

技 術 解 說

電氣自動車用 마이크로·프로세서 制御시스템

愼 鏞 璣*

- 1. 序 論
- 2. 運轉制御시스템
- 3. 시스템의 解析과 시뮬레이션
- 4. 燃料計量과 蓄電池充電

- 5. 하이드웨어의 設計
- 6. 소프트웨어의 設計
- 7. 結 論
- 參考文獻

1. 序 論

지상 운반수단으로서의 자동차는 이것을 운전하는 사람에게 있어서, 보다 다루기 쉽고, 보다 안전하도록 하기 위하여 10여년 전부터 電子工學을 이용한 각종 연구가 되어왔다. 이들을 크게 나누면 變速機의 制御, 走行速度의 自動制御, 制動機의 制御 및 車高制御 등인데, 자동차의 電子制御化에 박차를 가하게 된 가장 큰 원인은 덕시 排氣가스에 대한 法規制(1966년 美國의 캘리포니아州에서 실시)일 것이다. 이 規制値는 해를 거듭할 수록 엄격해 지고 있으며, 더구나 石油波動 이후의 油價의 상승으로 燃料費가 적게드는 차에 대한 요구도 높아져서, 이들을 포함한 유기적이고 효율적인 制御手段으로서 마이크로컴퓨터의 도입을 생각하기에 이른 것이다.

또 半導體工業, 특히 LSI의 발달로 集積度가 높아짐에 따라 소형, 저렴화가 실현 가능하게 되면서, 마이크로 컴퓨터는 자동차용 엔진制御系의 효율적이고 필수적 수단임이 실증되 가고 있다.

표 1은 유명 자동차 製作者가 최근까지 도입해 온 자동차 엔진制御用 마이크로 컴퓨터의 일람표⁽¹⁾이다. 이들에 대한 자세한 것은 다음 기회로 미루고, 여기서는 최근에 발표된 電氣自動車用 마이크로·프로세서 制御·시스템⁽²⁾에 대해서 간단하게 소개한다.

이 자동차는 4인승 中型車에 대한 것으로서, 빈잡한 도에서 120km를 갈 수 있으며, 50km/hr의 일정속도로 약 240km를 달릴 수 있다. 또 0~50km/hr까지

加速하는데 9초가 걸리며, 5%의 傾斜를 80km/hr로 달릴 수가 있다.

이 차에 장치한 마이크로·프로세서 制御시스템의 機能은 엔진制御, 運轉順序制御, 燃料計量, 蓄電池充電/均等化制御 및 機能診斷의 5가지로 요약할 수 있다.

이와 같이 복잡한 시스템에 대해서 마이크로·프로세서 制御가 얼마나 편리하고 뛰어난 것인지 이해하는 것은 어렵지 않다. 이 연구에서는 하이드웨어를 單純化하여 信賴性을 개선하고, 마이크로·프로세서의 설치로 制御알고리즘의 융통성을 갖게 했으며, 또 앞으로 쉽게 확장하거나 바꿀 수 있게 하였다. 그리고 機能의 診斷도 구체화할 수가 있다. 마이크로·프로세서技術은 앞에서도 언급한 바와 같이, 대형 하이드웨어의 集積化에 따른 높은 수준의 言語 사용이 가능하게 되어, 制御器의 VLSI化가 급속도로 진전되고 있다.

2. 運轉制御시스템

그림 1은 運轉制御시스템의 블럭선도이다. 운전·시스템은 그림에서 보는 바와 같이, 動力回路는 鉛蓄電池, 2상한 트랜지스터·쇼퍼 및 他勵磁 直流電動機로 구성한다. 蓄電池는 전형적인 골프차 蓄電池 보다 25% 이상 높은 37.5wh/kg의 에너지·밀도를 갖는다.

이 蓄電池는 그 動力密度가 完全充電時 181W/kg이고, 80% 放電時 90W/kg로서 사용에 편리한 범위이다. 그림의 트랜지스터는 이 목적을 위해 특별히 개발한 darlington 電力모듈을(300V, 200A)이다.

