭頭向內 3. ICE 箭頭向外	

#### 六、煞車回充+引擎煞車模式

在煞車回充+引擎煞車模式時，引擎仍然拖動車輪，額外利用引擎本身的阻力來煞車。能量由輸出元件進入系統，再經由發電機進入電池，一部分動能進入引擎。煞車回充+引擎煞車模式的定義如表 3-11。

表 3-11 煞車回充+引擎煞車模式

定義	圖示
1. O 箭頭向外 2. B 箭頭向內 3. ICE 箭頭向內	

### 3-5 行車模式之動力流

車輛的行車模式代表車輛實際行駛的行為，包含了速度、加速度等狀態。本研究僅考慮車輛的運動方向，僅就車輛前進或後退的狀態做探討，也就是輸出元件(0)的旋轉方向。本研究將原有的動力模式分做前進與後退兩個分類，成為12種行車模式，如表 3-12，前進模式以 F(forward)表示，後退模式以 R(reverse)來表示。

表 3-12 行車模式

1	純電動模式 F
2	純電動模式 R
3	純引擎模式 F
4	純引擎模式 R
5	引擎/充電模式 F
6	引擎/充電模式 R
7	引擎/boost 模式 F
8	引擎/boost 模式 R
9	煞車回充(無引擎煞車) F
10	煞車回充(無引擎煞車) R
11	煞車回充+引擎煞車 F
12	煞車回充+引擎煞車 R

行車模式與車輛前進或後退的狀態有關，單憑動力流方向無法直接看出，動力流方向只能代表能量的傳遞方向，並無桿件運動方向與扭力方向等資訊。因此行車模式的判斷必須將元件與動能控制器的運動方向和扭力方向納入考慮。

行車模式的分析是對動力模式進行更進一步的判斷。以下將動力模式分做兩個類別來討論，分別為無引擎參與的動力模式以及有引擎參與的動力模式，以建立行車模式的動力流方向判斷方法。

#### 一、無引擎參與的動力模式

6種動力模式當中沒有引擎參與的情況有兩種，第一為純電動模式時，第二為引擎處於關閉狀態時的煞車回充(無引擎煞車)模式。

在此類動力模式之下，輸出元件不受引擎的影響，輸出元件的運動方向直接由電機的運動方向決定。因電機可兩方向轉動，使輸出元件也可以前後兩方向轉動，使無引擎參與的動力模式其前進與後退的行車模式皆可達成。

## 二、有引擎參與的動力模式

有引擎參與的動力模式所衍生出的行車模式，會因引擎只能單方向旋轉的關係，而使輸出元件受到某些限制。再加上搭配不同的動能控制器後，行車模式的判斷將較為複雜。接下來將探討與引擎有關的行車模式。

分析的一開始將先確保每個系統都具有前進的模式。將有引擎參與的驅動模式之動力流圖中，引擎(ICE)到輸出元件(O)的能量線箭頭方向都相同的動力流圖指派為前進的行車模式，如圖 3-6。在確定每個系統都有前進(F)的驅動模式後，後退(R)的模式將由動能控制器的運動方向與扭力方向來進行分析。

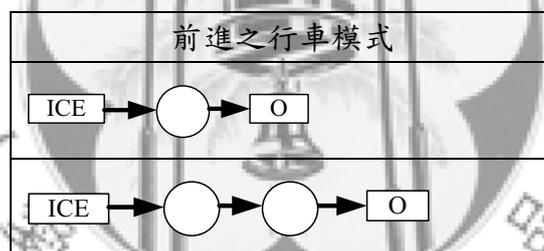


圖 3-6 前進之行車模式

由 3-3 小節動能控制器的運動方向與扭力方向分析結果可知，在動能控制器 C 上，某桿件動力流方向的改變是由與其他桿件扭力的比例變化而得；在動能控制器 Nps=3 之 PS 上，動力流方向的改變是由速度的方向改變而得；在動能控制器 Nps=4 之 PS 上動力流方向的改變可由速度的方向或扭力的方向改變而得。

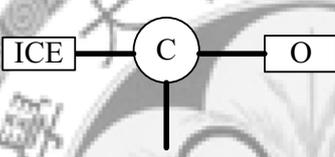
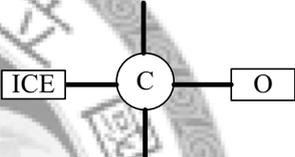
整理後可知，與運動方向改變有關的只有 PS 的動力流方向，影響行車模式前進或後退的將是 PS 的動力流方向。以下將引擎與輸出元件之間的動能控制器可能的排列情況一一討論其行車模式之判斷規則，第一種排列方式為當引擎與輸出元件之間只有 C 相連的情況，第二種為當引擎與輸出元件之間只有 Nps=3 的 PS 相

連的情況，第三種為當引擎與輸出元件之間有  $N_{ps}=3$  的 PS 和 C 相連的情況，第四種為當引擎與輸出元件之間只有  $N_{ps}=4$  的 PS 相連的情況。

### (1) 當引擎與輸出元件之間只有 C 相連

當 ICE 與 O 之間只有 C 相連，則輸出元件的速度方向無法改變，依照先前的設定，車輛將只可以前進無法後退，如表 3-13 所示。

表 3-13 引擎與輸出元件之間只有 C 相連之行車模式

前進/後退	圖示
F	 

整理可得行車模式判斷規則 1：當引擎與輸出元件之間只有動能控制器 C 相連，則車輛只能有前進模式(F)。

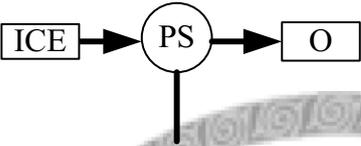
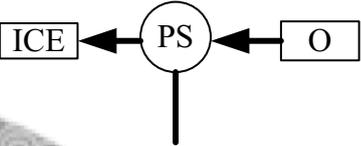
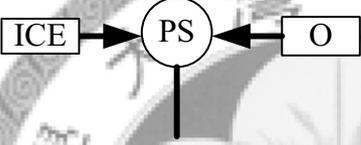
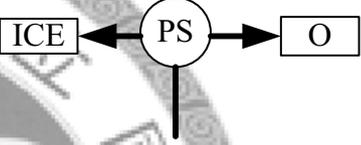
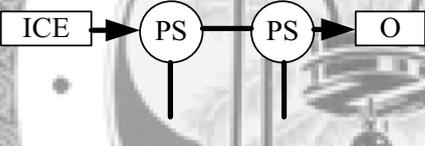
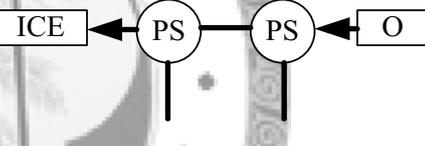
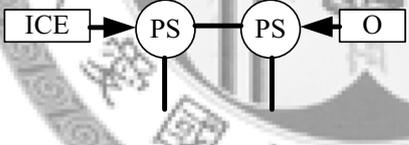
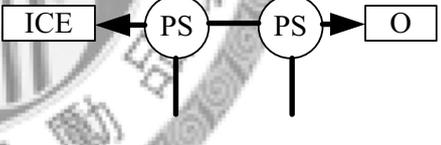
### (2) 當引擎與輸出元件之間只有 $N_{ps}=3$ 的 PS 相連

當 ICE 與 O 之間只有  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，包含 ICE 與 O 在內之間所有的元件，扭力都必須成一固定比例。當 ICE 扭力方向確定後，O 的扭力方向也會被固定，O 只剩下速度方向可以調整，在此情況下 O 的動力流方向改變即代表 O 的速度方向改變。舉例來說，已知 ICE 的箭頭向外、O 的箭頭向內代表車輛前進，則當 ICE 箭頭向外但 O 的箭頭由向內改為向外時，因為 O 動力流方向改變，O 速度方向也改變，此時車輛為後退的狀態。

另一方面，因為所有桿件之間扭力比例固定，如果 ICE 扭力方向改變，O 的扭力方向也會跟著改變。舉例來說，假設 ICE 與 O 速度都維持不變而扭力改變時，ICE 箭頭會由向外改為向內、O 箭頭會由向內改為向外，車輛仍是在前進的狀態。

在此將系統內有一個 PS 與兩個 PS 的情況列出在表 3-14，可利用元件之間動力流方向的關係來判斷前進或後退狀態。

表 3-14 引擎與輸出元件之間只有  $N_{ps}=3$  的 PS 相連之行車模式

前進/ 後退	動力流方向	
F		
R		
F		
R		

將所有狀態整理後，可以得到行車模式判斷規則 2：

1. 當引擎與輸出元件之間只有  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，則 ICE 與 O 的能量線箭頭方向一進一出為前進模式(F)。
2. 當引擎與輸出元件之間只有  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，則 ICE 與 O 的能量線箭頭方向全進或全出為後退模式(R)。

(3) 當引擎與輸出元件之間有  $N_{ps}=3$  的 PS 和 C 相連

此類型的構造與第 2 類型的差別在於構造多了動能控制器 C，先前的分析已知

動能控制器 C 無法改變桿件之間速度的關係，C 的部份不會影響旋轉方向的變化，所以此類型中僅需注意 PS 的部分即可。

構造中 PS 部份的判斷方式與第 2 類型相同，但 PS 可能沒有與 ICE 或 O 同時相連，因此改由 PS 與 ICE 或 O 之間的能量線，以及 PS 與 C 之間的能量線的動力流方向來判斷。將系統內有一個  $N_{ps}=3$  之 PS 及一個 C 的情況列出在表 3-15。

表 3-15 引擎與輸出元件之間有  $N_{ps}=3$  的 PS 和 C 相連之行車模式

前進/ 後退	動力流方向	
F		
R		
F		
R		

整理所有動力流的方向後，可以得到行車模式判斷規則 3：

1. 當引擎與輸出元件之間有  $N_{ps}=3$  的 PS 和 C 相連，則 PS 與 ICE 或 O 之間的能量線以及 PS 與 C 之間的能量線，兩者一進一出為前進模式(F)。
2. 當引擎與輸出元件之間有  $N_{ps}=3$  的 PS 和 C 相連，則 PS 與 ICE 或 O 之間的能量線以及 PS 與 C 之間的能量線，兩者全進或全出為後退模式(R)。

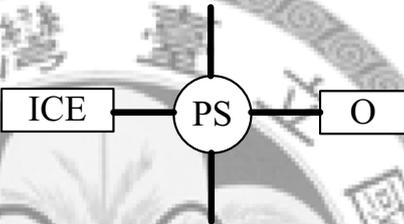
#### (4) 當引擎與輸出元件之間只有 $N_{ps}=4$ 的 PS 相連

由 3-3 節分析結果可知，此動能控制器相連的桿件之間扭力與速度並無一定

比例關係，任一桿的速度或扭力皆可改變。因此某一桿件動力流方向的改變可由其轉速方向改變或由扭力方向的改變來達成。

當輸出元件以外的其他三桿速度方向維持不變的條件下，輸出元件的旋轉方向仍然可以改變。當其他三桿扭力方向不變的情況下，輸出元件的扭力方向也可以改變。因此輸出元件之扭力方向與旋轉方向的同時改變，便可讓車輛由前進模式改為後退模式。行車模式說明如表 3-16。

表 3-16 引擎與輸出元件之間只有  $N_{ps}=4$  的 PS 相連之行車模式

前進/後退	圖示
F and R	 <p>The diagram shows a central circle labeled 'PS'. Four lines radiate from this circle: one to the left to a rectangle labeled 'ICE', one to the right to a rectangle labeled 'O', one upwards to an unlabeled rectangle, and one downwards to another unlabeled rectangle.</p>

由上述分析可以得到行車模式判斷規則 4：當引擎與輸出元件之間只有  $N_{ps}=4$  的 PS 相連，則車輛可達成前進(F)與後退(R)模式。

### 3-6 小結

本章介紹混合動力系統理念之分析方法，發展的方法以及規則可作為系統合成以及系統評估時的依據。本章首先探討動能控制器的運動自由度與扭力自由度，有助於了解各桿件之間的連接規則與機構的特性。第二小節對各元件的動力流特性加以討論，分析能量線的種類與數目，建立系統內容許的以及不容許之動力流狀態規則。本章第三小節探討動力流方向與運動方向、扭力方向的關係，將動力流的性質與力學性質連結。本章最後介紹並定義混合動力車輛的動力模式以及行車模式，可作為將來評估系統的依據。

## 第四章 混合動力系統理念之合成

第三章已探討混合動力系統定性的分析方法，可了解功能拓撲圖上各元件的規則。本章則希望利用之前分析時所建立的規則，完整的找出混合動力系統理念的所有情形，建立系統功能拓撲圖的資料庫，以便將來進行系統的評估時可以作為對照。本章分做兩個部份，構造圖的合成與動力流圖的合成。

本章的合成方法與過程皆不考慮離合器或制動器，合成所採用的方法僅符合系統在沒有離合器與制動器的情況。

### 4-1 構造圖之合成

構造圖主要由各元件以及動能控制器所組成，並透過能量線相連。本節希望藉由在設定動力元件的數量之後，利用第三章分析的規則，找出能滿足該動力元件數量的動能控制器種類與數量，並藉由排列動能控制器各種連接方式，合成出符合該動力元件數的所有可能構造。本節首先說明構造圖需滿足的規則，再介紹構造圖集建立的步驟。

#### 4-1-1 構造圖之規則

由第三章所分析的功能拓撲圖中各元件的限制與條件，可得到構造圖的規則。在進行構造圖合成時，需遵守以下構造圖各項規則，不能違反其中的任何一項。

第 1 項：所有元件都必須與能量線相連接。

第 2 項：各元件必須對應正確的能量線種類與數量。

第 3 項：三條以上動能線相接時，必須在圖上繪製一個 C，相接處以 C 表示。

第 4 項：動能控制器必須至少與三條動能線相連。

第 5 項：當三條以上電能線相接時，必須利用電能控制器相連接。

#### 4-1-2 合成構造圖之步驟

油電混合動力的傳動系統為了達到動力混合的目的，系統內至少有兩個以上的動力元件，且必須至少一個是以化學能驅動的動力元件，以及一個以電能驅動的動力元件。馬達可作為輔助引擎輸出的動力元件；發電機可用來替電池充電，以產生可供馬達使用的電力。在混合動力系統內，電池有時會輸出電力，為了能夠維持電池的容量，在其他時候系統也必須有能力替電池充電，因此系統內至少要有一部發電機及一部馬達，或有一部可作為發電機或馬達的電機。

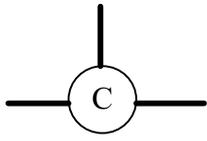
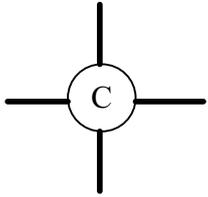
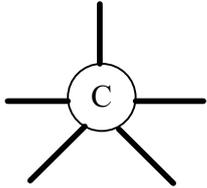
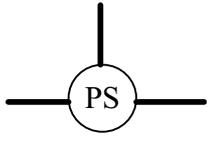
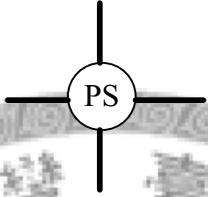
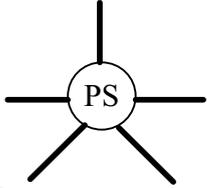
合成構造圖首先要決定系統希望的動力元件數量。依照電機的數量以及種類，可能有多種的組合方式，表 4-1 為三個動力元件數以內的所有可能搭配類型。

表 4-1 三個以下動力元件可能產生之構造種類

動力元件數	動力元件種類	ICE	M/G	M	G
2	1 引擎 1 電機	1	1	0	0
3	1 引擎 2 電機	1	0	1	1
		1	1	0	1
		1	1	1	0
		1	2	0	0
	2 引擎 1 電機	2	1	0	0

在構造圖內所有動能線交會處都有動能控制器，元件與元件之間都必須經由動能控制器相連，因而使系統內元件的總數量將受到動能控制器所提供的動能線數量的限制。動能控制器依照相連的動能線數目來做區分，可分做 N=3、N=4、N=5、…。N=5 以內的動能控制器種類如表 4-2。

表 4-2 N=5 以下之動能控制器

N=3	N=4	N=5
		
		

構造內需由動能控制器相連的元件總數為動力元件數加上一(輸出元件)，假設動力元件數為  $u$ ，則元件總數為  $u+1$ ，動能控制器需要提供  $u+1$  條動能線。當系統內只有一個動能控制器時， $N$  的值即代表能提供給元件相連的動能線數量。當有兩個動能控制器相連時，能提供給元件的動能線數為兩個  $N$  相加後減掉 2。

假設系統內的  $N=3$  動能控制器的數量為  $x$ 、 $N=4$  的數量為  $y$ 、 $N=5$  的數量為  $z$ ，則提供給元件的動能線數如(4.1)式。

$$3x + 4y + 5z - 2(x + y + z - 1) \quad (4.1)$$

動能線數與元件數量關係如(4.2)式。

$$3x + 4y + 5z - 2(x + y + z - 1) = u + 1 \quad (4.2)$$

化簡可得(4.3)式。

$$x + 2y + 3z = u - 1 \quad (4.3)$$

利用公式(4.3)可計算出元件數與搭配的動能控制器數量之關係，現將 4 個動力元件數以下的系統可能的動能控制器數量整理於表 4-3。

表 4-3 動力元件數與動能控制器數量之關係

動力元件數(u)	N=3 動能控制器數量(x)	N=4 動能控制器數量(y)	N=5 動能控制器數量(z)
2	1	0	0
3	0	1	0
	2	0	0
4	0	0	1
	1	1	0
	3	0	0

動能控制器數量可再細分為單自由度的 C 及兩自由度的 PS，可將表 4-3 展開成表 4-4，得到動力元件數與可能的動能控制器類型與數量的關係。

表格展開時需注意當系統內只有 C 沒有 PS 的情況。C 為單運動自由度的機構，不同的 C 之間相連並不會改變運動自由度。當多個 C 相接在一起，運動自由度仍為一，相連的 C 必須化簡成一個 C。所以在表 4-4 內將只擁有 C 且同時有兩個以上的情況排除。

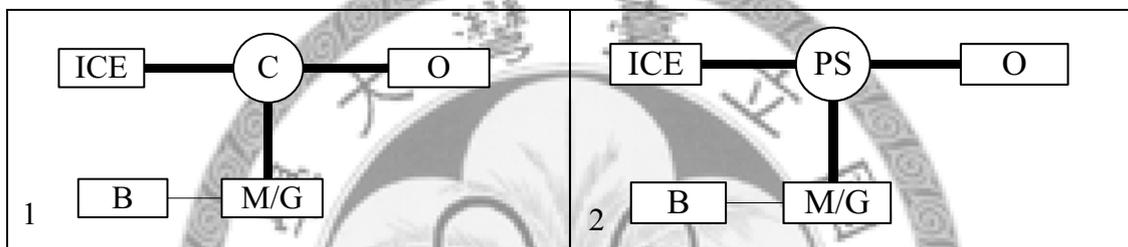
整理出符合動力元件數的所有動能控制器情況後，即可一一將所有動能控制器種類與數量可能的組合以圖畫的方式排列，之後再接上動力元件與輸出元件，完成動能線與各元件及動能控制器相連的圖形。當完成所有與動能線有關的元件後，接著處理與電能線有關的元件，將電池與電能控制器接上以完成構造圖。

表 4-4 動力元件數與動能控制器數量與類型之關係

動力元件數	N=3 動能控制器數		N=4 動能控制器數		N=5 動能控制器數	
	C	PS	C	PS	C	PS
2	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	1	0	0
	1	1	0	0	0	0
	0	2	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	0	0
	0	1	1	0	0	0
	0	1	0	1	0	0
	0	3	0	0	0	0
	1	2	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	0

依照上述的規則與步驟可以找出滿足希望的動力元件數之所有可能構造圖。現將建立(1)一部引擎一電機、(2)一部引擎一馬達一發電機的所有構造圖集於表 4-5 與表 4-6。其他 3 動力元件的構造圖集則置於附錄一。表 4-6 中所列一部引擎一馬達一發電機的組合，有一種構造型式不需要動能控制器來連接各元件，如表中的構造 12。此構造為串聯混動的型式，引擎直接與發電機相連，發電機再與馬達連接後與輸出元件相連。