트랜지스터 T_1 은 다이오우드 D_2 와 함께 電動機驅動用 쇼퍼로서 작용하고, 한편 트랜지스터 T_2 는 다이오우

*正會員: 明知大 電子工學科 副教授·工博

표 1. 마이크로·컴퓨터에 의한 엔진제어 시스템

system	year	maker	used CPU		control function
MISAR	1976	GM	Rockwell Co. 10 bit (custom)	PMOS	EST
C4	1978		Motoroller Co. 8 bit. (6802)	NMOS	FBC+SAC
C4-II	1979		Motoroller Co. 8 bit (custom)	"	FBC+EST+SAC
DEF-I	1979		Motoroller Co. 8 bit (custom)	"	EFI(TBI)+EST+ISC+SAC
CCC	1980		Motoroller Co. 8 bit (custom)	"	FBC+EST+SAC+TCC
EEC-I	1977	Ford	Toshiba Co. 12 bit (custom)	"	EST+EGR+SAC
EEC-II	1978		Toshiba Co. (TI) 12 bit (custom)	"	FBC+EST+EGR+SAC+CPC+ISC
EEC-III(FBC)	1979		Motoroller Co. (Toshiba) (custom)	"	FBC+EST+EGR+SAC+CPC+ISC
EEC-III(CFI)	1979		Motoroller Co. (Toshiba) (custom)	"	EFI(TBI)+EST+EGR+SAC+CPC+ISC
MCU	1979		Intel Co. (Toshiba) 8 bit (8048/49)	"	FBC+SAC
SCC	1978	Chrysler	RCA Co. 8 bit (1802)	CMOS	EST
SCC-II	1979		RCA Co. 8 bit (1802)	"	FBC+EST
MOTRONIC	1979	BMW(BOSCH)	RCA Co. 8 bit (1802)	"	EFI+EST
ECCS	1979	Nissan	Motoroller Co.(Hitachi) 8 bit(6802)	NMOS	EFI+EST+ISC+EGR
ECI	1980	Mitsubishi	Intel Co. 8 bit (8048/49)	"	EFI(TBI)+EGR
TCCS	1980	Toyota	Toshiba Co. 12 bit (custom)	"	EFI+EST+ISC
ITEC	1981	Isuzu	Motoroller Co.(Hitachi) 9 bit(6802)	"	EFI+EST+ISC+EGR
ETC	1981	Hino	Intel Co. 8 bit (8018)	"	DIESEL

EST : Electronic Spark Timing
 FBC : Feedback Carburator
 SAC : Secondary Air Control
 TCC : Transmission Clutch Control

EGR : Exhaustgas Recirculation
 CPC : Canister Purge Control
 ISC : Idle Speed Control
 TBI : Throttle Body Injection

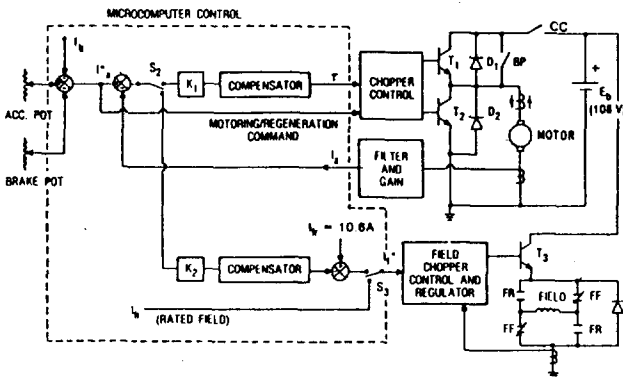


그림 1. 運轉制御 시스템의 블럭선도

드 D_1 과 함께 再生효퍼로서 작용한다. 또한 쌍의 모뎀이 電動機驅動用 大電流(400A)를 다룰 수 있도록 T_1 에 병렬 연결하였다. 界磁電流는 효퍼(T_3, D_3)로 制御하고, 그림에서와 같이 한 조의 接觸子에 의해서 逆流시킬 수 있다. 피드백 制御시스템은 효퍼·모우드와 界磁制御 모우드 두곳에서 電機子電流(I_a)를 制御한다. 운전·시스템의 토오크-速度曲線은 그림 2와 같다. 운전자가 驅動電流를 命命하기 위해서는 加速器모트

를 밟는다. 電動機의 速度 0~2,500rpm(基本速度) 사이에서, I_a 는 電機子효퍼의 時間比(τ)를 변해주면 制御되는데, 이 때, 界磁電流는 일정하게 유지한다. 制動모트에 命命이 전달되면, 차레로 再生효퍼가 작동하고, I_a 의 極性이 바뀐다. 精力運轉中에 자동차는 일정크기의 電流(I_a)를 再生한다. 효퍼·모우드의 端部에서, τ 가 飽和에 이르면 바이페스接觸子(BPC)가 닫히고, 운전·시스템은 界磁制御모우드로 轉換된다. 그림 1에서 점선 안에 있는 부분은 마이크로·프로세서制御의 범위를 나타낸 것이다.

자동차는 많은 수의 順次的인 制御段階를 통해서 조직적으로 작동하기 때문에, 信頼性 있는 順次制御의 작동은 매우 중요하다. 그림 3은 간략하게 표시한 順次圖이다. 그림에서 각각의 圓은 가능한 모우드를 나타내며, 화살표는 허용되는 轉換을 나타낸다. 자동차의 키·스위치를 넣으면 驅動은 “始動” 모우드로 옮겨지는데, 이 때 “前進” 또는 “後進”의 命命에 따라 운전은 이에 알맞는 “前進中立”이나 “後進中立”의 모우드로 된다. 後進速度는 제한되어 있기 때문에, 制御의 효퍼·모우드 만이 허용된다. 前進