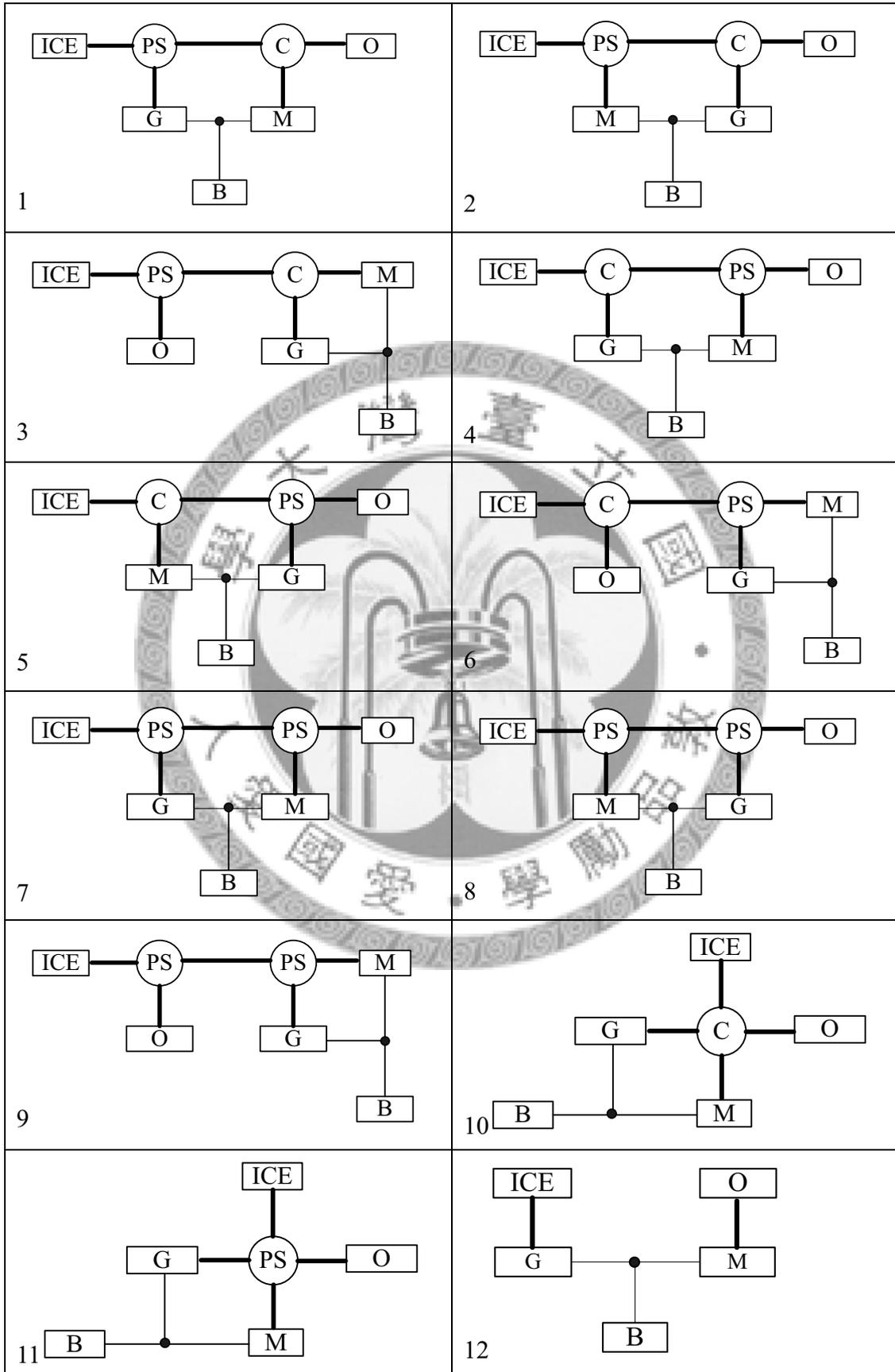
表 4-5 1ICE 1M/G 構造圖集



將以上合成構造圖的所有步驟整理如下：

- 步驟一：設定動力元件數量。
- 步驟二：計算動能控制器可能的數量。
- 步驟三：整理出完整的動能控制器的種類與數量。
- 步驟四：排列出動能控制器所有的連接組合。
- 步驟五：將所有動能控制器組合接上動力元件及輸出元件。
- 步驟六：接上電能線、電能控制器與電池。

表 4-6 1ICE 1M 1G 構造圖集



## 4-2 動力流圖之合成

本小節將從構造圖出發進一步合成出該構造圖的所有可能之動力流圖，以便清楚看出該構造能允許的所有動力流狀態。如果構造內有離合器或制動器，在作用後會對原構造圖產生改變而得到另一構造圖，這個變化後的新構造同樣可依照此小節的合成方法合成出其所有的動力流狀態。本小節所做的合成皆是在構造沒有離合器或制動器的情況下，所得到原始的構造之所有動力流圖。

本小節首先對第三章動能控制器之動力流分析所得到的規則，合成出動能控制器在沒有離合器或制動器的作用下所有可能的動力流狀態。接著說明動力流圖的規則，之後建立動力流圖合成的步驟。

### 4-2-1 動能控制器之動力流合成

根據第三章分析得到的動能控制器的動力流規則，可合成出符合各動能控制器規則的所有動力流方向，此動能控制器之動力流合成結果可運用於接下來動力流圖之合成上。以下針對4種動能控制器分別就其可能之動力流狀態進行說明，並分別列於表 4-7、表 4-8、表 4-9 與表 4-10。

1. 動能控制器  $N_c=3$  有 4 種可能之動力流狀態：全無能量通過、一進一出、一進兩出以及兩進一出。
2. 動能控制器  $N_c=4$  有 7 種可能之動力流狀態：全無能量通過、一進一出、一進兩出、兩進一出、一進三出、兩進兩出以及三進一出。
3. 動能控制器  $N_{ps}=3$  有 3 種可能之動力流狀態：全無能量通過、一進兩出以及兩進一出。
4. 動能控制器  $N_{ps}=4$  有 6 種可能之動力流狀態：全無能量通過、一進兩出、兩進一出、一進三出、兩進兩出以及三進一出。

表 4-7  $N_c=3$  之動力流可能方向

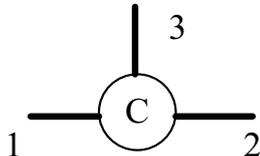
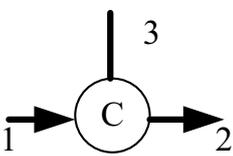
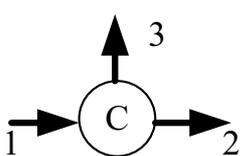
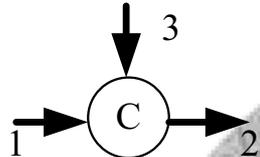
(1)全無能量通過	(2)一進一出	(3)一進兩出
		
(4)兩進一出		
		

表 4-8  $N_c=4$  之動力流可能方向

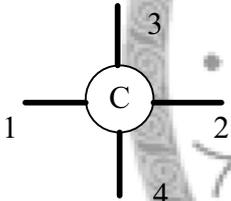
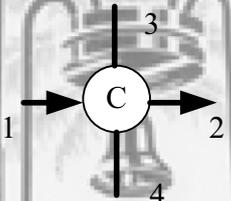
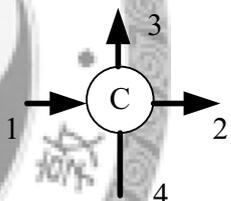
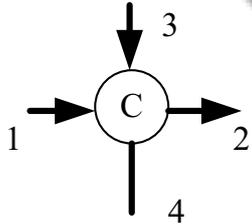
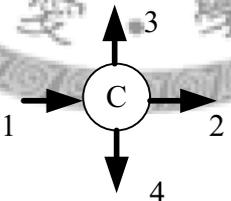
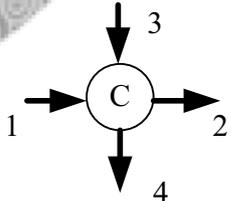
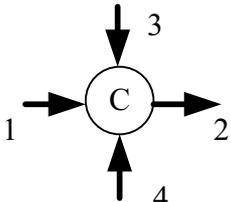
(1)全無能量通過	(2)一進一出	(3)一進兩出
		
(4)兩進一出	(5)一進三出	(6)兩進兩出
		
(7)三進一出		
		

表 4-9 Nps=3 之動力流可能方向

(1) 全無能量通過	(2) 一進兩出	(3) 兩進一出

表 4-10 Nps=4 之動力流可能方向

(1) 全無能量通過	(2) 一進兩出	(3) 兩進一出
(4) 一進三出	(5) 兩進兩出	(6) 三進一出

#### 4-2-2 動力流圖之規則

由第三章所討論之功能拓撲圖中各元件的限制，與 3-2 小節之動力流分析，可得到動力流圖的規則。在進行動力流圖之合成時，須遵守以下列出各項動力流圖之規則，合成時不能違反其中的任何一項。

第 1 項：符合能量守恆。

第 2 項：有能量通過必需在能量線標上箭頭。

第 3 項：符合元件可對應的動力流狀態。

第 4 項：符合動能控制器動力流規則。

第 5 項：不能有不容許之動力流狀態。

第 6 項：動力流圖上沒有離合器或制動器。

### 4-2-3 合成動力流圖之步驟

在合成動力流圖時，首先合成構造圖上 PS 的部份。先判斷構造圖上 PS 的動能線數目，將 4-2-1 小節中相對應之動能控制器的所有可能動力流方向在圖上畫出。如果構造內含有兩個以上 PS，繪製時可任意決定兩者的先後順序，畫完第一個 PS 的所有情況，再畫另一個 PS。

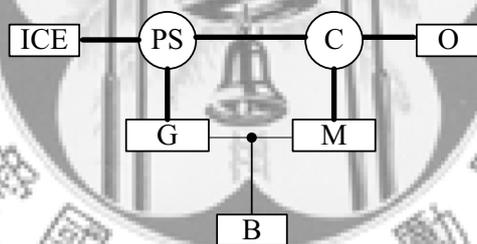
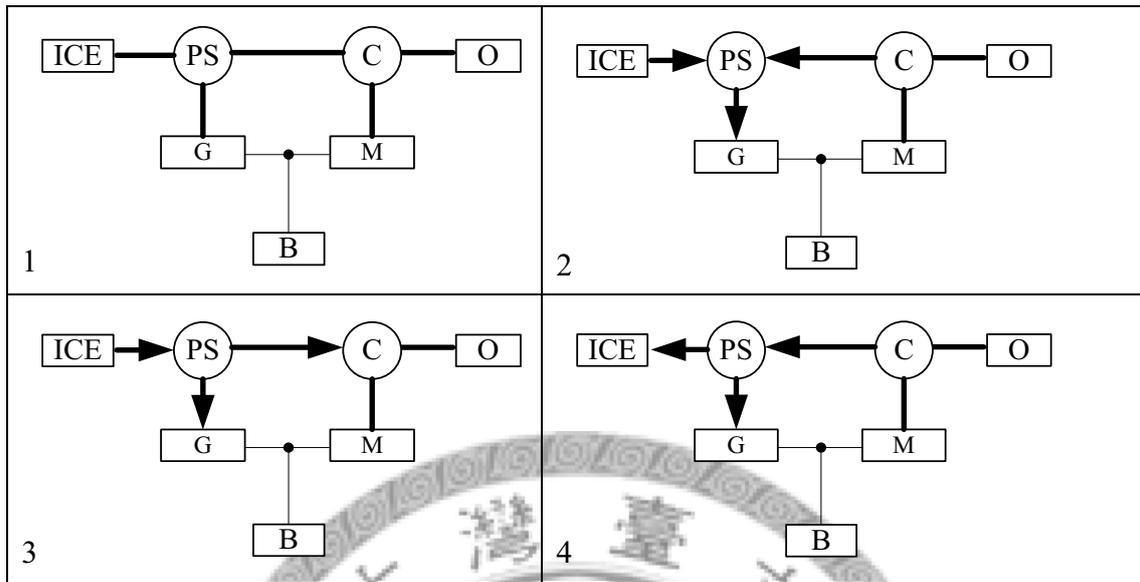


圖 4-1 動力流圖合成之範例構造

合成動力流圖的過程，現將以圖 4-1 之構造作為範例來說明。此構造的 PS 屬於  $N_{ps}=3$  的類型，依照 4-2-1 小節的說明，PS 部分所有可能的動力流方向有三種：全無能量通過、兩進一出、一進兩出。將此構造中 PS 部分的動力流狀態畫出如表 4-11，編號 1 的 PS 為全無能量通過，編號 2 的 PS 為兩進一出，編號 3 與編號 4 為一進兩出的狀態，完整畫出 PS 所有可能的狀態。

表 4-11 動力流圖合成範例之 PS 部分

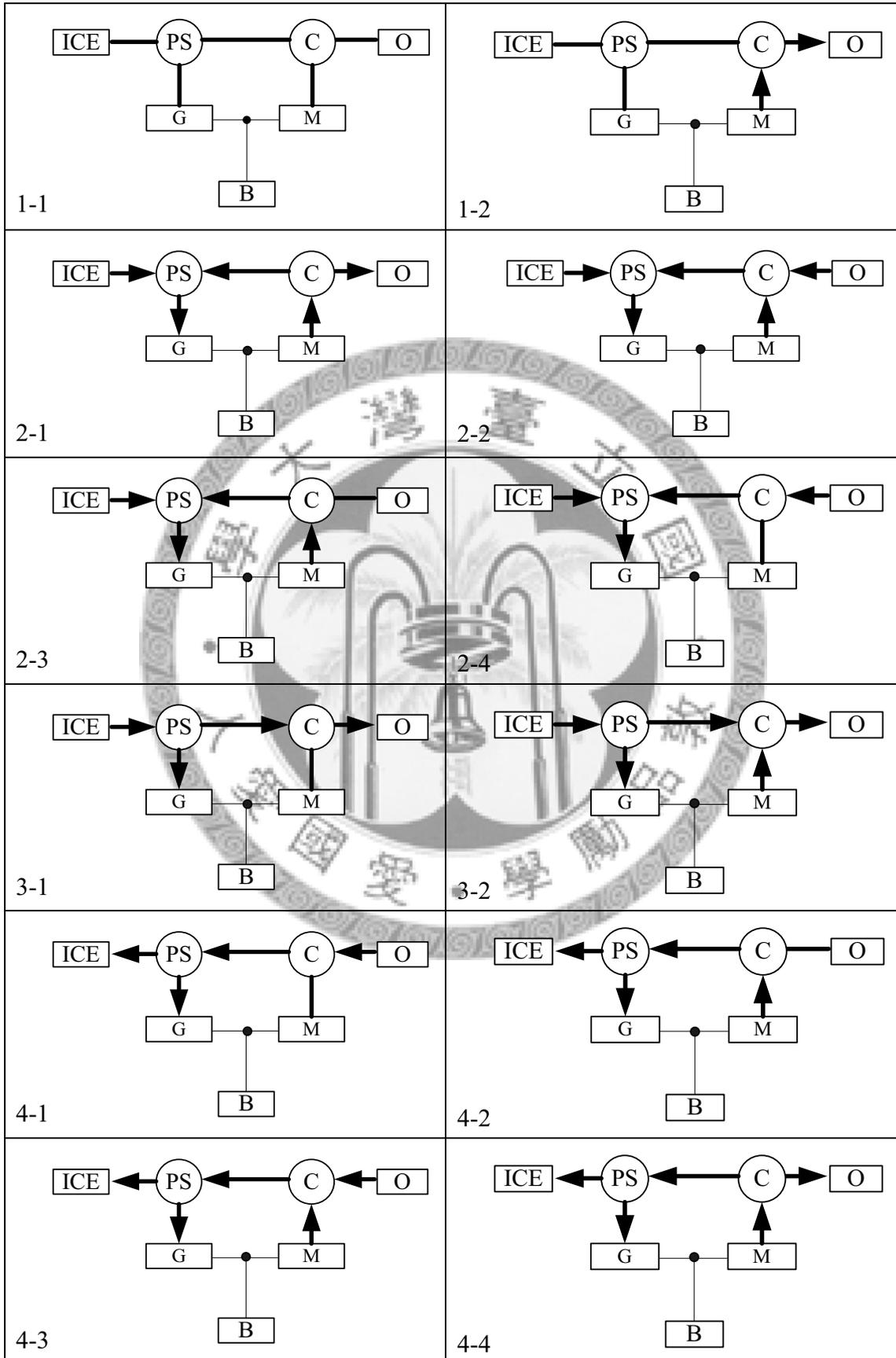


接下來依據第三章所分析的不容許之動力流狀態，將已完成的 PS 部分的動力流圖進行篩選。如果建立的 PS 部份有包含不容許狀態，則必須將該不容許的動力流圖刪除。在本範例當中，PS 為  $N_{ps}=3$  的類型，由第三章的分析已知沒有與此類型相關的不容許動力流狀態，因此目前所有動力流狀態皆可保留。

再來合成構造圖上 C 的部份。判斷構造圖上 C 的動能線數目，將 4-2-1 小節當中相對應之動能控制器的所有可能動力流方向在圖上畫出。如果構造內含有兩個以上的 C，繪製時可任意決定兩者的先後順序。

在範例構造中，C 為  $N_c=3$  的類型，依照 4-2-1 節的說明，C 部分所有可能的動力流方向有四種：全無能量通過、一進一出、兩進一出、一進兩出。現將之前已完成 PS 部份的圖形繼續繪製，將 C 部分的所有動力流狀態畫出，如表 4-12。表中的編號 1-1、1-2 代表是由之前 PS 部份的編號 1 圖發展而來，編號 2-1~2-4 代表是由之前編號 2 之圖發展而來，以此類推。編號 1-1 的 C 全無能量通過，編號 1-2 的 C 為一進一出；編號 2-1 的 C 為一進兩出，編號 2-2 的 C 為兩進一出，編號 2-3、2-4 都是一進一出，編號 3-1~編號 4-4 則依此類推。

表 4-12 動力流圖合成範例之 C 部分



接下來依據第三章分析的不容許之動力流狀態，將合成的 C 部分動力流也進行篩選。如果建立的 C 部份有不容許的狀態，則必須將該動力流圖刪除。本範例當中 C 為  $N_c=3$  的類型，參考不容許之動力流狀態的第二項，可以將編號 2-3 與編號 4-2 圖刪除。

最後要合成電能線的部份。依據電機的動能線方向，將電機的電能線畫上正確方向。再觀察圖上的電能線的能量流動情形，把電池的所有可能狀態畫出，結果如表 4-13。表中編號 1-1-1 的圖代表是由之前合成 C 部份時的編號 1-1 圖發展而來，編號 1-2-1 代表是由之前編號 1-2 圖發展而來，以此類推。其中合成 C 部份時的編號 2-1 圖在補上電能線後，電池部份可有三種狀態 2-1-1 ~ 2-1-3；編號 3-2 圖在補上電能線後也有三種狀態 3-2-1 ~ 3-2-3；除此之外，其餘圖形都只有一種電能線的狀態。

表 4-13 動力流圖合成範例之電能線部分

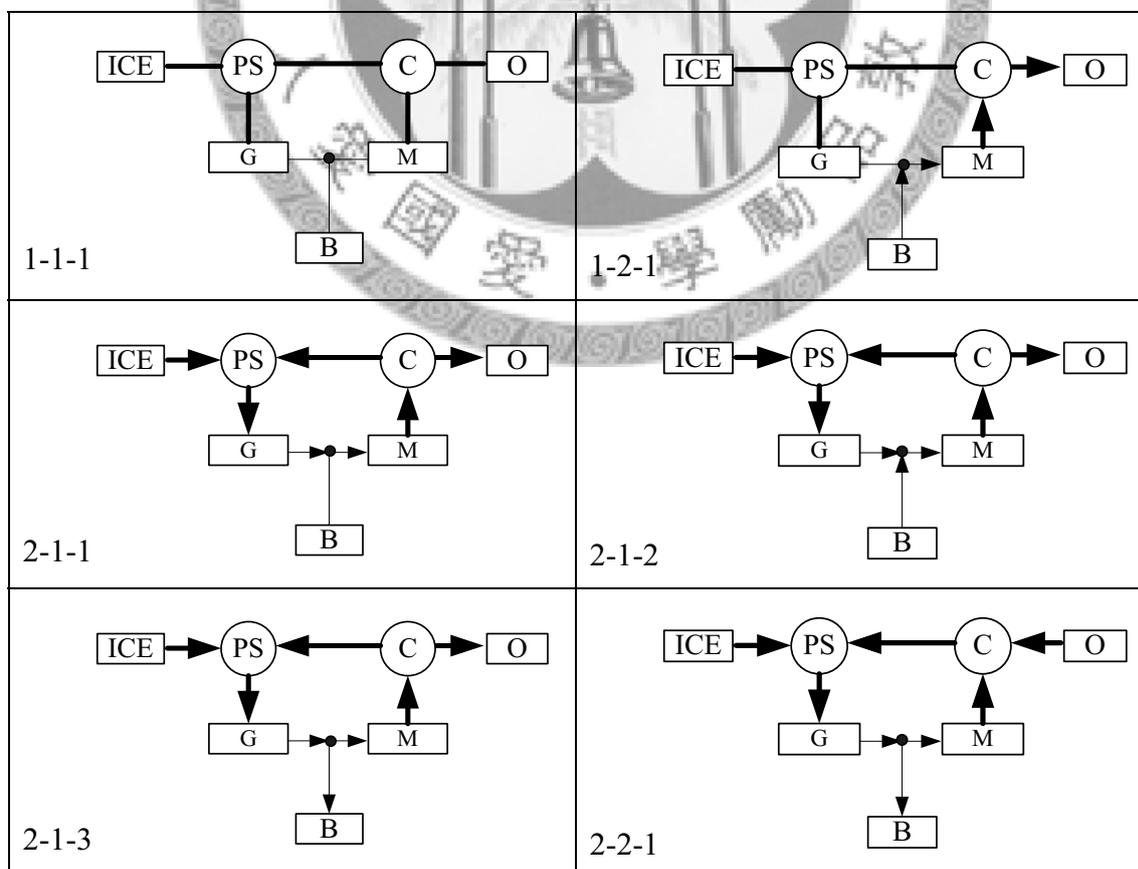
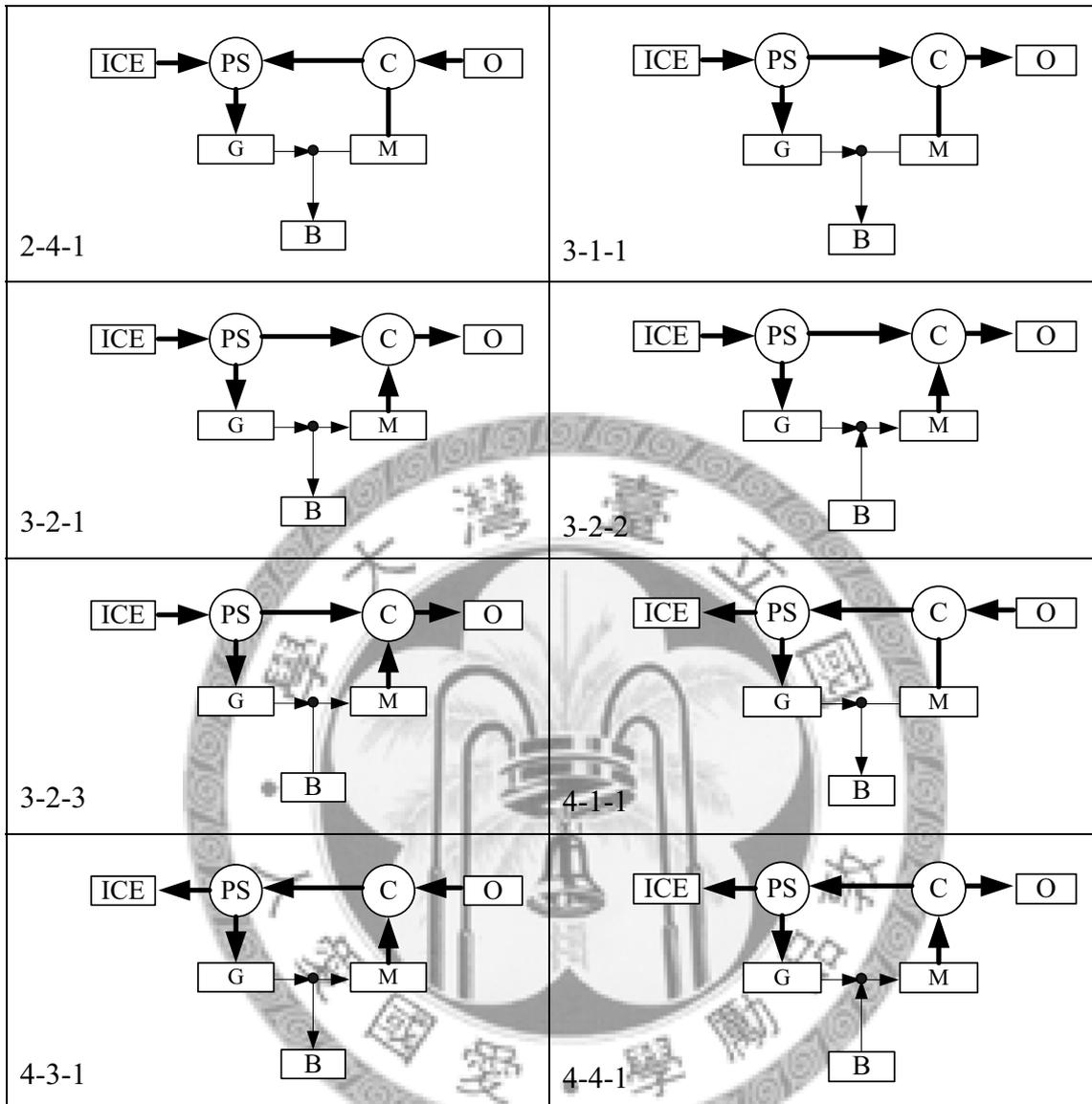


表 4-13 動力流圖合成範例之電能線部分(續)



依照上述步驟即可以完成一個構造圖的所有動力流圖合成。將 1ICE 1M/G 與 1ICE 2M/G 構造圖集的所有動力流圖置於附錄二與附錄三。有一特別的案例為如果構造是串聯混動的类型，構造內將沒有動能控制器存在，沒有辦法依照上述方法來進行，因此串聯的类型將以窮舉法的方式列出所有可能的動力流情況。

將以上合成動力流圖的所有步驟整理如下：

步驟一：根據動能控制器 PS 的動力流規則，畫出構造圖上 PS 的部份所有可能的

動力流狀態。如果構造內沒有 PS，則直接跳至步驟三。

步驟二：檢查步驟一合成的 PS 部分，如果有不容許之動力流狀態，予以刪除。

步驟三：根據動能控制器 C 的動力流規則，畫出在構造圖上 C 的部份所有可能的動力流狀態。如果構造內沒有 C，則直接跳至步驟五。

步驟四：檢查步驟三合成的 C 部分，如果有不容許之動力流狀態，予以刪除。

步驟五：畫上電能線。



## 第五章 系統理念之評估及改善方法

### 5-1 系統評估

本章希望利用所發展的理念之分析與合成方法，探討各種混合動力構造，比較不同構造的特性，以對系統做概念性的評估。評估時首先由構造圖元件之間的配置方式，判斷引擎操作限制。接著由構造所有可能之動力流圖搜尋構造容許的動力流狀態，以判斷該構造可以達成的動力模式。然後再依據行車模式判斷的規則，討論其可達成之行車模式，評估系統容許之前進與後退狀態。評估最後探討構造內有無能量循環的現象。本研究並可針對構造無法達成的動力模式，利用離合器以及制動器來進行改善。

本章將以一部引擎一部電機(1ICE 1M/G)與一部引擎兩部電機(1 ICE 2M/G)的構造作為評估的範例。1ICE 1M/G 是混合動力系統中最簡單的組合，1 ICE 2M/G 則是電子式無段變速系統的主要配置方式。

本章討論之 1ICE 2M/G 構造已包含 1 ICE 1M 1G、1 ICE 1M 1M/G 以及 1 ICE 1G 1M/G 此三種組合的概念。藉由在 1ICE 2M/G 動力流圖中，將電機部分的動力流方向增加限制，刪掉 M/G 動力流其中一個方向即變成 M 或 G，而得到該組合的動力流圖，故此三種構造組合皆可由 1 ICE 2M/G 的構造衍生而來。

以下將對每個檢驗項目說明其內容以及進行評估之方式，檢驗項目分別為引擎操作限制、動力模式、行車模式以及能量循環等共四個項目。

#### 5-1-1 引擎操作限制

引擎的輸出轉速與扭力會影響引擎的效率，一個有較佳引擎操作效率的傳動系統就是能將引擎的轉速及扭力更自由的控制，使引擎盡量操作在其效率較高的

區段。如果引擎的轉速與扭力可不受到輸出狀態的影響，亦即不需因車輛的速度改變或扭力需求改變而使引擎負荷不斷改變，引擎則可盡量在固定點操作以提高其效率。

引擎操作限制分做引擎之轉速限制與扭力限制兩種，可由構造圖直接判斷，從引擎與輸出元件間的動能控制器排列方式，透過相連的動能控制器之運動自由度及扭力自由度可知引擎之轉速及扭力是否被輸出元件給限制。例如，當引擎與輸出元件只由運動自由度等於一的動能控制器相連，則引擎的轉速將被輸出元件限制；當引擎與輸出元件只由扭力自由度等於一的動能控制器相連，則引擎的扭力將被輸出元件限制。

檢驗規則如下：

1. 當 ICE 與 O 之間所有動能控制器的連接方式，其所能提供之運動自由度為一時，引擎之轉速會被輸出元件限制。
2. 當 ICE 與 O 之間所有動能控制器的連接方式，其所能提供之運動自由度超過一時，引擎之轉速不會被輸出元件限制。
3. 當 ICE 與 O 之間所有動能控制器的連接方式，其所能提供之扭力自由度為一時，引擎之扭力會被輸出元件限制。
4. 當 ICE 與 O 之間所有動能控制器的連接方式，其所能提供之扭力自由度超過一時，引擎之扭力不會被輸出元件限制。

### 5-1-2 動力模式

動力模式為能量在系統之各元件間的流動方式，同樣的元件可能有不同的能量流動方式而可產生不同的動力模式。評估系統是否能達成該動力模式時，可利用第四章之合成方法所產生的該構造容許之所有動力流狀態來判定。根據第 3-4 節動力模式的定義，若構造有符合動力模式定義的動力流狀態，則此構造可達成

該項動力模式，若構造沒有符合該動力模式定義之動力流狀態，則此構造無法達成該動力模式。透過所有可能之動力流圖中搜尋，每個動力模式可能對應到不只一個動力流圖。

檢驗規則如下：

1. 若系統可能的所有動力流圖中可搜尋到符合該動力模式定義之動力流圖，則系統可達成該動力模式。
2. 若系統可能的所有動力流圖中無法搜尋到符合該動力模式定義之動力流圖，則系統無法達成該動力模式。

### 5-1-3 行車模式

本研究在行車模式方面僅考慮車輛的運動方向，僅就車輛前進或後退的狀態進行探討，期望能檢驗車輛在不同之動力模式之下可達成的前進與倒車功能。經由第 3-5 節行車模式的分析，本研究已建立行車模式的判斷規則。進行評估時將直接利用動力模式評估的結果，由符合該動力模式之動力流圖當中，依照第 3-5 節行車模式的規則來做判斷。每個動力流圖皆可利用規則判斷其符合前進或是倒車狀態，所有動力模式之動力流圖都會經過檢驗，每個行車模式也可能對應到不只一個動力流圖。

檢驗規則如下：

1. 若動力流圖中，其動力流方向符合 3-5 節中前進模式(F)的規則，則系統可達成該動力模式所對應的前進模式。
2. 若動力流圖中，其動力流方向符合 3-5 節中後退模式(R)的規則，則系統可達成該動力模式所對應的倒車模式。

#### 5-1-4 能量循環(power circulation)

如果構造內有兩部電機，兩部電機的電力線必定會經過一電能控制器與電池連接。在構造圖內，兩部電機的系統除了串聯以外，系統的動能線都會透過動能控制器相連，而各自的電能線也透過電能控制器相連，因而在構造內圍成一個能量的迴路，能量可能會在迴路內發生循環的現象。至於只含有一部電機的構造則沒有能量迴路存在，所以也不會發生能量循環的現象。

能量迴路指原有的一條能量傳遞路徑，在經過路線上的一個分岔點後能量路徑一分為二，兩條分開的路徑後來再通過另一個分岔點又結合為一。當構造內有能量迴路存在，能量經過迴路時有 3 種可能的方式，如圖 5-1 ~ 圖 5-3。圖 5-1 內，能量在路徑 1 與路徑 2 內傳遞時有相同的起點 a 與終點 b，沒有能量在迴路內循環。圖 5-2 內，能量在路徑 1 內由分岔點 a 流向分岔點 b，能量在路徑 2 內由分岔點 b 流向分岔點 a，能量產生逆時鐘的循環；圖 5-3 內，能量在路徑 1 內由分岔點 b 流向分岔點 a，能量在路徑 2 內由分岔點 a 流向分岔點 b，能量產生順時鐘的循環。因此當發生圖 5-2 及圖 5-3 的現象時，能量在迴路內的順時鐘或逆時鐘繞行，稱作能量循環(power circulation)。

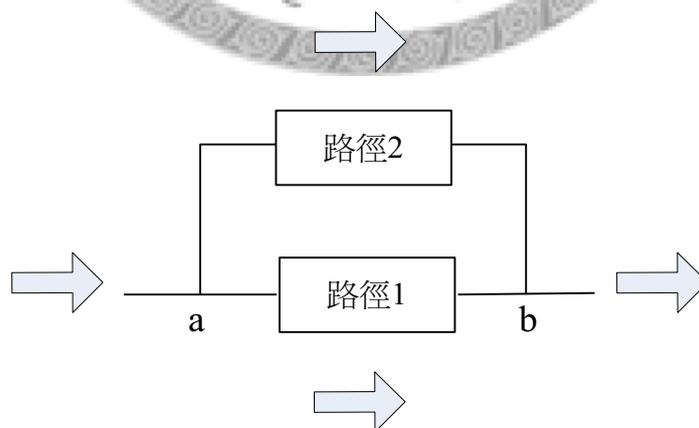


圖 5-1 能量迴路之動力流方向可能一

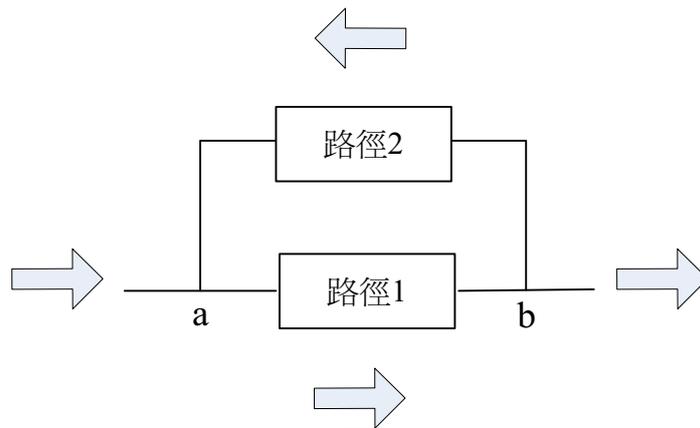


圖 5-2 能量迴路之動力流方向可能二

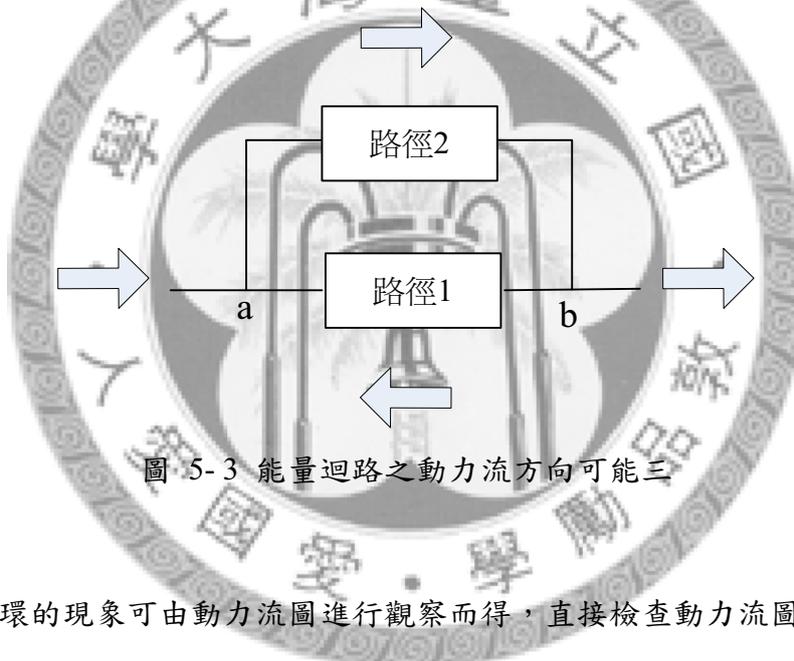


圖 5-3 能量迴路之動力流方向可能三

能量循環的現象可由動力流圖進行觀察而得，直接檢查動力流圖之能量迴路內有無能量的順時鐘或逆時鐘繞行，若有此狀態則表示該動力流圖有能量循環發生。能量循環會造成能量不斷的消耗，使傳動系統效率下降，同時也增加元件的負擔。此外，能量循環還會使得引擎/boost 模式的效果大大降低[22]，要盡量避免此一現象的發生。

## 5-2 一引擎一電機之構造評估

本小節將利用第三章系統理念之分析方法，以 1ICE 1M/G 合成出可能的構造為範例來做概念的評估。1ICE 1M/G 的構造組合有兩種，分別如圖 5-4 之圖 A1 與 A2。本小節將分別對此兩種構造進行評估。1ICE 1M/G 的組合為最基本的混合動力構造形式，使用的元件數量最少。此類構造沒有能量的迴路存在，不會有能量循環的現象發生，故此構造組合不須對能量循環項目進行檢驗。此類構造評估的項目包含引擎操作限制、動力模式以及行車模式。

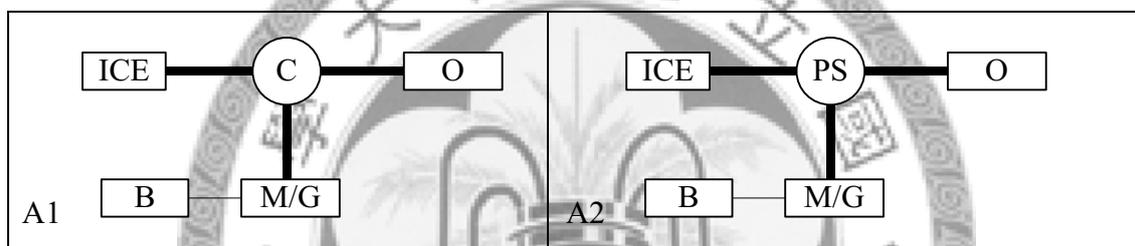


圖 5-4 1ICE 1M/G 之構造圖

### 1. 構造 A1

構造 A1 將引擎以動能控制器 C 與一部電機以及輸出元件相接，屬於並聯混動的型式。

#### (1) 引擎操作限制

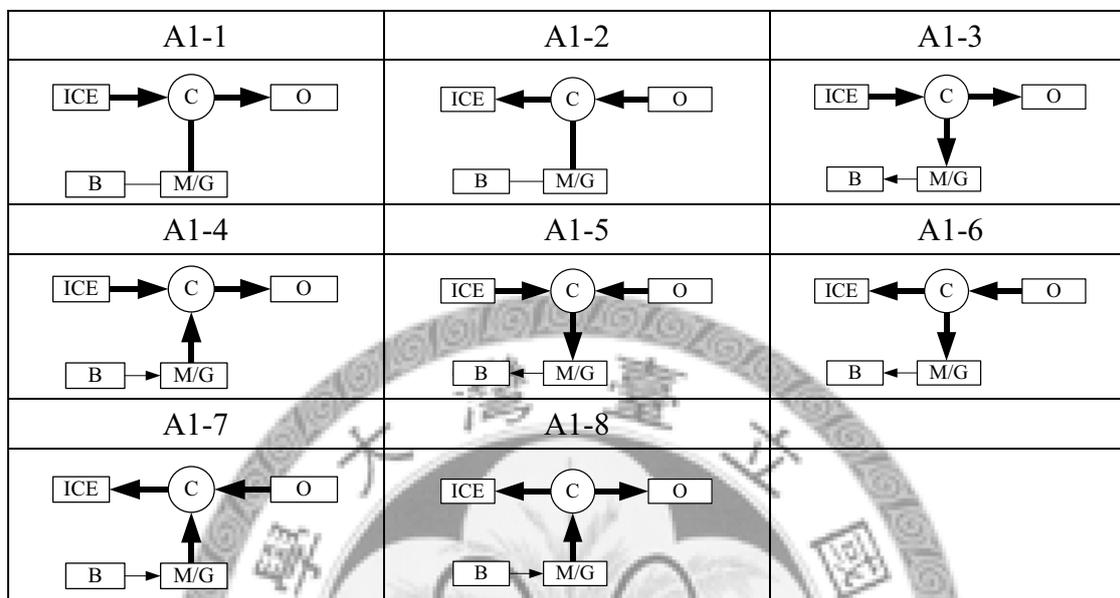
引擎與輸出元件之間經由動能控制器 C 相連，C 有一個運動自由度與兩個扭力自由度。引擎的轉速將與輸出元件的轉速成一固定比例，無法自由調整引擎轉速。扭力自由度為 2，引擎扭力與輸出元件的扭力之間的關係可由 M/G 來調整，引擎可以自由調整扭力。

#### (2) 動力模式

依照第四章動力流圖的合成步驟可以建立起此構造所容許的所有動力流狀

態，如表 5-1。評估時根據 3-4 節動力模式之定義，從此構造可能之所有動力流圖搜尋符合各動力模式定義之圖畫。

表 5-1 構造 A1 之動力流圖



構造 A1 之引擎與輸出元件經由 C 相連，當輸出元件運轉時引擎無法維持靜止的狀態，因此無法達成僅由馬達來帶動車輛的純電動模式。純引擎模式可由動力流圖 A1-1 的狀態來達成，電機處在空轉的狀態，電池不作用。引擎/充電模式可由動力流圖 A1-3 的狀態來達成，此時電機作為發電機，引擎一面提供輸出元件能量一面替電池充電。引擎/boost 模式可由動力流圖 A1-4 來達成，此時電機作為馬達，引擎與馬達同時驅動車輛。無引擎煞車之煞車回充可由動力流圖 A1-5 來達成，煞車時將多餘的動能帶動發電機替電池充電，並將引擎輸出功率降低。有引擎煞車之煞車回充可由動力流圖 A1-6 來達成，輸出元件的多餘動能一部份帶動發電機一部份拖動引擎，利用引擎本身的阻力達到煞車的效果。將構造 A1 所能達成之動力模式與符合該模式的動力流圖整理在表 5-2，共 5 種動力模式有符合的動力流圖。

### (3) 行車模式

構造 A1 的動力元件與輸出元件之間僅經由 C 相連，因此無法產生倒車的模式

式，所有動力模式皆為車輛前進的狀態，行車模式整理在表 5-3，共 5 種行車模式有符合的動力流圖。

表 5-2 構造 A1 之動力模式

	動力模式	對應之動力流圖
1	純電動模式	(無)
2	純引擎模式	A1-1
3	引擎/充電	A1-3
4	引擎/Boost	A1-4
5	煞車回充(無引擎煞車)	A1-5
6	煞車回充+引擎煞車	A1-6

表 5-3 構造 A1 之行車模式

	行車模式	對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	A1-1
4	純引擎模式 R	(無)
5	引擎/充電模式 F	A1-3
6	引擎/充電模式 R	(無)
7	引擎/boost 模式 F	A1-4
8	引擎/boost 模式 R	(無)
9	煞車回充(無引擎煞車) F	A1-5
10	煞車回充(無引擎煞車) R	(無)
11	煞車回充+引擎煞車 F	A1-6
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

## 2. 構造 A2

構造 A2 將引擎以 PS 與一部電機以及輸出元件相連。

### (1) 引擎操作限制

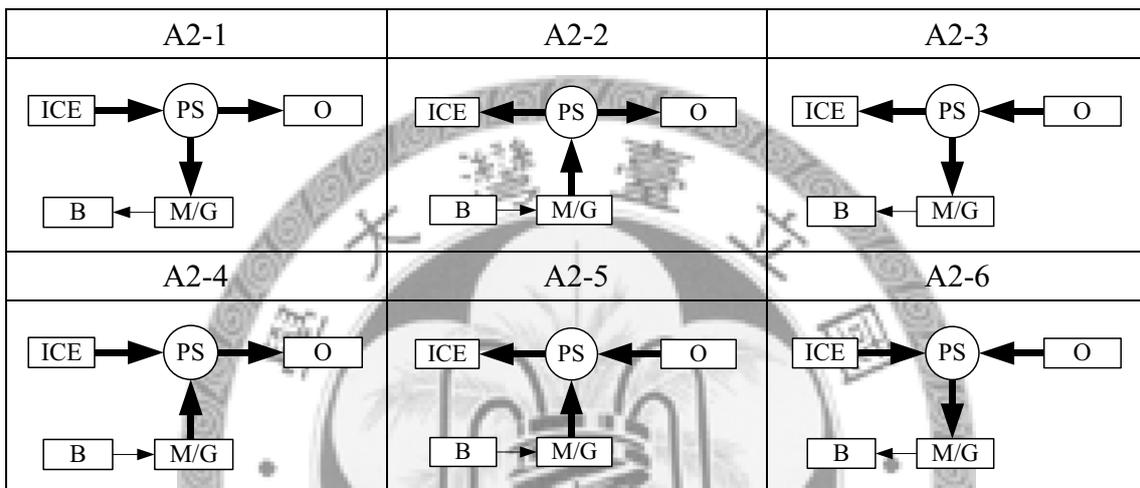
引擎與輸出元件之間由  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，系統之運動自由度為 2，扭力自由度為 1。當輸出元件扭力決定後，引擎的扭力也被迫決定，引擎扭力無法自由調整。

當輸出元件轉速決定後，引擎的轉速可以由電機來調整。

## (2) 動力模式

構造 A2 所有可能之動力流圖如表 5-4，根據動力模式之定義從動力流圖中找尋符合動力流狀態。

表 5-4 構造 A2 之動力流圖



構造 A2 無法達成純電動模式，因為當由馬達來驅動車輛時，經由 PS 相連的引擎端仍會有扭力作用，無法保持靜止。同理構造 A2 也無法達成純引擎模式。引擎/充電模式可由動力流圖 A2-1 的狀態來達成。引擎/boost 模式可由動力流圖 A2-4 來達成。無引擎煞車之煞車回充可由動力流圖 A2-6 來達成，煞車時將多餘的動能帶動發電機替電池充電，並將引擎輸出功率降低。有引擎煞車之煞車回充可由動力流圖 A2-3 來達成。將構造 A2 能達成的動力模式與符合該模式的動力流圖整理成表 5-5，共 4 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-5 構造 A2 之動力模式

	動力模式	對應之動力流圖
1	純電動模式	(無)
2	純引擎模式	(無)
3	引擎/充電	A2-1
4	引擎/Boost	A2-4
5	煞車回充(無引擎煞車)	A2-6
6	煞車回充+引擎煞車	A2-3

### (3) 行車模式

構造 A2 之引擎與輸出元件之間經由  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，可依據 3-5 節行車模式之規則(2)來做判斷，當 ICE 與 0 的能量線箭頭方向一進一出為前進模式(F)；ICE 與 0 的能量線箭頭方向全進或全出為後退模式(R)。

引擎/充電模式的動力流圖 A2-1 當中，ICE 箭頭向外、0 箭頭向內，屬於一進一出的狀態，因此構造 A2 的引擎/充電模式可用在車輛前進時，但是無法用來倒車。引擎/boost 模式的動力流圖為 A2-4，ICE 箭頭向外、0 箭頭向內，此模式也只能用在車輛前進時。無引擎煞車的煞車回充由動力流圖 A2-6 來達成，圖中 ICE 箭頭向外、0 箭頭向外，依照規則是屬於倒車的狀態，代表車輛前進時無法做無引擎煞車的煞車回充。含有引擎煞車的煞車回充是由動力流圖 A2-3 來達成，圖中 ICE 箭頭向內、0 箭頭向外，一進一出的情況依照規則是屬於前進的狀態。將構造 A2 的行車模式整理在表 5-6，共 4 種行車模式有符合的動力流圖。

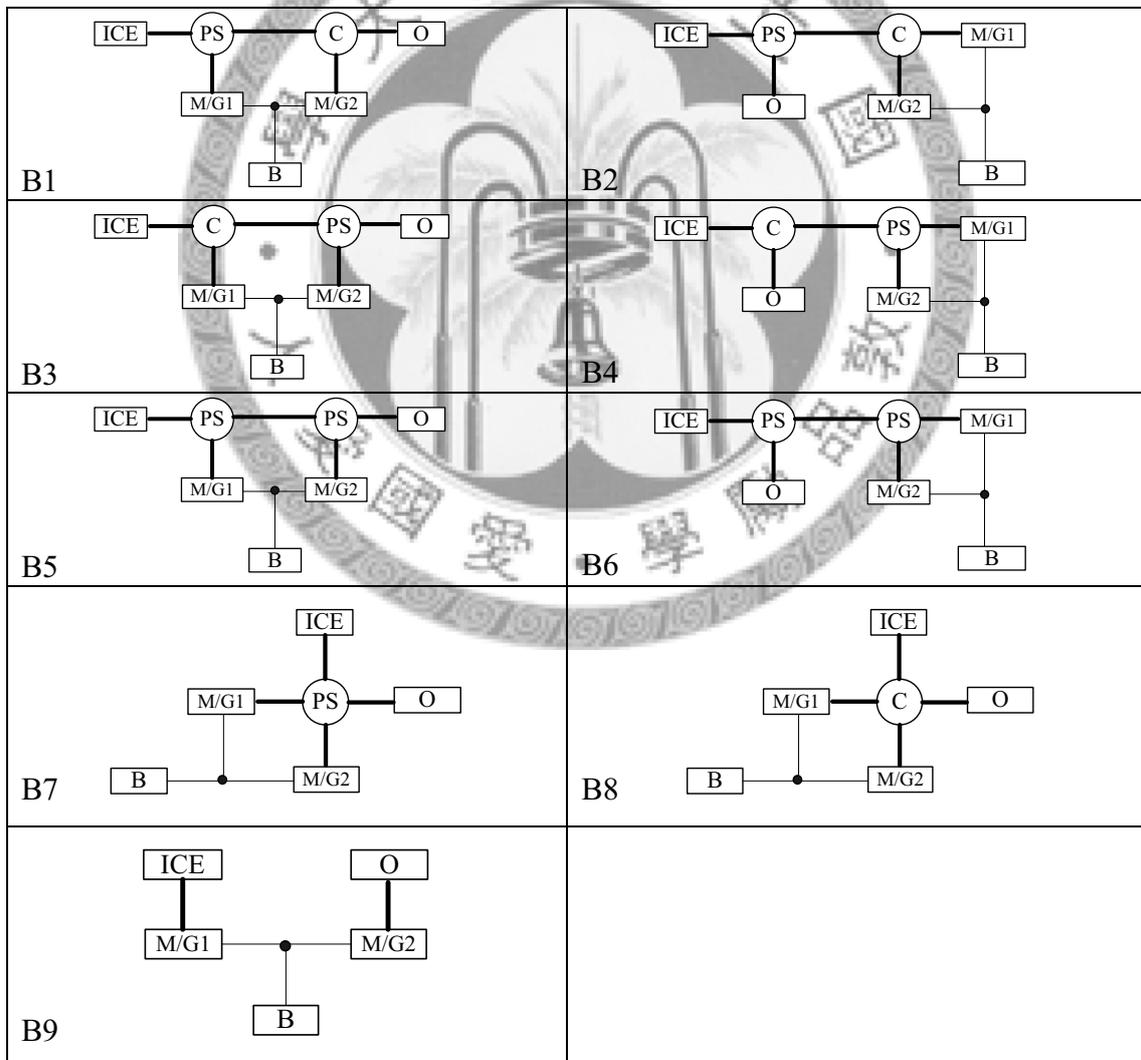
表 5-6 構造 A2 之行車模式

	行車模式	對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	(無)
4	純引擎模式 R	(無)
5	引擎/充電模式 F	A2-1
6	引擎/充電模式 R	(無)
7	引擎/boost 模式 F	A2-4
8	引擎/boost 模式 R	(無)
9	煞車回充(無引擎煞車) F	(無)
10	煞車回充(無引擎煞車) R	A2-6
11	煞車回充+引擎煞車 F	A2-3
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

### 5-3 一引擎兩電機之構造評估

本小節將以 1ICE 2M/G 所合成出的所有可能構造為範例進行評估，1ICE 2M/G 所有的構造如表 5-7。擁有兩部電機的構造，當馬達或發電機作用時，不代表電池也必須作用，馬達或發電機的作用可能只是為了提供引擎能量到輸出元件之間的另一條傳遞路線。以構造 B1 為例，引擎的能量可以經由兩條不同的路線傳遞到輸出元件，ICE 能量可以經過 PS 到 C 再到 O，或者通過 PS 再經過 M/G1 到 M/G2 再到 C 最後到 O。

表 5-7 1ICE 2M/G 之構造圖



## 1. 構造 B1

構造 B1 將引擎與一部電機以 PS 連接，再以 C 與另一部電機以及輸出元件相連。Toyota Prius 的傳動系統以及 GM two-mode 系統的第一模式都是使用此構造。

### (1) 引擎操作限制

引擎與輸出元件之間有動能控制器 C 與 PS。C 有兩個扭力自由度，當輸出元件的扭力決定後，引擎的扭力仍可以任意決定，扭力可由 M/G2 來調整。當輸出元件轉速決定後，M/G2 轉速被迫固定，而引擎的轉速可由 M/G1 來調整。

### (2) 動力模式

構造 B1 合成之所有動力流圖結果請見附錄三。依照動力模式之定義，從產生的所有動力流圖中尋找符合各種動力模式之動力流圖，將動力模式與對應之動力流圖結果整理如表 5-8，6 種動力模式皆有符合的動力流圖。1ICE 2M/G 之構造因為動力流圖過多，本小節僅列出構造 B1 至 B3 對應之所有動力流圖做說明，之後將不再詳細列出，其餘動力流圖置於附錄三。

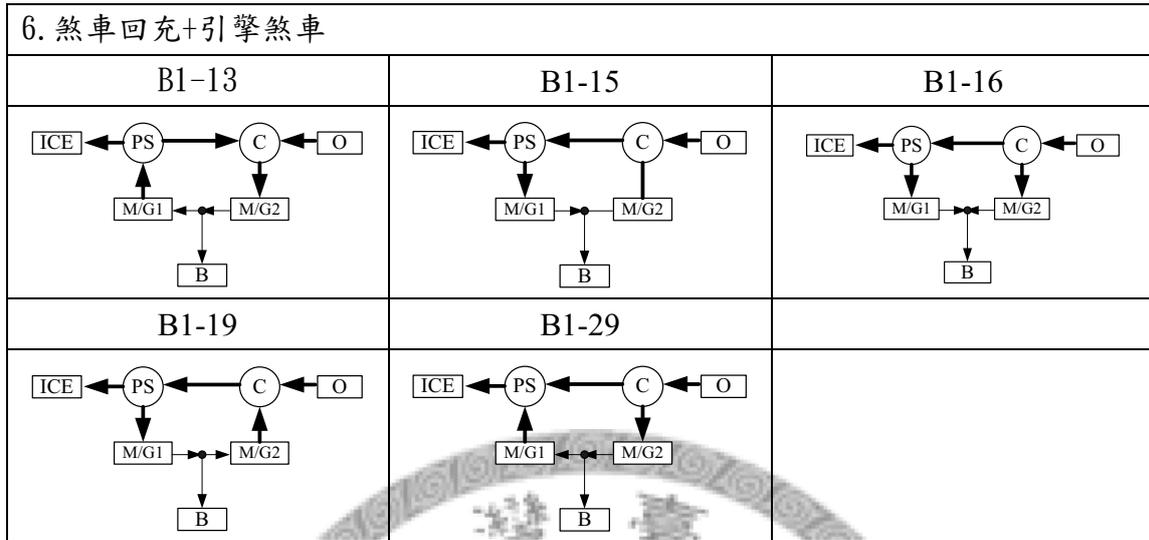
表 5-8 構造 B1 之動力模式

1. 純電動模式		
B1-1		
2. 純引擎模式		
B1-7	B1-25	B1-37

表 5-8 構造 B1 之動力模式(續)

3. 引擎/充電		
B1-3	B1-4	B1-5
B1-24	B1-35	
4. 引擎/Boost		
B1-6	B1-21	B1-22
B1-23	B1-36	
5. 煞車回充(無引擎煞車)		
B1-2	B1-8	B1-26
B1-33	B1-34	B1-38

表 5-8 構造 B1 之動力模式(續)



### (3) 行車模式

動力模式—純電動模式當中，只由馬達來驅動車輛，馬達的正反轉可驅動車輛前進及後退，因此純電動模式之動力流圖 B1-1 可達成前進與後退的行車模式。其他有引擎參與之動力模式可由 3-5 小節的行車模式規則(3)來做判斷，整理的結果如表 5-9，12 種行車模式皆有符合的動力流圖。

表 5-9 構造 B1 之行車模式

行車模式	對應之動力流圖
1 純電動模式 F	B1-1
2 純電動模式 R	B1-1
3 純引擎模式 F	B1-7,B1-25
4 純引擎模式 R	B1-37
5 引擎/充電模式 F	B1-3,B1-4,B1-5,B1-24
6 引擎/充電模式 R	B1-35
7 引擎/boost 模式 F	B1-6,B1-21,B1-22,B1-23
8 引擎/boost 模式 R	B1-36
9 煞車回充(無引擎煞車) F	B1-2,B1-8,B1-26
10 煞車回充(無引擎煞車) R	B1-2,B-33,B1-34,B1-38
11 煞車回充+引擎煞車 F	B1-15,B1-16,B1-19,B1-29
12 煞車回充+引擎煞車 R	B1-13

#### (4) 能量循環

在所有行車模式當中，純引擎模式的 B1-25、B1-37 有能量循環發生；引擎/充電模式的 B1-24、B1-35，引擎/boost 模式的 B1-23、B1-36，煞車回充(無引擎煞車)模式的 B1-26、B1-38，煞車回充+引擎煞車模式的 B1-19、B1-13 也都有能量循環的現象發生。

在驅動模式當中，有一種能量循環是機械能路徑上發生反向的循環(mechanical reverse)，如圖 5-5。引擎驅動車輛時，引擎輸出的機械能沒有直接傳遞至輸出元件，而是全都轉換為電能經由電能路徑傳遞至輸出元件，且能量在輸出元件之前又經過機械能路徑反向繞回引擎。

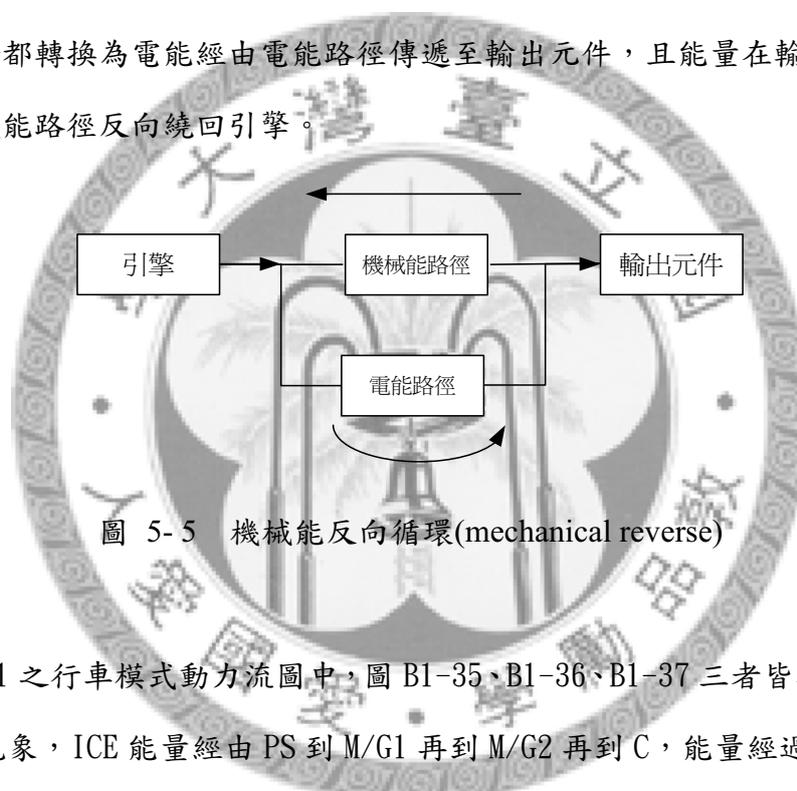


圖 5-5 機械能反向循環(mechanical reverse)

構造 B1 之行車模式動力流圖中，圖 B1-35、B1-36、B1-37 三者皆有 mechanical reverse 的現象，ICE 能量經由 PS 到 M/G1 再到 M/G2 再到 C，能量經過 C 後一部份到 O 另一部份又從 C 流回 PS。從行車模式整理後可得知，構造 B1 的 mechanical reverse 發生在引擎驅動倒車時，包含純引擎模式倒車、引擎/充電模式倒車與引擎/boost 模式倒車。Mechanical reverse 的發生造成大幅增加電機的負擔，比起其他的能量循環效率更低，在設計系統時會刪除有 mechanical reverse 的情況[27]。

## 2. 構造 B2

構造 B2 將引擎與輸出元件以 PS 相連，再以 C 與兩部電機相連。

### (1) 引擎操作限制

引擎與輸出元件經由  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，一旦輸出元件扭力決定後，引擎扭力也被迫決定。當輸出元件轉速決定後，引擎的轉速可以由兩部電機來調整。因為 M/G1 與 M/G2 由 C 相連，兩部電機的轉速將成固定比例。

### (2) 動力模式

構造 B2 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式的定義找出構造 B2 當中符合各模式的動力流圖。構造 B2 所能達成之動力模式與對應之動力流圖整理如表 5-10，共有 4 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-10 構造 B2 之動力模式

1. 純電動模式		
(無)		
2. 純引擎模式		
(無)		
3. 引擎/充電		
B2-1	B2-2	B2-3
B2-4	B2-5	

表 5-10 構造 B2 之動力模式(續)

4. 引擎/Boost		
B2-21	B2-22	B2-23
B2-24	B2-25	
5. 煞車回充(無引擎煞車)		
B2-26	B2-27	B2-28
B2-29	B2-30	
6. 煞車回充+引擎煞車		
B2-6	B2-7	B2-8
B2-9	B2-10	

### (3) 行車模式

構造 B2 的 ICE 與 0 之間只有 PS 動能控制器，因此可用 3-5 小節行車模式規則(2)來判斷，整理結果如表 5-11，共有 4 種行車模式有符合的動力流圖。

表 5-11 構造 B2 之行車模式

	行車模式	對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	(無)
4	純引擎模式 R	(無)
5	引擎/充電模式 F	B2-1,B2-2,B2-3,B2-4,B2-5
6	引擎/充電模式 R	(無)
7	引擎/boost 模式 F	B2-21,B2-22,B2-23,B2-24,B2-25
8	引擎/boost 模式 R	(無)
9	煞車回充(無引擎煞車) F	(無)
10	煞車回充(無引擎煞車) R	B2-26,B2-27,B2-28,B2-29,B2-30
11	煞車回充+引擎煞車 F	B2-6,B2-7,B2-8,B2-9,B2-10
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

### (4) 能量循環

在引擎/充電的動力模式當中，動力流圖 B2-4、B2-5 有能量循環的現象。此能量循環並非發生在引擎到輸出元件的傳遞路線之間，而是發生在引擎到電池之間，只有電能路徑本身在循環，無法調整引擎的操作。在引擎/充電模式中，B2-1、B2-2、B2-3 沒有能量循環的情況，因此效率較 B2-4、B2-5 高。

除了引擎/充電模式之外，煞車回充+引擎煞車模式中的動力流圖 B2-9、B2-10；引擎/boost 模式中的動力流圖 B2-24、B2-25；煞車回充(無引擎煞車)模式中的動力流圖 B2-29、B2-30，都有電能本身無意義的循環，系統應該避免操作在這些狀態下。

### 3. 構造 B3

構造 B3 將引擎與一部電機以 C 相連，再以 PS 與另一部電機以及輸出元件相連。

#### (1) 引擎操作限制

引擎與輸出元件之間由 C 與  $N_{ps}=3$  之 PS 相連。PS 扭力自由度為 1，當輸出元件扭力決定後，M/G2 的扭力也會被決定，而引擎與 M/G1 的扭力和也會被決定，能夠調整的為引擎與 M/G1 之間扭力的比例，引擎的扭力可藉由 M/G1 來調整。當輸出元件轉速決定後，引擎與 M/G1 的轉速可以由 M/G2 來調整。

#### (2) 動力模式

構造 B3 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式之定義找出符合的動力流圖，將動力模式與對應之動力流圖整理在表 5-12，共有 5 種動力模式有符合的動力流圖。

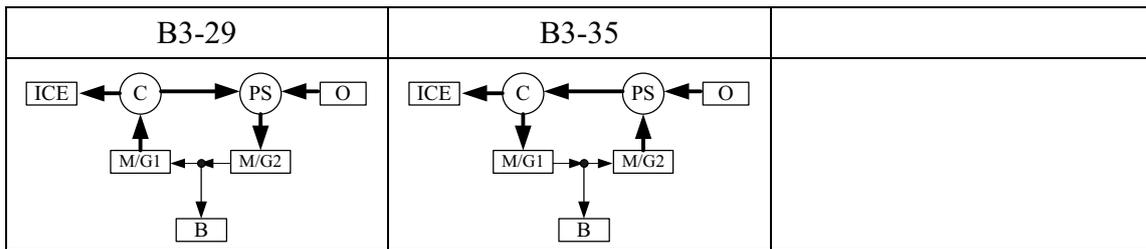
表 5-12 構造 B3 之動力模式

1. 純電動模式		
(無)		
2. 純引擎模式		
B3-8	B3-14	B3-24
3. 引擎/充電		
B3-3	B3-4	B3-7

表 5-12 構造 B3 之動力模式(續)

<p style="text-align: center;">B3-13</p>	<p style="text-align: center;">B3-23</p>	
<p>4. 引擎/Boost</p>		
<p style="text-align: center;">B3-6</p>	<p style="text-align: center;">B3-12</p>	<p style="text-align: center;">B3-21</p>
<p style="text-align: center;">B3-22</p>	<p style="text-align: center;">B3-26</p>	
<p>5. 煞車回充(無引擎煞車)</p>		
<p style="text-align: center;">B3-20</p>	<p style="text-align: center;">B3-27</p>	<p style="text-align: center;">B3-28</p>
<p style="text-align: center;">B3-32</p>	<p style="text-align: center;">B3-38</p>	
<p>6. 煞車回充+引擎煞車</p>		
<p style="text-align: center;">B3-15</p>	<p style="text-align: center;">B3-16</p>	<p style="text-align: center;">B3-18</p>

表 5-12 構造 B3 之動力模式(續)



### (3) 行車模式

構造 B3 在 ICE 與 O 之間由 C 以及  $N_{ps}=3$  之 PS 相連，適用於 3-5 小節行車模式判斷規則(3)，行車模式整理結果如表 5-13，共有 10 種行車模式有符合的動力流圖。

表 5-13 構造 B3 之行車模式

行車模式	對應之動力流圖
1 純電動模式 F	(無)
2 純電動模式 R	(無)
3 純引擎模式 F	B3-8, B3-24
4 純引擎模式 R	B3-14
5 引擎/充電模式 F	B3-3, B3-4, B3-7, B3-23
6 引擎/充電模式 R	B3-13
7 引擎/boost 模式 F	B3-6, B3-21, B3-22, B3-26
8 引擎/boost 模式 R	B3-12
9 煞車回充(無引擎煞車) F	B3-20, B3-38
10 煞車回充(無引擎煞車) R	B3-27, B3-28, B3-32
11 煞車回充+引擎煞車 F	B3-15, B3-16, B3-18, B3-35
12 煞車回充+引擎煞車 R	B3-29

### (4) 能量循環

所有行車模式當中，純引擎模式的 B3-8、B3-14 有能量循環發生；引擎/充電模式的 B3-7、B3-13，引擎/boost 模式的 B3-6、B3-12，煞車回充(無引擎煞車)模式的 B3-32、B3-38，煞車回充+引擎煞車模式的 B3-29、B3-35 有能量循環的現象發生。其中動力流圖 B3-12、B3-13、B3-14 有 mechanical reverse 的現象。

## 4. 構造 B4

構造 B4 將引擎與輸出元件以 C 相連，再以 PS 與兩部電機相連。

### (1) 引擎操作限制

引擎與輸出元件經由 C 相連，當輸出元件轉速決定後，引擎轉速也被迫決定。M/G1 與 M/G2 經由  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，兩電機的扭力將成一固定比例關係，當輸出元件扭力決定後，引擎的扭力可由兩部電機的扭力來調整。

### (2) 動力模式

構造 B4 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式的定義找出構造 B4 當中符合各模式的動力流圖，動力模式與對應之動力流圖整理成表 5-14，共 5 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-14 構造 B4 之動力模式

	動力模式	對應之動力流圖
1	純電動模式	(無)
2	純引擎模式	B4-2
3	引擎/充電	B4-3,B4-16,B4-18,
4	引擎/Boost	B4-8,B4-10,B4-13
5	煞車回充(無引擎煞車)	B4-5,B4-17,B4-20
6	煞車回充+引擎煞車	B4-4,B4-15,B4-19

### (3) 行車模式

ICE 與 0 之間只有動能控制器 C，所有行車模式皆只能使用在車輛前進時，結果如表 5-15，共 5 種行車模式有符合的動力流圖。

### (4) 能量循環

在所有行車模式當中，引擎/充電模式的 B4-16、B4-18，引擎/boost 模式的 B4-8、B4-10，煞車回充(無引擎煞車)模式的 B4-17、B4-20，煞車回充+引擎煞車模式的 B4-15、B4-19 有能量循環的現象發生。

表 5-15 構造 B4 之行車模式

	行車模式	對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	B4-2
4	純引擎模式 R	(無)
5	引擎/充電模式 F	B4-3,B4-16,B4-18,
6	引擎/充電模式 R	(無)
7	引擎/boost 模式 F	B4-8,B4-10,B4-13
8	引擎/boost 模式 R	(無)
9	煞車回充(無引擎煞車) F	B4-5,B4-17,B4-20
10	煞車回充(無引擎煞車) R	(無)
11	煞車回充+引擎煞車 F	B4-4,B4-15,B4-19
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

## 5. 構造 B5

構造 B5 將引擎與一部電機以 PS 相連，再以另一個 PS 與另一部電機以及輸出元件相連。

### (1) 引擎操作限制

構造 B5 的輸出元件與引擎之間由兩個  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，一個 PS 有兩個運動自由度，兩個 PS 串聯後成為三自由度的系統，當輸出元件轉速決定後，還可以任意決定引擎以及兩部電機當中兩者的轉速。 $N_{ps}=3$  的扭力自由度為 1，兩個 PS 串聯後扭力自由度仍為 1，當輸出元件的扭力決定後，引擎的扭力也被迫決定。

### (2) 動力模式

構造 B5 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式之定義找出符合的動力流圖，將動力模式與對應之動力流圖整理在表 5-16，共 5 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-16 構造 B5 之動力模式

	動力模式	對應之動力流圖
1	純電動模式	(無)
2	純引擎模式	B5-4,B5-23,B5-28
3	引擎/充電	B5-1,B5-2,B5-22,B5-26
4	引擎/Boost	B5-3,B5-21,B5-27,B5-29
5	煞車回充(無引擎煞車)	B5-5,B5-24,B5-25,B5-30
6	煞車回充+引擎煞車	B5-9,B5-11,B5-14,B5-18

### (3) 行車模式

構造 B5 的引擎與輸出元件之間有兩個  $Nps=3$  的 PS，可由 3-5 小節之行車模式判斷規則(2)來判斷，整理結果在表 5-17，共 5 種行車模式有符合的動力流圖。

表 5-17 構造 B5 之行車模式

	行車模式	對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	B5-4,B5-23,B5-28
4	純引擎模式 R	(無)
5	引擎/充電模式 F	B5-1,B5-2,B5-22,B5-26
6	引擎/充電模式 R	(無)
7	引擎/boost 模式 F	B5-3,B5-21,B5-27,B5-29
8	引擎/boost 模式 R	(無)
9	煞車回充(無引擎煞車) F	(無)
10	煞車回充(無引擎煞車) R	B5-5,B5-24,B5-25,B5-30
11	煞車回充+引擎煞車 F	B5-9,B5-11,B5-14,B5-18
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

### (4) 能量循環

在所有行車模式當中，純引擎模式的 B5-23、B5-28，引擎/充電模式的 B5-22、B5-26，引擎/boost 模式的 B5-21、B5-27，煞車回充(無引擎煞車)模式的 B5-25、B5-30，煞車回充+引擎煞車模式的 B5-9、B5-14 有能量循環的現象發生。其中動力流圖 B5-21、B5-22、B5-23 有 mechanical reverse 的現象。

## 6. 構造 B6

構造 B6 將引擎與輸出元件以 PS 相連，再以另一個 PS 與兩部電機相連。

### (1) 引擎操作限制

構造 B6 和 B5 相同都是三自由度的系統，當輸出元件轉速決定後，還可以任意決定引擎以及兩部電機其中兩者的轉速。引擎與輸出元件經由  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，當輸出元件扭力決定後，引擎的扭力也會被迫決定。

### (2) 動力模式

構造 B6 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式之定義找出符合的動力流圖，將動力模式與對應之動力流圖整理在表 5-18，共 4 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-18 構造 B6 之動力模式

	動力模式	對應之動力流圖
1	純電動模式	(無)
2	純引擎模式	(無)
3	引擎/充電	B6-1,B6-2,B6-3
4	引擎/Boost	B6-13,B6-14,B6-15
5	煞車回充(無引擎煞車)	B6-16,B6-17,B6-18
6	煞車回充+引擎煞車	B6-4,B6-5,B6-6

### (3) 行車模式

構造 B6 的引擎與輸出元件之間只有  $N_{ps}=3$  的 PS 相連，可由 3-5 小節行車模式判斷規則(2)來判斷，整理結果在表 5-19，共 4 種行車模式有符合的動力流圖。

### (4) 能量循環

構造 B6 的所有行車模式當中，引擎/充電模式的 B6-2、B6-3，引擎/boost 模式的 B6-13、B6-14，煞車回充(無引擎煞車)模式的 B6-16、B6-17，煞車回充+引

擎煞車模式的 B6-5、B6-6 有能量循環的現象發生。

表 5-19 構造 B6 之行車模式

	行車模式	對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	(無)
4	純引擎模式 R	(無)
5	引擎/充電模式 F	B6-1,B6-2,B6-3
6	引擎/充電模式 R	(無)
7	引擎/boost 模式 F	B6-13,B6-14,B6-15
8	引擎/boost 模式 R	(無)
9	煞車回充(無引擎煞車) F	(無)
10	煞車回充(無引擎煞車) R	B6-16,B6-17,B6-18
11	煞車回充+引擎煞車 F	B6-4,B6-5,B6-6
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

## 7. 構造 B7

構造 B7 將所有元件以  $Nps=4$  之 PS 相連。GM two-mode 系統的第二模式即是採用此構造。

### (1) 引擎操作限制

引擎與輸出元件之間由  $Nps=4$  之 PS 相連，有兩個扭力自由度與兩個運動自由度。四個元件當中可任意決定兩個轉速，因此當輸出元件轉速決定後，引擎轉速仍可以調整；當輸出元件扭力決定後，引擎扭力也可以調整。

### (2) 動力模式

構造 B7 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式之定義找出符合的動力流圖，將動力模式與對應之動力流圖整理在表 5-20，共 5 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-20 構造 B7 之動力模式

	動力模式	對應之動力流圖
1	純電動模式	(無)
2	純引擎模式	B7-19, B7-26, B7-19, B7-26
3	引擎/充電	B7-1, B7-2, B7-13, B7-18, B7-27
4	引擎/Boost	B7-7, B7-8, B7-17, B7-25, B7-31
5	煞車回充(無引擎煞車)	B7-9, B7-10, B7-20, B7-33, B-34
6	煞車回充+引擎煞車	B7-5, B7-6, B7-14, B-21, B7-30

### (3) 行車模式

引擎與輸出元件之間由 Nps=4 之 PS 相連，行車模式可由 3-5 小節規則(4)判斷，整理結果在表 5-21，共 10 種行車模式有符合的動力流圖。

表 5-21 構造 B7 之行車模式

	行車模式	對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	B7-19, B7-26
4	純引擎模式 R	B7-19, B7-26
5	引擎/充電模式 F	B7-1, B7-2, B7-13, B7-18, B7-27
6	引擎/充電模式 R	B7-1, B7-2, B7-13, B7-18, B7-27
7	引擎/boost 模式 F	B7-7, B7-8, B7-17, B7-25, B7-31
8	引擎/boost 模式 R	B7-7, B7-8, B7-17, B7-25, B7-31
9	煞車回充(無引擎煞車) F	B7-9, B7-10, B7-20, B7-33, B-34
10	煞車回充(無引擎煞車) R	B7-9, B7-10, B7-20, B7-33, B-34
11	煞車回充+引擎煞車 F	B7-5, B7-6, B7-14, B-21, B7-30
12	煞車回充+引擎煞車 R	B7-5, B7-6, B7-14, B-21, B7-30

### (4) 能量循環

純引擎模式的 B7-19，引擎/充電模式的 B7-18，引擎/boost 模式的 B7-17，煞車回充(無引擎煞車)模式的 B7-33、B7-34，煞車回充+引擎煞車模式的 B7-21、B7-30 有能量循環的現象。

## 8. 構造 B8

構造 B8 將所有元件以 C 相連。

### (1) 引擎操作限制

引擎與輸出元件之間由 C 相連，當輸出元件轉速決定後，引擎的轉速以及兩部電機的轉速都會被迫決定。Nc=4 之 C 有三個扭力自由度，與之相連的四個元件之間可以自由決定其中三者的扭力，當輸出元件扭力決定後，引擎的扭力以及其中一部電機的扭力可以自由調整。

### (2) 動力模式

構造 B8 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式之定義找出符合的動力流圖，將動力模式與對應之動力流圖整理在表 5-22，共 5 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-22 構造 B8 之動力模式

	動力模式	對應之動力流圖
1	純電動模式	(無)
2	純引擎模式	B8-1, B8-21, B8-27
3	引擎/充電	B8-3, B8-4, B8-15, B8-20, B8-28
4	引擎/Boost	B8-9, B8-10, B8-19, B8-32, B8-33
5	煞車回充(無引擎煞車)	B8-11, B8-12, B8-22, B8-35, B8-36
6	煞車回充+引擎煞車	B8-7, B8-8, B8-16, B8-23, B8-31

### (3) 行車模式

引擎經由 C 與輸出元件相連，所有動力模式只可使用在車輛前進時，整理結果如表 5-23，共 5 種行車模式有符合的動力流圖。

表 5-23 構造 B8 之行車模式

行車模式		對應之動力流圖
1	純電動模式 F	(無)
2	純電動模式 R	(無)
3	純引擎模式 F	B8-1, B8-21, B8-27
4	純引擎模式 R	(無)
5	引擎/充電模式 F	B8-3, B8-4, B8-15, B8-20, B8-28
6	引擎/充電模式 R	(無)
7	引擎/boost 模式 F	B8-9, B8-10, B8-19, B8-32, B8-33
8	引擎/boost 模式 R	(無)
9	煞車回充(無引擎煞車) F	B8-11, B8-12, B8-22, B8-35, B8-36
10	煞車回充(無引擎煞車) R	(無)
11	煞車回充+引擎煞車 F	B8-7, B8-8, B8-16, B8-23, B8-31
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

#### (4) 能量循環

構造內只有動能控制器 C，電機可以任意調整扭力，因此電機可以控制本身的動力流方向，使能量在迴路內繞行的現象不要發生。

純引擎模式之 B8-21、B8-27；引擎/充電模式的 B8-20、B8-28；引擎/boost 模式的 B8-19、B8-32；煞車回充(無引擎煞車)模式的 B8-35、B8-36；煞車回充+引擎煞車模式的 B8-23、B8-31 皆有能量循環發生，上述動力流狀態都應該避免。

## 9. 構造 B9

構造 B9 將引擎與一部電機直接相連，再接上另一部電機後與輸出元件相連，屬於串聯混動的構造。

### (1) 引擎操作限制

引擎與輸出元件之間沒有動能線之接相連，因此輸出元件的轉速以及扭力不會直接影響到引擎，引擎的轉速以及扭力皆可自由調整，操作在效率最佳區間。

## (2) 動力模式

構造 B9 之所有動力流圖請見附錄三，依照動力模式之定義找出符合的動力流圖，將動力模式與對應之動力流圖整理在表 5-24，共 5 種動力模式有符合的動力流圖。

表 5-24 構造 B9 之動力模式

動力模式		對應之動力流圖
1	純電動模式	B9-1
2	純引擎模式	B9-7
3	引擎/充電	B9-5
4	引擎/Boost	B9-6
5	煞車回充(無引擎煞車)	B9-2, B9-4
6	煞車回充+引擎煞車	(無)

## (3) 行車模式

構造 B9 只有電機與輸出元件相連，所有動力模式皆可達成前進與後退的狀態，行車模式整理結果於表 5-25，共 10 種行車模式有符合的動力流圖。

表 5-25 構造 B9 之行車模式

行車模式		對應之動力流圖
1	純電動模式 F	B9-1
2	純電動模式 R	B9-1
3	純引擎模式 F	B9-7
4	純引擎模式 R	B9-7
5	引擎/充電模式 F	B9-5
6	引擎/充電模式 R	B9-5
7	引擎/boost 模式 F	B9-6
8	引擎/boost 模式 R	B9-6
9	煞車回充(無引擎煞車) F	B9-2, B9-4
10	煞車回充(無引擎煞車) R	B9-2, B9-4
11	煞車回充+引擎煞車 F	(無)
12	煞車回充+引擎煞車 R	(無)

#### (4) 能量循環

構造 B9 內沒有能量迴路，因此沒有能量循環的狀況。

### 5-4 構造評估結果之討論

本研究以引擎操作限制、動力模式、行車模式、能量循環等項目來檢驗所有可能的設計概念。其中引擎操作限制的評估結果可分為兩類：(A)引擎轉速可自由調整，不被輸出元件限制，以及(B)引擎扭力可自由調整，不被輸出元件限制。而動力模式的評估結果會包含在行車模式的評估項目裡，評估的結果僅將列出行車模式，行車模式共包含 12 個項目。能量循環評估項目當中，有機械能逆向循環 (mechanical reverse)發生的行車模式將根據搜尋到的文獻[27]所示當作不允許的狀態，系統視為無法達成該行車模式。

本章以一引擎一電機以及一引擎兩電機之所有可能構造為範例進行評估，將評估之結果整理於表 5-26。

表 5-26 1ICE 1M/G 與 1ICE 2M/G 評估結果

構造 編號	引擎操作 限制		行車模式												總 數
	A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A1		●			●		●		●		●		●		6
A2	●						●		●			●	●		5
B1	●	●	●	●	●		●		●		●	●	●	●	11
B2	●						●		●			●	●		5
B3	●	●			●		●		●		●	●	●	●	9
B4		●			●		●		●		●		●		6
B5	●				●		●		●			●	●		6
B6	●						●		●			●	●		5
B7	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12
B8		●			●		●		●		●		●		6
B9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			12

一引擎、一電機(1ICE 1M/G)之構造，電機的使用都必定伴隨著電池的使用。若電機作為馬達時，電池必須放電；若電機作發電機時，電池必須充電。因此當希望利用電機來調整引擎的轉速或扭力時，仍必須考慮到電池的情況，使電機的操作狀態會受到電池電量不足或者電池容量已滿等影響，進而使得引擎操作會受到電池容量的牽制。

一引擎、兩電機(1ICE 2M/G)之構造，電機的使用不一定代表電池的使用，電機作用可能只是在傳遞部份的引擎能量到輸出元件，與電池操作無關。此類構造在調整引擎操作狀態時，因電機的操作與電池無直接的關聯，不會受到電池容量之影響，操作彈性較大。

每種構造可達成之功能不盡相同，現在許多混合動力車輛的變速箱都是結合了不只一種的構造，彼此透過離合器與制動器來做切換，可發揮不同構造各自的優勢。

本研究利用合成的方式，找出包含一引擎、一電機的組合有兩種構造，包含一引擎、兩電機的組合有九種構造，共有 11 種構造設計概念。由評估結果可看出，構造 B1、構造 B7、構造 B9 符合最多的評估項目，三者的引擎皆可自由調整轉速及扭力，操作點可固定，其所能達成的行車模式數量也超過其他構造。

本研究中的此三種構造也是目前市面上混合動力車最常採用的構造，Prius 目前即是採用構造 B1 作為其傳動系統。GM two-mode 系統，包括 Chevrolet Tahoe Hybrid、GMC Yukon hybrid、Saturn VUE Green Line Hybrid 等，皆採用構造 B1 作為其第一模式(first mode)，採用構造 B7 作為其第二模式(second mode)。Timken EVT 系統也採用構造 B1 作為其第一模式(first mode)，採用構造 B7 作為其第二模式(second mode)，而採用構造 B9 作為其倒車模式。藉由比對評估之結果與實際現有的系統，顯示此理念分析與合成方法對混合動力系統設計有實際之幫助。

## 5-5 動力模式之改善方法

第四章之動力流圖合成方法所合成出的動力流圖，是在沒有任何離合器或制動器存在之下，該構造能容許的所有能量可能流動方式。如果某動力模式之定義的動力流規則無法在合成出的動力流圖內找到，即代表該構造本身無法達成該動力模式。

已知動力流所有可能的狀態乃是由動力元件與動能控制器的搭配方式所決定，在動力元件沒有改變的情況之下，只能透過動能控制器的調整來產生動力流狀態的變化。系統透過離合器或制動器的使用，可以對構造做調整，改變能量在構造內的流動方式，以達成原始構造內無法滿足的動力模式。

### 5-5-1 改善方法

動力模式的改善是在評估無法達成的動力模式之後，在原本的構造圖上加入離合器或制動器，使構造在不同模式之間可以利用離合器或制動器來切換，期望能達成所有的動力模式。以下將討論離合器、制動器分別對不同類型之動能控制器的可能操作情形。

#### 1. 離合器

在兩個桿件之間如果有離合器，經由離合器的控制可將兩桿件接上或者分離。當離合器將動能控制器上的某一端切開時，與動能控制器相連的動能線數目會減少一，而動能控制器的運動自由度不受影響。

如果將動能控制器  $N_c=3$  之  $C$  上的某一桿件經由離合器分離，動能線數目會減一變成  $N_c=2$ ，此動能控制器機構可以存在，且  $C$  可以省略。如果將  $N_c=4$  之  $C$  上的某一桿件分離，動能線數目減一變成  $N_c=3$ ，此動能控制器機構可以存在。若將  $N_{ps}=3$  之  $PS$  上的某一桿件分離，動能線數目減一變為  $N_{ps}=2$ ， $PS$  將無法控制而形成斷路，

此動能控制器機構無法存在。若將  $N_{ps}=4$  之 PS 上某一桿件分離，動能線數目減一變成  $N_{ps}=3$ ，此動能控制器機構可以存在。

## 2. 制動器

在某個桿件上如果配置有制動器，則經由制動器的控制可以將桿件制動，使之轉速為零。當制動器將動能控制器上的某一端制動時，該端沒有能量可以通過，與動能控制器相連的動能線數目會減少一，而動能控制器的運動自由度也下降一。

如果將動能控制器  $N_c=3$  之 C 上的某一桿件經由制動器制動，則 C 上所有桿件都會同時被制動，C 會變成斷路，該動能控制器機構無法存在。如果將  $N_c=4$  之 C 上的某一桿件制動，情況與  $N_c=3$  相同，C 上所有桿件都會同時被制動，C 變為斷路而無法存在。若將  $N_{ps}=3$  之 PS 上的某一桿件制動，運動自由度下降一，動能線數目也減一變為  $N_c=2$ ，此機構可以存在，且 C 可以省略。若將  $N_{ps}=4$  之 PS 上某一桿件制動，自由度和動能線數目都下降一變成  $N_c=3$ ，此機構可以存在。

## 3. 小結

使用離合器或制動器的時機須與動能控制器的類型搭配。如果只希望將動能控制器上與某一元件相連的動能線移除，則依據上述的討論，可得到動能控制器與離合器和制動器的搭配規則。欲移除動能控制器上的單一動能線時，C 必須藉由離合器來將動能線移除； $N_{ps}=3$  之 PS 則必須藉由制動器來移除其中的一條動能線； $N_{ps}=4$  之 PS 則是離合器與制動器皆可。不同的動能控制器移除動能線時採用的方式不同，如表 5-27。

改善時依據動力模式的定義，將該模式下不允許作用的元件透過離合器或制動器的操作，把不作用的元件之動能線從動能控制器上移除，以達成期望的動力模式。

表 5-27 移除動能控制器上單一動能線之方法

動能控制器類型	以離合器移除 單一動能線	以制動器移除 單一動能線
Nc=3 之 C	●	
Nc=4 之 C	●	
Nps=3 之 PS		●
Nps=4 之 PS	●	●

### 5-5-2 改善範例

依照 5-2 節 5-3 節對各構造評估的結果中，各構造所缺少的動力模式，透過離合器或制動器的操作，把各構造缺少的動力模式補上。

#### 1. 構造 A1

構造 A1 無法達成純電動模式，乃因引擎會隨輸出元件旋轉，無法保持靜止。依照純電動模式的定義，引擎不可作用，構造 A1 欲達成純電動模式須將構造圖中引擎端之動能線移除。構造 A1 中引擎接在 Nc=3 之 C 上，可用離合器將引擎切開來達成純電動模式。A1 增加離合器後的構造圖如圖 5-6，改善後的純電動模式動力流圖如圖 5-7。

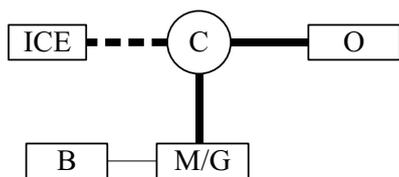


圖 5-6 構造 A1 改善後之構造圖

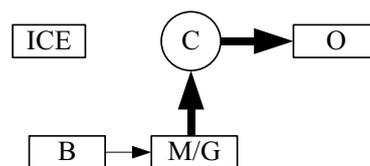


圖 5-7 構造 A1 純電動模式動力流圖

## 2. 構造 A2

構造 A2 無法達成純電動模式以及純引擎模式，乃因引擎與電機之間有扭力關係。依照純電動模式的定義，引擎不可作用，必須將構造圖中引擎端的動能線移除。構造 A2 之引擎接在  $Nps=3$  之 PS 上，需透過制動器將引擎接地來達成純電動模式；純引擎模式時，電池不可作用，動力流由引擎全部傳遞至輸出元件，須將電機端的動能線移除。構造 A2 之電機接在  $Nps=3$  之 PS 上，因此使用制動器將電機接地。構造 A2 改善後之構造圖如圖 5-8，改善後之純電動模式動力流圖如圖 5-10、純引擎模式的動力流圖如圖 5-9。

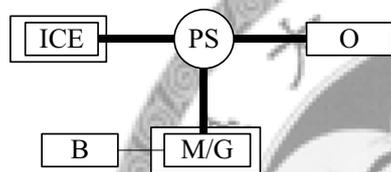


圖 5-8 構造 A2 改善後之構造圖



圖 5-9 構造 A2 純引擎模式動力流圖 圖 5-10 構造 A2 純電動模式動力流圖

## 3. 構造 B1

構造 B1 可以達成所有 6 種動力模式，不需要任何離合器或制動器對構造做任何的改善。

## 4. 構造 B2

構造 B2 無法達成純電動模式，因為輸出元件與引擎經由 PS 相連，輸出元件與引擎之間會有扭力關係。依照純電動模式的定義，引擎不作用，必須將引擎的

動能線移除才可達成純電動模式。構造中引擎接在  $Nps=3$  之 PS 上，可透過制動器將引擎制動來達成純電動模式。

構造 B2 無法達成純引擎模式，乃因引擎輸出時 PS 與 C 的相連桿件會有扭力作用，使引擎能量無法全部傳遞至輸出元件，有一部分會經由 PS 傳遞至 C。依照純引擎模式的定義，引擎的動力流必須全部傳至輸出元件。構造 B2 可將  $Nps=3$  之 PS 與 C 相連的動能線移除，透過制動器將 PS 與 C 相連端制動來達成純引擎模式。構造 B2 改善後之構造圖如圖 5-11，改善後構造 B2 可達成純電動模式及純引擎模式，符合純電動模式之動力流圖不只一種，圖 5-12 僅是其中一種可能的純電動模式動力流狀態，而純引擎模式動力流圖如圖 5-13。

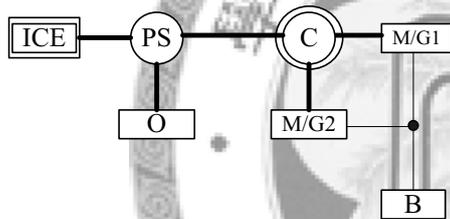


圖 5-11 構造 B2 改善後之構造圖

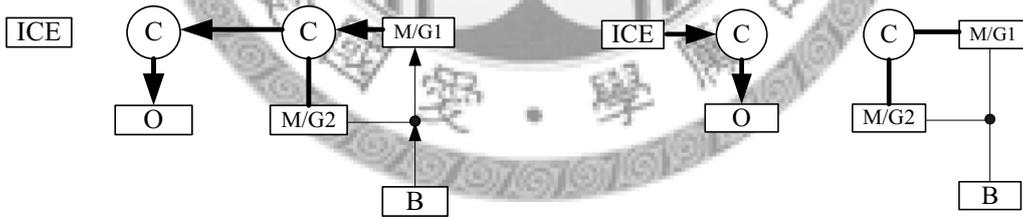


圖 5-12 構造 B2 可能之純電動模式動力流圖

圖 5-13 構造 B2 純引擎模式動力流圖

力流圖

## 5. 構造 B3

構造 B3 無純電動模式。構造 B3 當中引擎與動能控制器 C 相連，可透過離合器來將引擎的動能線移除。構造 B3 改善後之構造圖如圖 5-14，改善後有不只一種動力流狀態可符合純電動模式，圖 5-15 為純電動模式可能動力流圖之一。

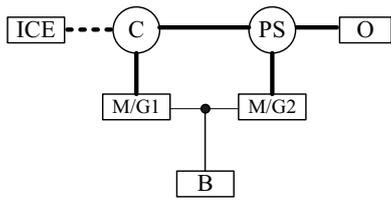


圖 5-14 構造 B3 改善後之構造圖

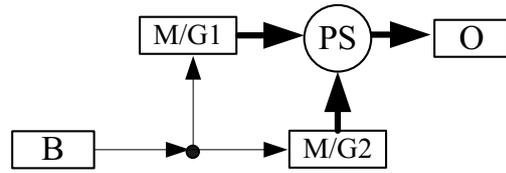


圖 5-15 構造 B3 可能的純電動模式動力流圖

## 6. 構造 B4

構造 B4 的引擎與輸出元件經由動能控制器 C 相連，因此輸出元件與引擎的轉速有一比例關係，無法達成純電動模式。引擎與動能控制器 C 相連，可透過離合器來將引擎的動能線移除。構造 B4 改善後之構造圖如圖 5-16，改善後可能的純電動模式動力流圖如圖 5-17。

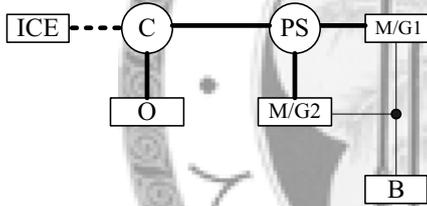


圖 5-16 構造 B4 改善後之構造圖

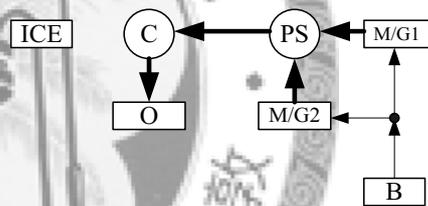


圖 5-17 構造 B4 可能的純電動模式動力流圖

## 7. 構造 B5

構造 B5 無法達成純電動模式，因為一旦輸出元件扭力決定後，引擎扭力也會決定，引擎無法保持靜止。引擎與動能控制器 Nps=3 之 PS 相連，可透過制動器來將引擎的動能線移除。構造 B5 改善後之構造圖如圖 5-18，改善後可能之純電動模式動力流圖如圖 5-19。

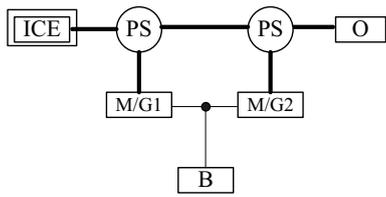


圖 5-18 構造 B5 改善後之構造圖

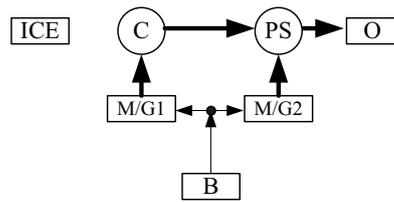


圖 5-19 構造 B5 可能的純電動模式動力流圖

## 8. 構造 B6

構造 B6 無法達成純電動模式，因為當輸出扭力決定後，引擎扭力也被迫決定，無法保持引擎靜止狀態。引擎與動能控制器  $Nps=3$  之 PS 相連，故可透過制動器來將引擎的動能線移除；此外，構造也 B6 無法達成純引擎模式，因為當輸出扭力決定後，構造內兩個 PS 之間扭力也被決定，能量會在兩個 PS 之間流動，使得電池必須作用。構造 B6 內兩個 PS 皆屬於  $Nps=3$  的類型，可利用制動器將兩個 PS 之間制動以達成純引擎模式。構造 B6 改善後之構造圖如圖 5-20，改善後可能之純電動模式動力流圖如圖 5-21、純引擎模式動力流圖如圖 5-22。

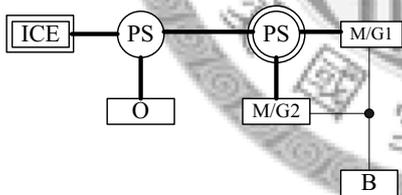


圖 5-20 構造 B6 改善後之構造圖

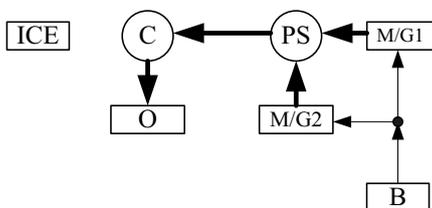


圖 5-21 構造 B6 可能的純電動模式動力流圖

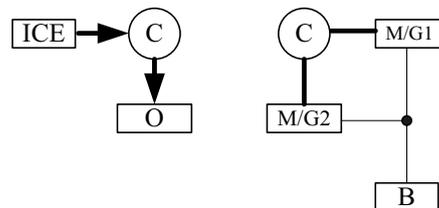


圖 5-22 構造 B6 純引擎模式動力流圖

力流圖

## 9. 構造 B7

構造 B7 無法達成純電動模式。由於引擎與  $N_{ps}=4$  之 PS 相接，有兩種方式可以達成純電動模式，可以用離合器或是制動器來將引擎的動能線移除。構造 B7 改善後之構造圖可能一如圖 5-23，對應之純電動模式動力流圖一如圖 5-24；構造 B7 改善後之構造圖可能二如圖 5-25，對應之純電動模式動力流圖二如圖 5-26。

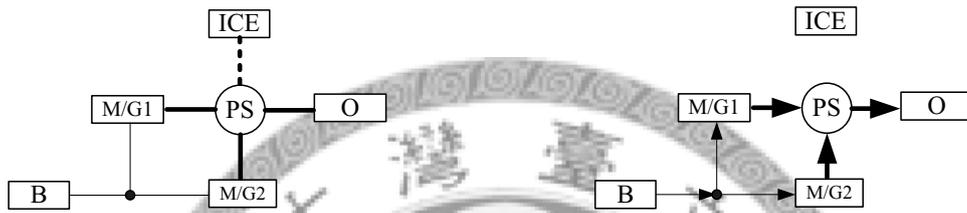


圖 5-23 構造 B7 改善後之構造圖一

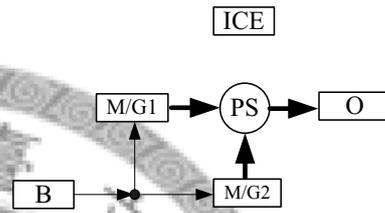


圖 5-24 構造 B7 可能的純電動模式動力

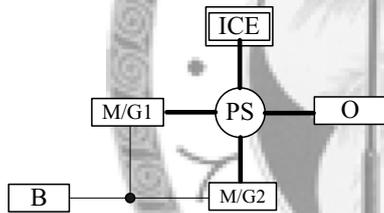


圖 5-25 構造 B7 改善後之構造圖二

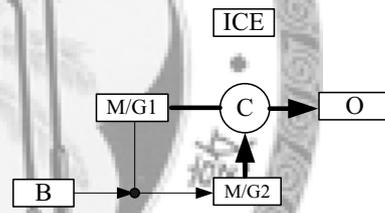


圖 5-26 構造 B7 可能的純電動模式動力

## 10. 構造 B8

構造 B8 無法達成純電動模式。由於引擎與 C 相接，可以用離合器來將引擎的動能線移除。構造 B8 改善後之構造圖如圖 5-27，改善後可能之純電動模式動力流圖如圖 5-28。

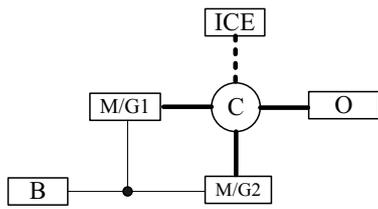


圖 5-27 構造 B8 改善後之構造圖

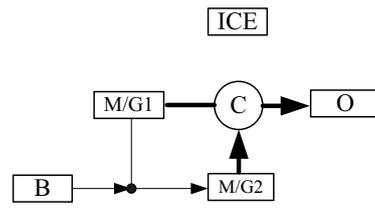


圖 5-28 構造 B8 可能的純電動模式動力流圖

## 11. 構造 B9

構造 B9 之輸出元件與引擎無機械能路徑直接連接，故本質上即無法達成煞車回充+引擎煞車模式。

### 5-5-3 改善結果

當構造加上離合器或制動器後，可增加動力模式的完整性，改善原先無法達成的動力模式。構造經由離合器或制動器的改善而增加的動力模式，其改善後進而可達成之行車模式則依變化後的構造來判斷，判斷的規則與構造變化前相同。以構造 A1 為例，其純電動模式需透過離合器將引擎切開來達成，當離合器作用後，只剩馬達與輸出元件相連，則系統可利用馬達正轉與反轉使車輛前進與後退。因此，構造 A1 在改善後，增加了一個動力模式—純電動模式，也增加了兩個行車模式—純電動模式前進以及純電動模式倒車。

表 5-28 呈現系統在經過改善後之評估結果，構造 B7 與構造 B9 仍舊符合最多的評估項目，其中構造 B7 符合全部的項目。除了擁有最多功能的構造 B1、B7、B9 三個概念，構造 B3 加上離合器與制動器後也可有和構造 B1 同樣的功能。

表 5-28 IICE 1M/G 與 IICE 2M/G 改善後評估結果

構造 編號	引擎操作 限制		行車模式												總 數
	A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A1		●	●	●	●		●		●		●		●		8
A2	●		●	●	●		●		●			●	●		8
B1	●	●	●	●	●		●		●		●	●	●	●	11
B2	●		●	●	●		●		●			●	●		8
B3	●	●	●	●	●		●		●		●	●	●	●	11
B4		●	●	●	●		●		●		●		●		8
B5	●		●	●	●		●		●			●	●		8
B6	●		●	●	●		●		●			●	●		8
B7	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	14
B8		●	●	●	●		●		●		●		●		8
B9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			12



## 第六章 結論與建議

### 6-1 結論

本研究已建立油電混合動力系統之理念分析與合成方法，可有效地分析及合成混合動力系統之所有可能設計概念，並對系統做定性之評估。本研究應用功能拓撲圖簡化系統的構造，並分析各元件之特性，探討自由度、動力流之規則與關係，然後建立系統化的合成方法與步驟，最後對一引擎一電機以及一引擎兩電機之系統進行評估。本研究主題可分為兩部分：(1)理念之分析方法、(2)理念之合成方法及評估。

在理念之分析方法部分，首先探討機構運動自由度及扭力自由度，並分析機構內動力流的狀態，建立系統內容許與不容許之動力流規則。然後分析動力流對扭力與運動的影響，以訂定動力流方向與扭力方向、運動方向的規則。最後對動力模式與行車模式下定義。

本研究在理念分析所做之具體貢獻有下列三點：

1. 將系統構造與能量流動結合：構造藉由元件之間不同的能量流動方式而可達成各種不一樣的功能，不同的構造所能達成的功能也不相同。本研究利用自由度的觀念將構造與能量之關係做結合，建立構造傳遞能量的規則與限制，使構造圖與動力流圖之連結更為清楚，動力流圖內能量流動的規則更明確。
2. 將能量與力學之關係完整討論：對動力流圖做進一步的分析，將力學的資訊加入動力流圖中，包括轉速、扭力與能量流動之間的關係，建立一系列動力流與力學之間的判斷規則，有助於各種行車狀態之判斷。
3. 明確訂定動力模式與行車模式之意義：各種混合動力系統之構造與功能存在許多差異不易判斷，本研究依據元件之間能量流動之方式，將混合動力系統的各項功能分類及命名，並透過功能拓撲圖來定義各模式的狀態與特徵，使系統功

能容易判斷。透過各模式明確的定義，將來可作為評估之指標，區分各系統之特色。

在理念之合成方法與評估的部份，本研究首先利用理念分析得到的規則進行合成，建立構造圖以及動力流圖之資料庫。構造圖合成的部份，首先確立希望之動力元件數，再由能量線連接的規則找出合適的動能控制器，排列出所有可能的構造組合，以建立構造圖集。動力流圖合成的部份，本研究根據動能控制器的規則產生所有可能的動力流狀態，然後根據構造裡元件的搭配方式，以動能控制器為單位將構造圖加上動力流方向，最後補上電能控制器的部分以完成動力流圖。最後本研究進行評估時依據各評估項目之定義從合成之資料庫當中進行搜尋，找出符合定義之各種狀態，然後針對系統中不充分之動力模式進行補強。本研究在系統合成及評估的部分所做之具體貢獻有下列三點。

1. 合成混合動力系統之構造與功能並建立圖集：利用理念分析之結果，建立系統理念合成的步驟與方法，包括構造圖與動力流圖之合成。本研究以系統化的方式進行合成，可得到系統之所有可能狀態，以作為評估或設計時的資料庫。
2. 評估各種混合動力系統可能之設計概念：利用混合動力系統理念分析方法，可以清楚定義各種系統的概念資訊，包括引擎操作之限制、動力模式、行車模式以及能量循環。本研究透過合成所建立的資料庫，可評估系統所能達成之功能，對各種系統做分析比較，辨別各系統之差異。
3. 改善系統功能的方法：當某一構造無法達成某些功能，可藉由離合器與制動器的操作，對構造進行切換，改變構造的自由度及連接方式，以增加系統的功能。

本研究最後以一部引擎一電機以及一引擎兩電機的系統為範例，進行系統理念的合成，並由本研究之分析方法建立的規則、理念，對系統進行定性的評估。透過本研究發展之方法，可完整且有效地了解各系統之設計概念，並清楚分辨各系統之特性與之間的差異。

## 6-2 未來發展與建議

本研究著重在混合動力系統之概念的分析，對於系統構造之特徵、功能做定性的研究，討論不同系統之間的設計概念。在將來可加入數值上的分析，做定量的研究，包括計算系統的效率，不同的能量管理策略對系統之影響等。另外，桿件的齒輪比以及行星齒輪機構的實際連接方式也都需搭配定量的分析，與概念上的分析相輔相成。

為了達成某些特定功能，系統會在不同構造之間切換，切換的時機除了與能量的管理策略有關也和機構的運動有關，例如當兩桿件要接合時，桿件的轉速不能相差太多以避免切換過程不順暢。因此當系統有多種構造模式時，離合器與制動器的配置方式需要做更進一步的討論。



## 參考文獻

1. 江承舜, 混合動力系統之理念設計方法, 國立台灣大學碩士論文, 2008.
2. Wakefield, E. H., *History of the electric automobile-hybrid electric vehicles*, SAE International, 1998.
3. Westbrook, M. H., *The electric and hybrid electric car*, SAE International, 2001.
4. Berman, B., Gelb, G. H., Richardson, N. A., and Wang, T. C., “Power train using multiple power sources”, 1971, US patent no.3566717.
5. Tsai, L. W., and Schultz, G., “A motor-integrated parallel hybrid transmission”, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 126, Issue 5, 2004, p.889-894.
6. Holmes, A. G., Schmidt, M. R., Klemen, D., and Nitz, L. T., “Single range electrically variable transmission with lockup clutch and method of operation”, 2007, US patent no.2007/0149334.
7. Miller, J. M., “Hybrid electric vehicle propulsion system architectures of the e-CVT type”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 21, No.3, May 2006, p.756-767.
8. Bowen, T. C., “Electric continuously variable transmission”, 2002, US patent no.6371878.
9. Conlon, B. M., “Single mode, compound-split transmission with dual mechanical paths and fixed reduction ratio”, 2007, US patent no.2007/0265128.
10. Holmes, A. G., Klemen, D., and Schmidt, M. R., “Electrically variable transmission with selective input-split, compound-split, neutral, and reverse modes”, 2003, US patent no.6527658.
11. Ai, X., “Electro-mechanical infinitely variable transmission”, 2006, US patent no.6994646.
12. Ai, X., Mohr, T., and Anderson, S., “An electro-mechanical infinitely variable speed

- transmission”, SAE paper no.2004-01-0354, 2004.
13. Holmes, A. G., “Two range electrically variable power transmission”, 2005, US patent no.6945894.
  14. Raghavan, M., and Holmes, A. G., “Electrically variable transmission with multiple interconnected gearsets”, 2007, US patent no.2007/0265127.
  15. Bucknor, N. K., Henrickson, J. D., and Raghavan, M., “Electrically variable transmission having three interconnected planetary gearsets”, 2007, US patent no.7179186.
  16. Schmidt, M. R., Klemen, D., Nitz, L. T., and Holmes, A. G. “Two-mode compound-split, hybrid electro-mechanical transmission having four fixed ratios”, 2005, US patent no.6953409.
  17. Klemen, D., and Schmidt, M. R., “Electrically variable transmission having six fixed speed ratios”, 2007, US patent no.7214154.
  18. Lam, K. T. and Li, R. F., “A bond graph model for planetary gear trains”, ASME, *Proceedings of the 2007 International Manufacturing Science and Engineering Conference*, MSEC2007-31010.
  19. Liu, J., and Peng, H., “Automated modeling of power-split hybrid vehicles”, *The International Federation of Automatic Control*, p.4648-4653
  20. Schouten, N. J., Salman, M. A., and Kheir, N. A., “Energy management strategies for parallel hybrid vehicles using fuzzy logic”, *Control Engineering Practice 11 (2003)*, p.171-177.
  21. Ren, Q., and Crolla, D. A., “Analysis of a continuously variable transmission based on a twin epicyclic, power split device”, SAE paper no.2007-01-1454, 2007.
  22. Conlon, B., “Comparative analysis of single and combined hybrid electrically variable transmission operating modes”, SAE paper no.2005-01-1162, 2005.
  23. Villeneuve, A., “Dual mode electric infinitely variable transmission”, 2004

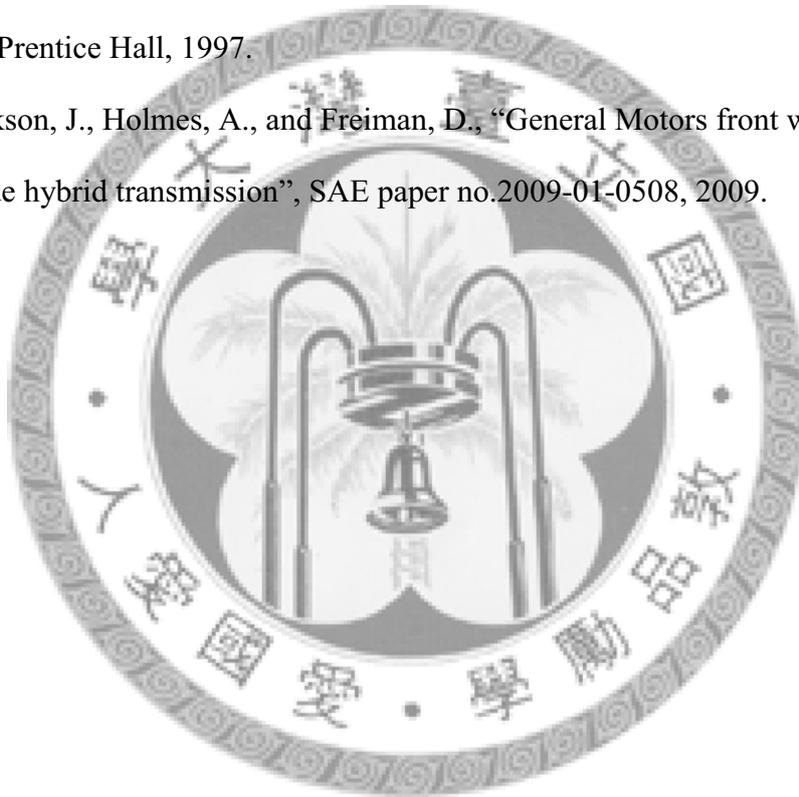
*International Continuously Variable and Hybrid Transmission Congress*, 2004,  
paper 04CVT-19.

24. Grewe, T. M., Conlon, B. M., and Holmes, A. G., “Defining the General Motors  
2-mode hybrid transmission”, SAE paper no.2007-01-0273, 2007.

25. Ahn, K., Sun, W. C., “Developing mode shift strategies for a two-mode hybrid  
powertrain with fixed gears”, SAE paper no.2008-01-0307, 2008.

26. Oppenheim, A. V., Willsky, A. S., and Nawab, S. H., *Signals and Systems*, 2<sup>nd</sup>  
Edition, Prentice Hall, 1997.

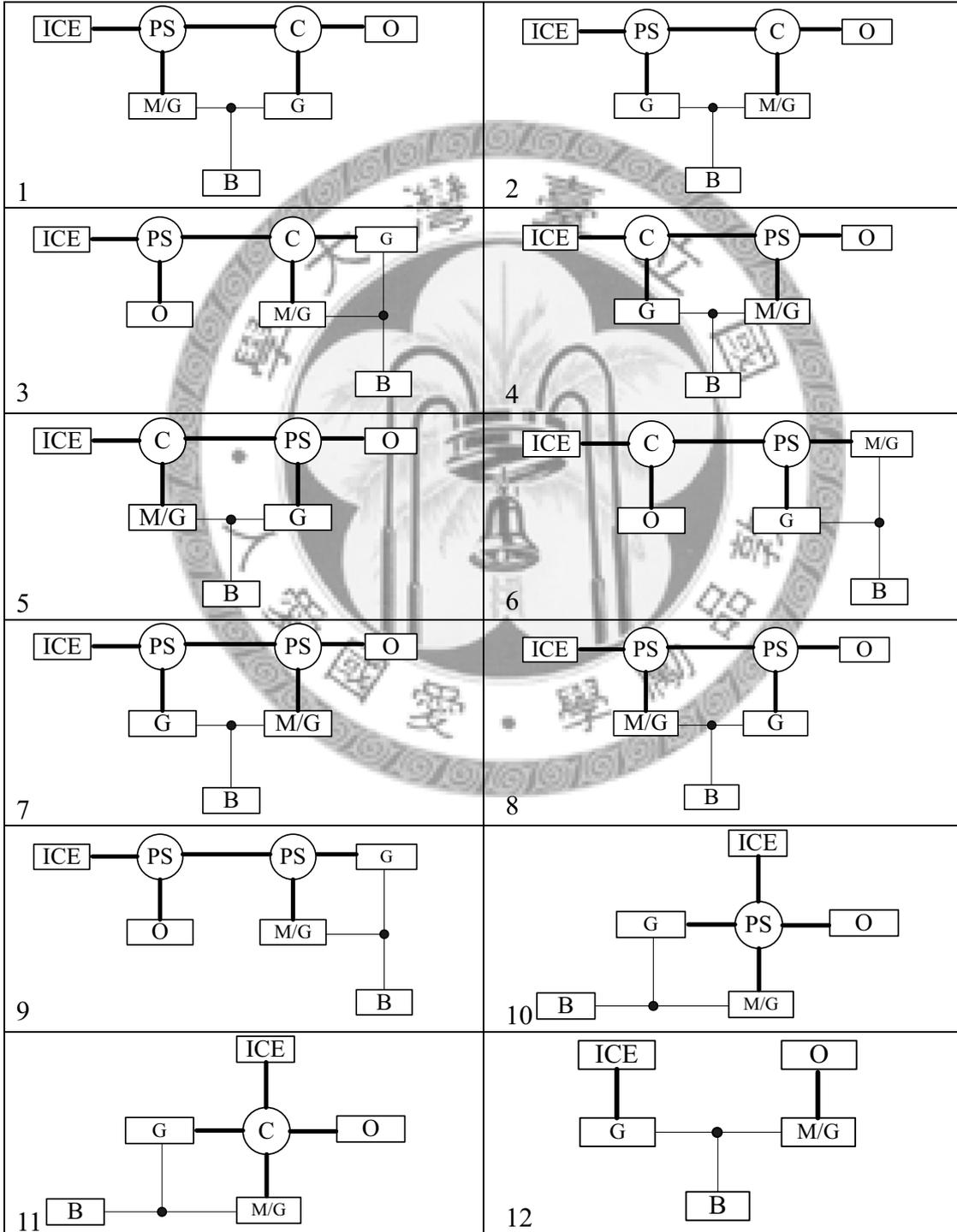
27. Hendrickson, J., Holmes, A., and Freiman, D., “General Motors front wheel drive  
two-mode hybrid transmission”, SAE paper no.2009-01-0508, 2009.



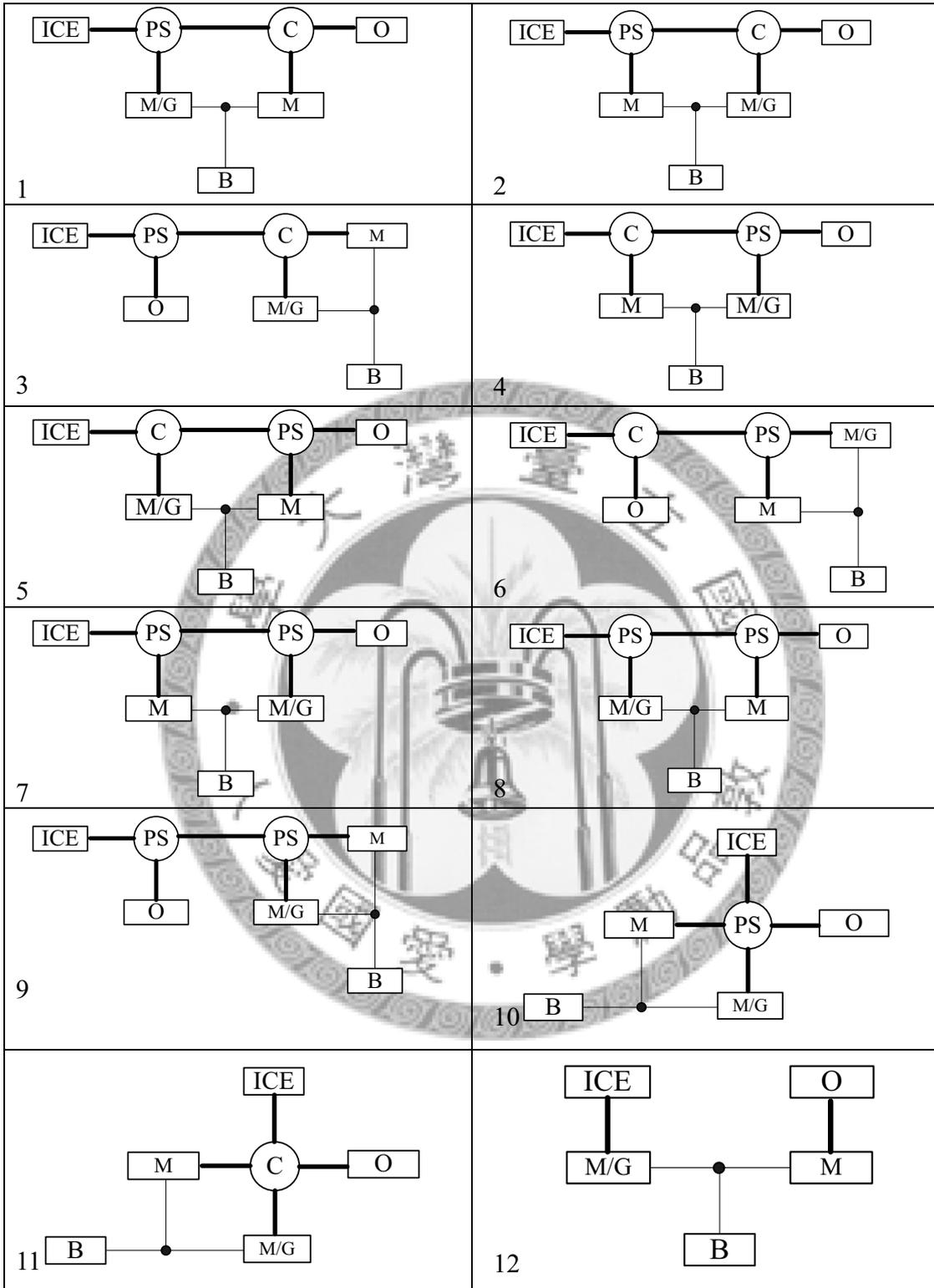
# 附錄

## 附錄一 包含三個動力元件數系統之構造圖集

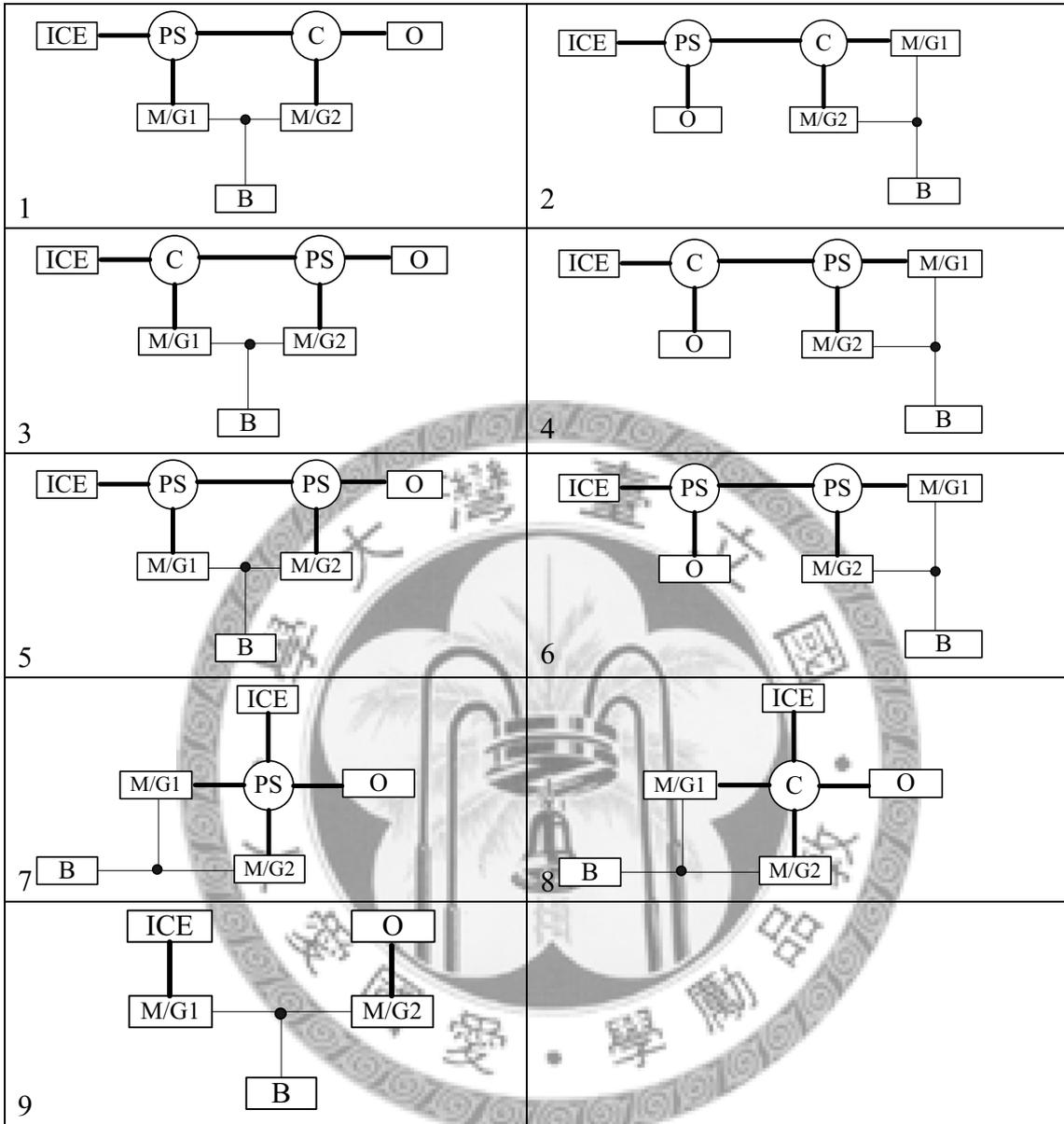
### 1. 一引擎、一電機、一發電機系統之構造圖集



2. 一引擎、一電機、一馬達系統之構造圖集



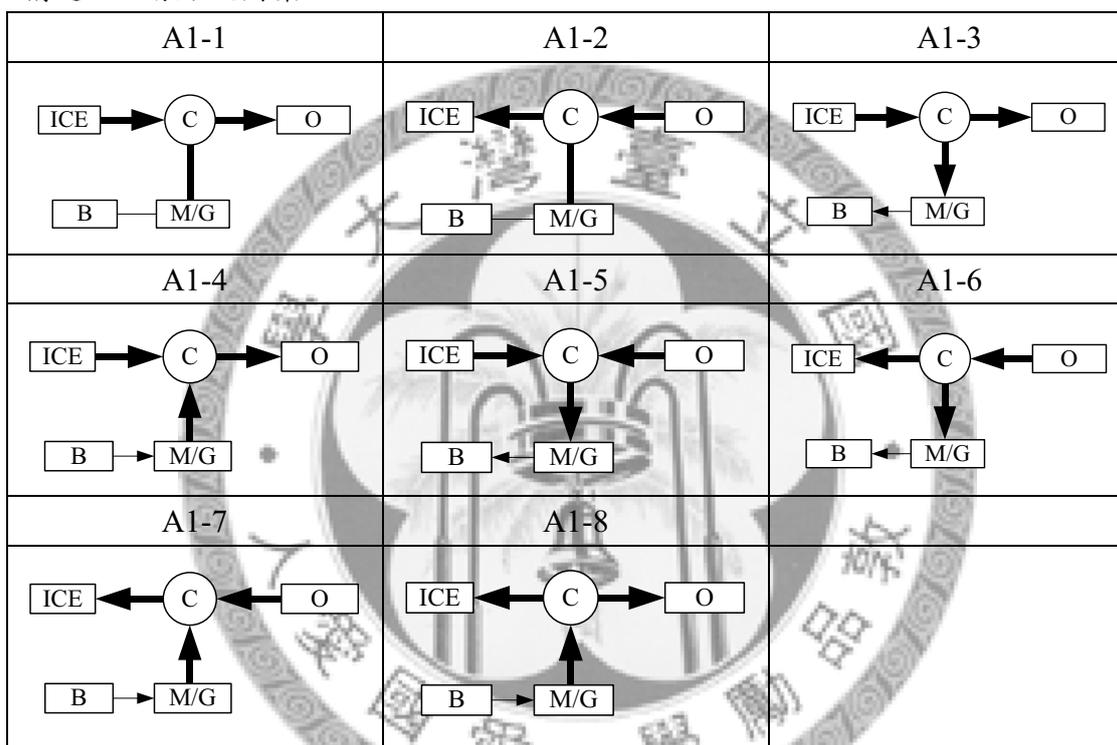
3. 一引擎、兩電機系統之構造圖集



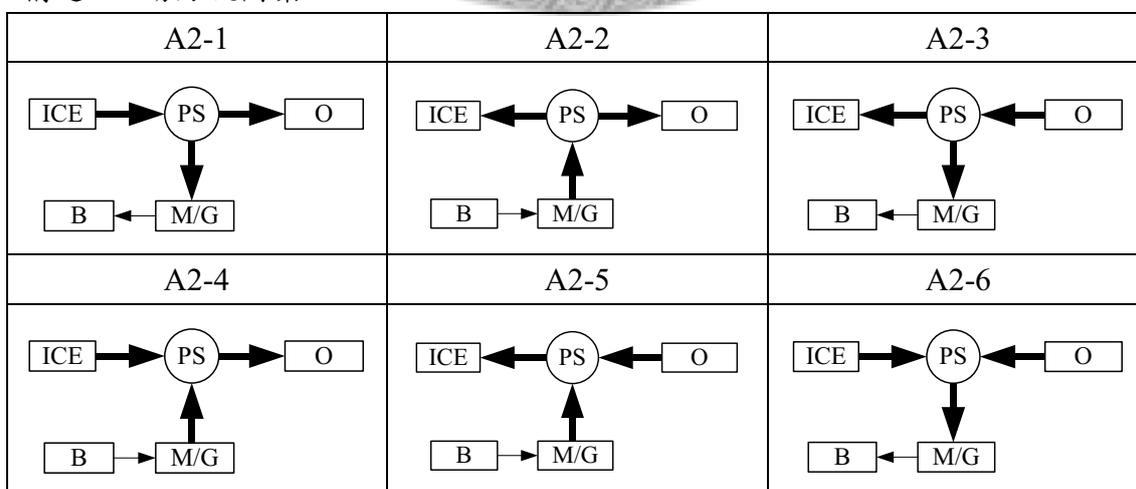
## 附錄二 一引擎、一電機系統之動力流圖集



### 構造 A1 動力流圖集



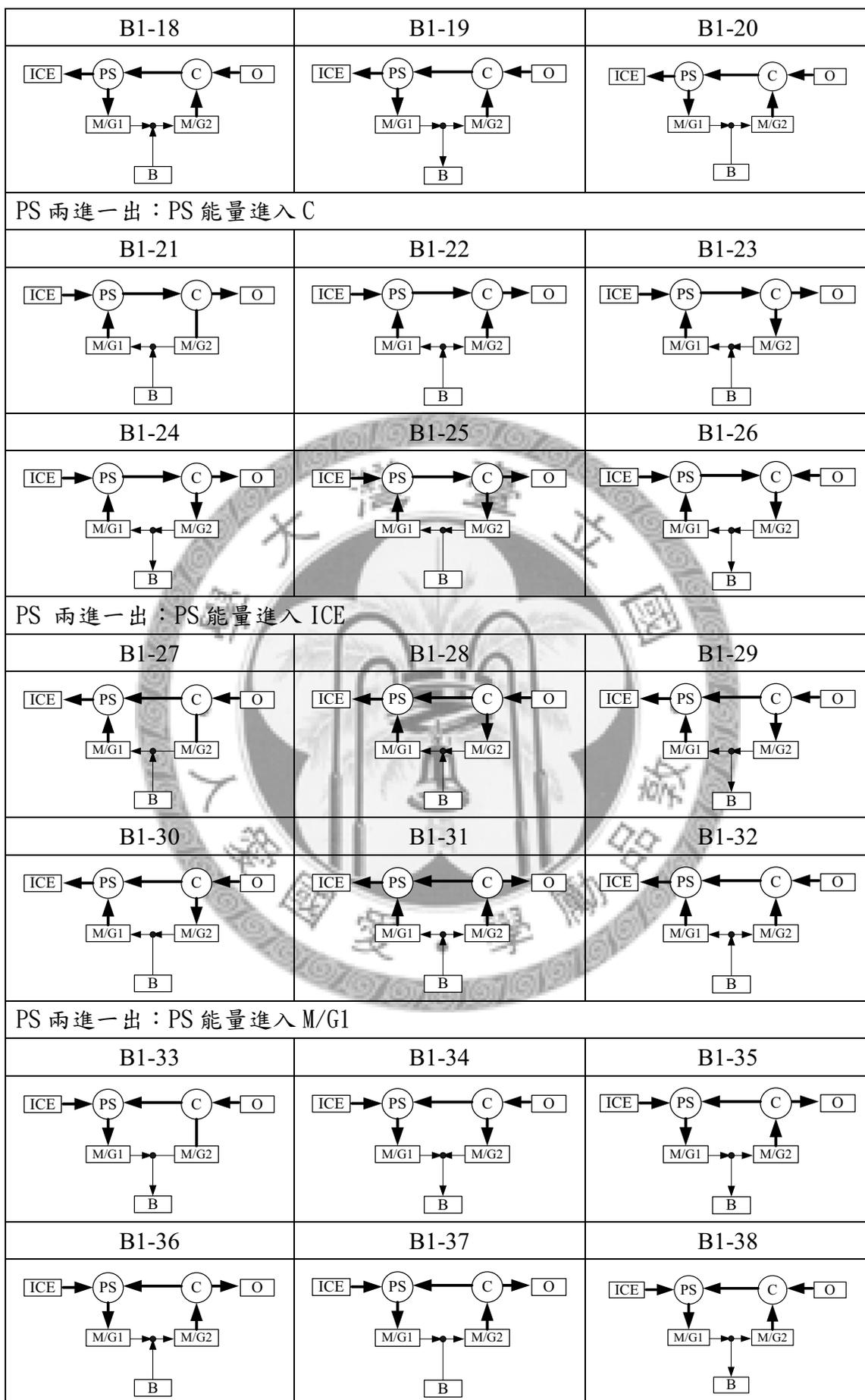
### 構造 A2 動力流圖集



### 附錄三 一引擎、兩電機系統之動力流圖集

#### 構造 B1 動力流圖集

PS 全無能量通過		
B1-1	B1-2	
PS 一進兩出：ICE 能量進入 PS		
B1-3	B1-4	B1-5
B1-6	B1-7	B1-8
PS 一進兩出：M/G1 能量進入 PS		
B1-9	B1-10	B1-11
B1-12	B1-13	B1-14
PS 一進兩出：C 能量進入 PS		
B1-15	B1-16	B1-17



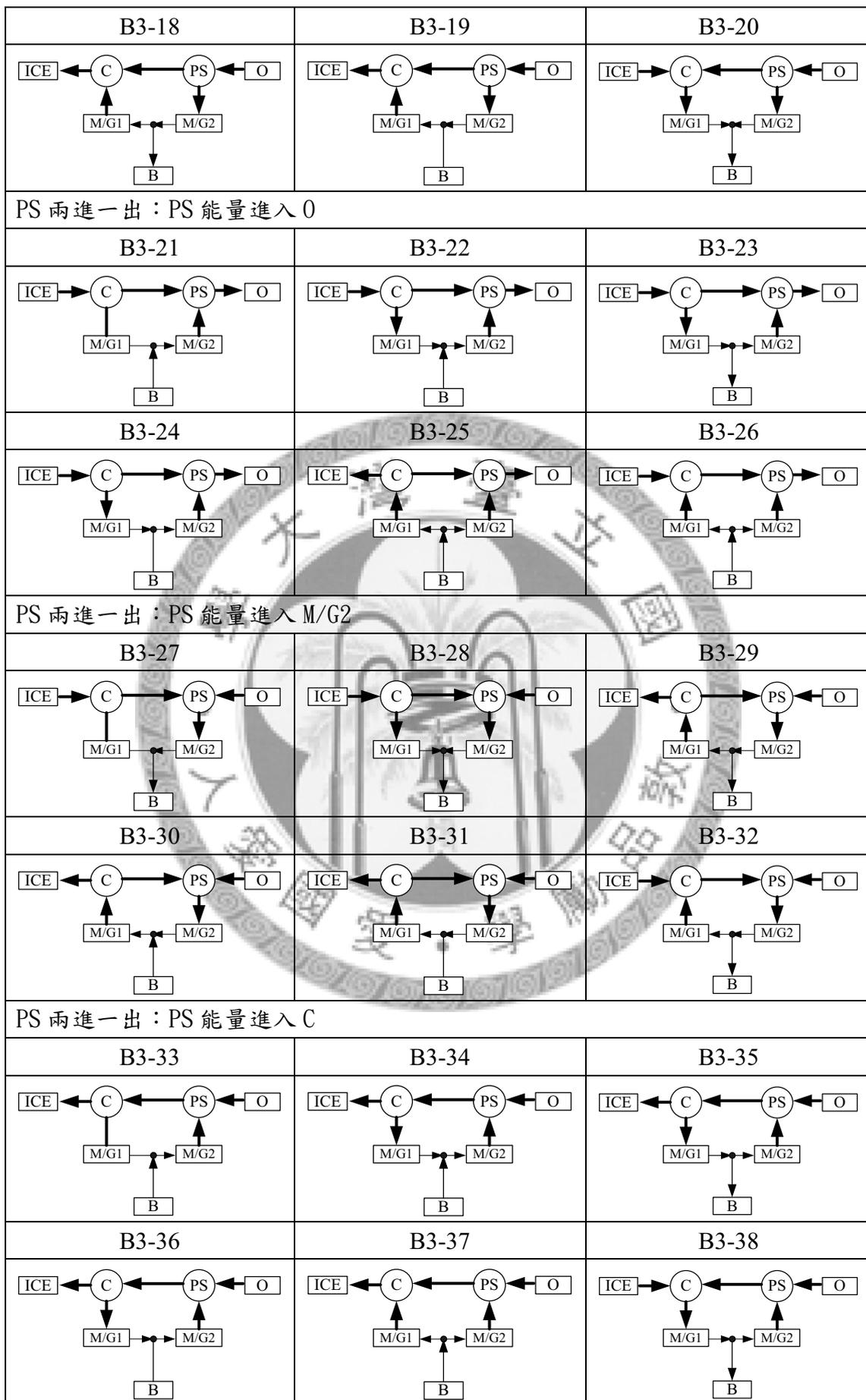
構造 B2 動力流圖集

PS 一進兩出: ICE 能量進入 PS		
B2-1	B2-2	B2-3
B2-4	B2-5	
PS 一進兩出: O 能量進入 PS		
B2-6	B2-7	B2-8
B2-9	B2-10	
PS 一進兩出: C 能量進入 PS		
B2-11	B2-12	B2-13
B2-14	B2-15	

PS 兩進一出：PS 能量進入 ICE		
B2-16	B2-17	B2-18
B2-19	B2-20	
PS 兩進一出：PS 能量進入 O		
B2-21	B2-22	B2-23
B2-24	B2-25	
PS 兩進一出：PS 能量進入 C		
B2-26	B2-27	B2-28
B2-29	B2-30	

構造 B3 動力流圖集

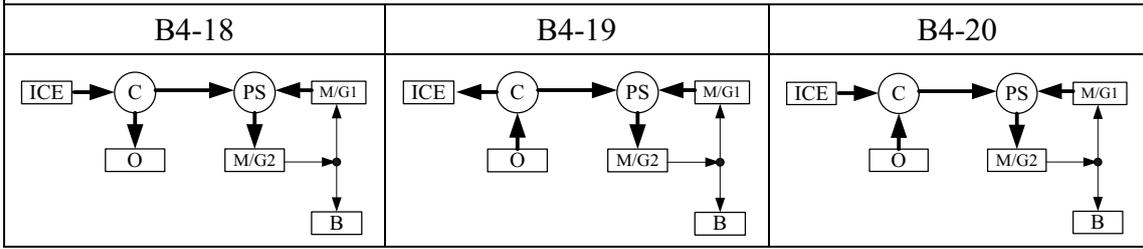
PS 無能量通過		
B3-1	B3-2	
PS 一進兩出：C 能量進入 PS		
B3-3	B3-4	B3-5
B3-6	B3-7	B3-8
PS 一進兩出：M/G2 能量進入 PS		
B3-9	B3-10	B3-11
B3-12	B3-13	B3-14
PS 一進兩出：0 能量進入 PS		
B3-15	B3-16	B3-17



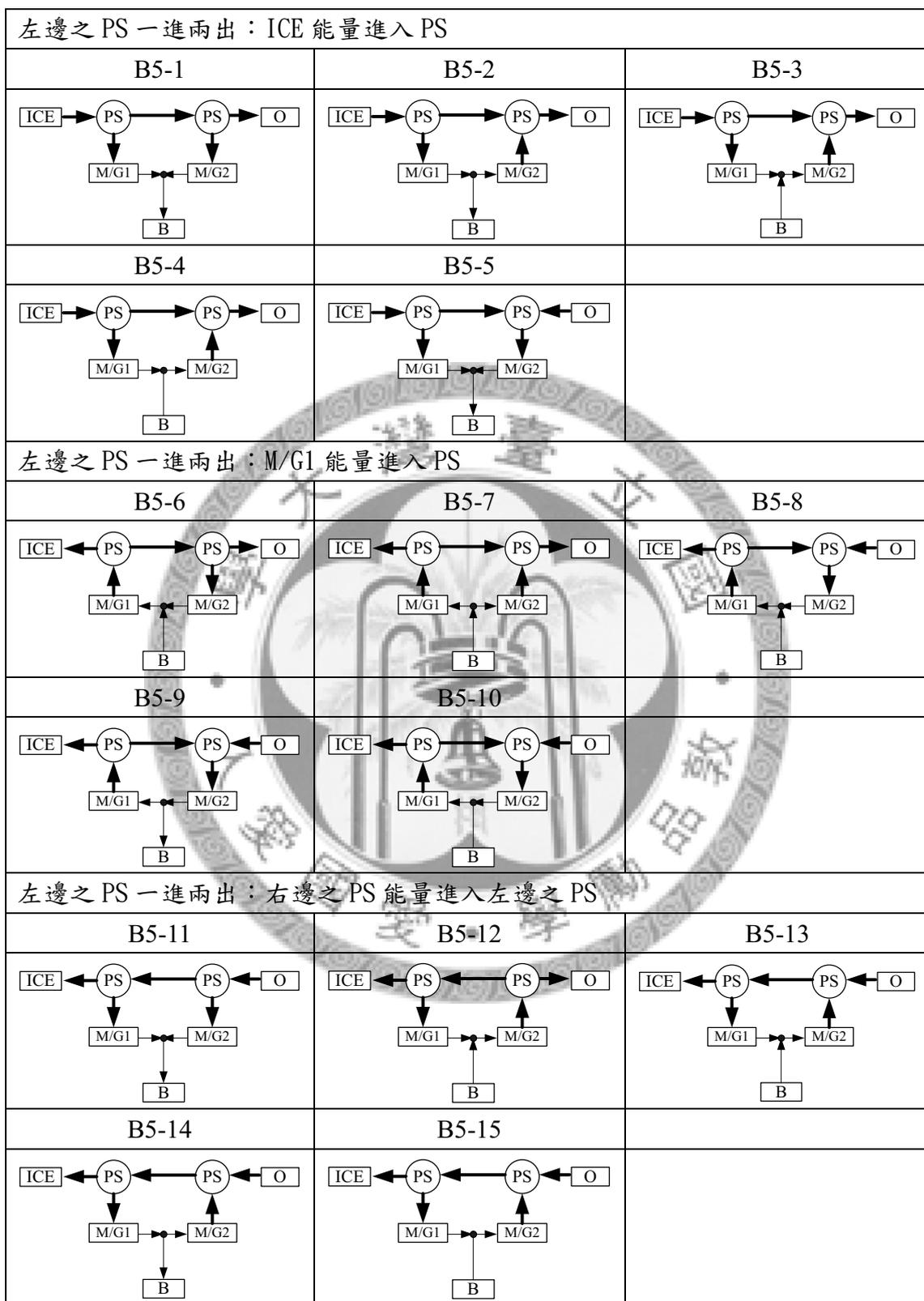
構造 B4 動力流圖集

PS 無能量通過		
B4-1	B4-2	
PS 一進兩出：C 能量進入 PS		
B4-3	B4-4	B4-5
PS 一進兩出：M/G2 能量進入 PS		
B4-6	B4-7	B4-8
PS 一進兩出：M/G1 能量進入 PS		
B4-9	B4-10	B4-11
PS 兩進一出：PS 能量進入 C		
B4-12	B4-13	B4-14
PS 兩進一出：PS 能量進入 M/G1		
B4-15	B4-16	B4-17

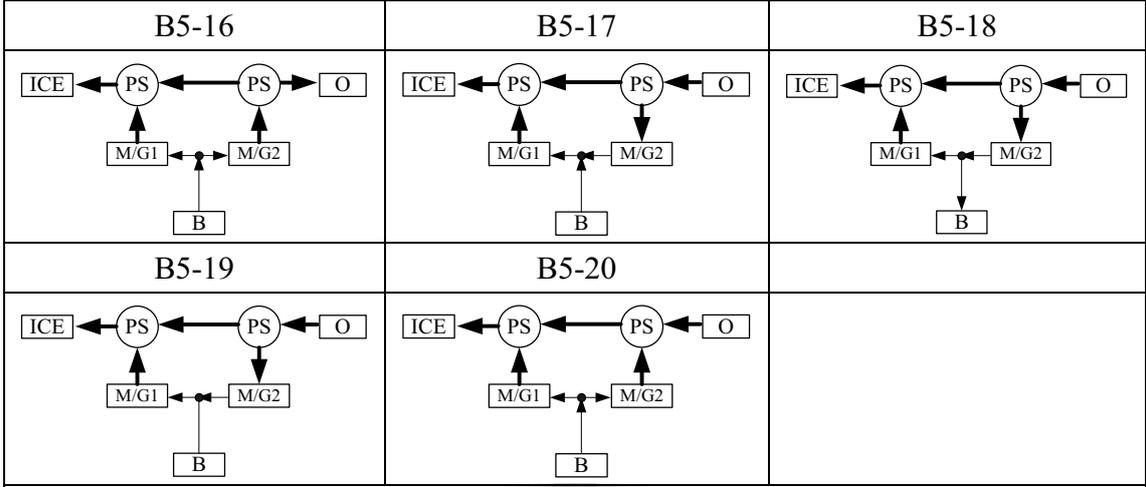
PS 兩進一出：PS 能量進入 M/G2



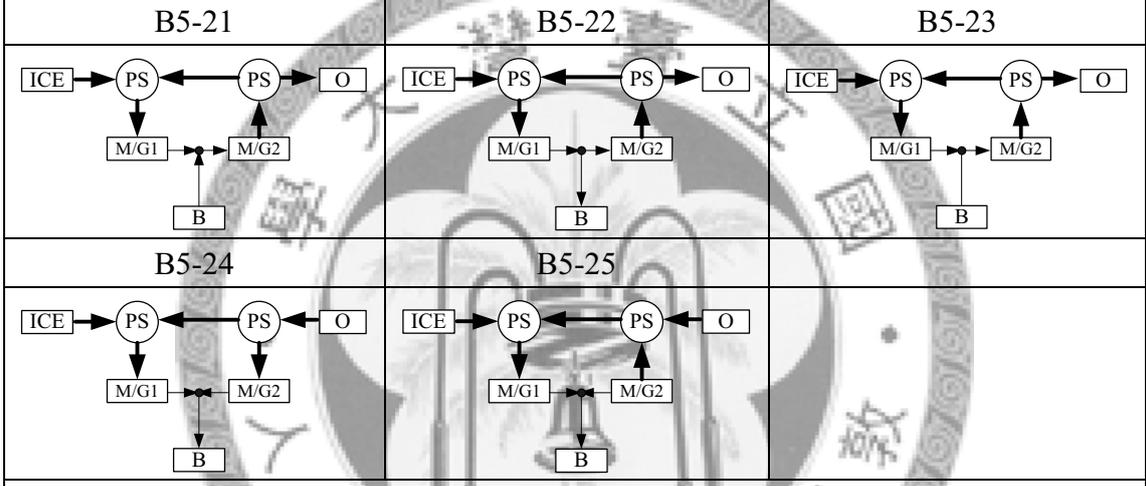
構造 B5 動力流圖集



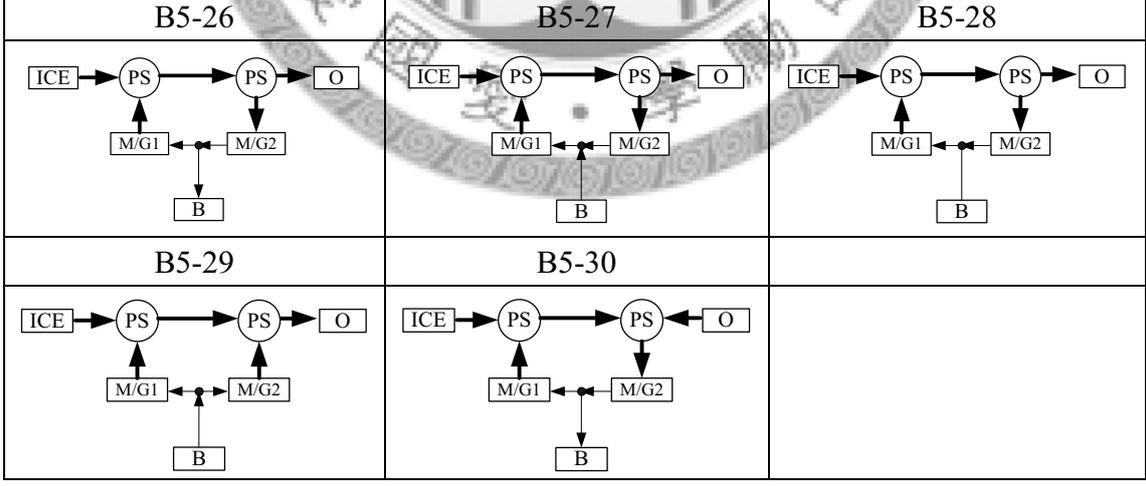
左邊之 PS 兩進一出：PS 能量進入 ICE



左邊之 PS 兩進一出：PS 能量進入 M/G1



左邊之 PS 兩進一出：左邊之 PS 能量進入右邊之 PS



構造 B6 動力流圖集

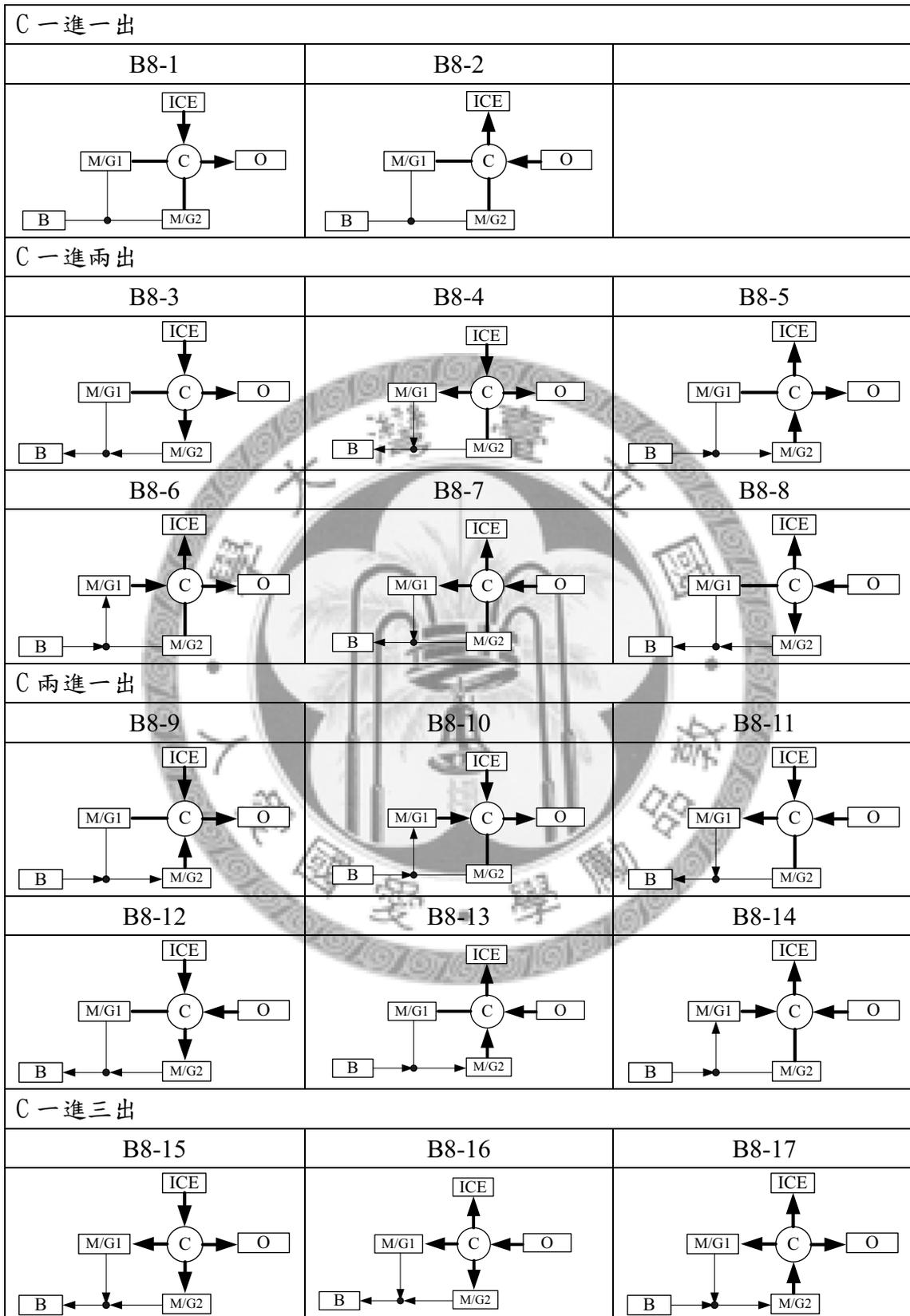


構造 B7 動力流圖集

PS 一進兩出		
B7-1	B7-2	B7-3
B7-4	B7-5	B7-6
PS 兩進一出		
B7-7	B7-8	B7-9
B7-10	B7-11	B7-12
PS 一進三出		
B7-13	B7-14	B7-15
B7-16		

PS 兩進兩出		
B7-17	B7-18	B7-19
B7-20	B7-21	B7-22
B7-23	B7-24	B7-25
B7-26	B7-27	B7-28
B7-29	B7-30	
PS 三進一出		
B7-31	B7-32	B7-33
B7-34		

構造 B8 動力流圖集



B8-18		
C 兩進兩出		
B8-19	B8-20	B8-21
B8-22	B8-23	B8-24
B8-25	B8-26	B8-27
B8-28	B8-29	B8-30
B8-31	B8-32	
C 三進一出		
B8-33	B8-34	B8-35
B8-36		



構造 B9 動力流圖集