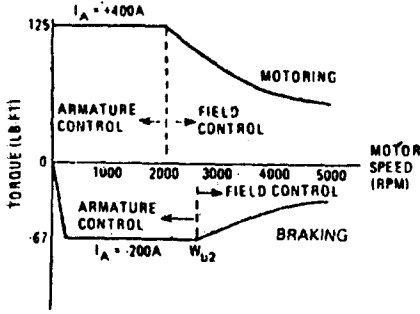
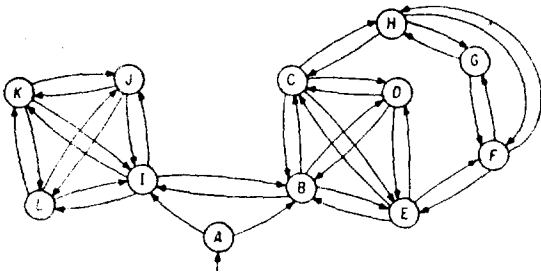


그림 2. 運轉시스템의 토오크-速度曲線



- A : Start
- B : Forward Neutral
- C : Forward Coasting
- D : Forward Regeneration
- E : Forward Motoring
- F : Field Motoring
- G : Field Regeneration
- H : Field Coasting
- I : Reverse Neutral
- J : Reverse Motoring
- K : Reverse Regeneration
- L : Reverse Coasting

그림 3. 運轉시스템의 順次圖

모우드 B, C, D 및 E의 4가지는 고속 界磁制御모우드 F, G 및 H의 3가지가 추가로 부가되어 있는 것을 제외하고는 後進모우드와 비슷하다. 한 모우드에서 다른 모우드로의 轉換은 적당한 운전자의 命令과 許容安全作動條件으로 짜여진 적절한 부울·함수에 의한다. 만일 어떤 조건에서 키·스위치를 끄게 되면 운전·시스템은 질서 정연한 순서에 따라 정지할 것이다. 그리고 어떤 補助시스템에서 고장이 발생하면, 마이크로·컴퓨터는 非常停止命令을 내리게 된다.

3. 시스템의 解析과 시뮬레이션

마이크로·프로세서는 2개의 엔진制御器의 피이드백·루우프; 즉 電機子초퍼 制御루우프(前進과 後進方向으로 驅動 및 再生토포크를 주는)와 界磁制御루우프(前進方向으로 驅動 및 再生토포크를 주는)를 制御해야

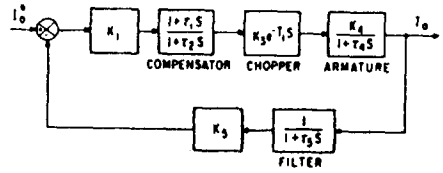


그림 4. 電機子초퍼 制御루우프의 轉換機能 불력선도
한다. 또 루우프의 정밀도와 應答은 加速 및 制動中の 突發事態를 억제할 수 있도록 여유를 두고 설계되어야 한다.

電機子초퍼 制御루우프는 그림 4에서 보는 바와 같이 傳達函數 불력선도와 같은 모델로 할 수 있으며, 非補償루우프의 利得函數는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F(s) = \frac{Ke^{-\tau_1 s}}{(1 + \tau_4 s)(1 + \tau_5 s)} \quad (1)$$

여기서 K는 直流루우프利得, T₁은 초퍼의 半週期, τ₄는 電機子의 時定數 및 τ₅는 電機子電流필터의 時定數이다. 파라미터 K와 τ₄는 각각 蓄電池 端子電壓과 電氣子回路의 飽和에 의해서 변한다.

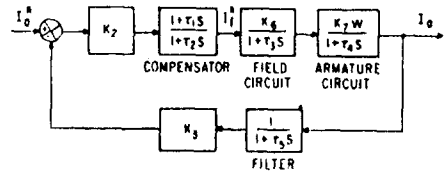


그림 5. 界磁制御 루우프의 轉換機能 불력선도

界磁制御모우드에서 傳達函數는 그림 5의 불력선도와 같으며, 補償器가 없는 루우프의 利得函數는 다음 식으로 주어진다.

$$F(s) = K \frac{\omega}{(1 + \tau_3 s)(1 + \tau_4 s)(1 + \tau_5 s)} \quad (2)$$

여기서 τ₃은 有效界磁時定數, τ₄는 電氣子 蓄電池回路의 時定數, τ₅는 電氣子 電流필터의 時定數 및 ω는 電動機速度이다. 速度變動이 루우프의 可變利得을 이르고, 界磁飽和가 상당량의 非線型性을 이룰 것이라는 것은 명백하다. K₂=5.76, τ₁=0.01sec 및 τ₂=0.37sec로서 플롯트한 보오드·선도는 2:1速度變動 범위내에서 좋은 安定度의 여유를 갖이고 시스템을 안정시킬 수 있음을 알게 된다.

어느 制御루우프에서나 補償傳達函數는 다음 식

$$\frac{e_0}{e_1} = \frac{1 + \tau_1 s}{1 + \tau_2 s} \quad (3)$$

로 주어지며, 이 방정식은 다음의 有限次等式으로 바꿀 수 있다.

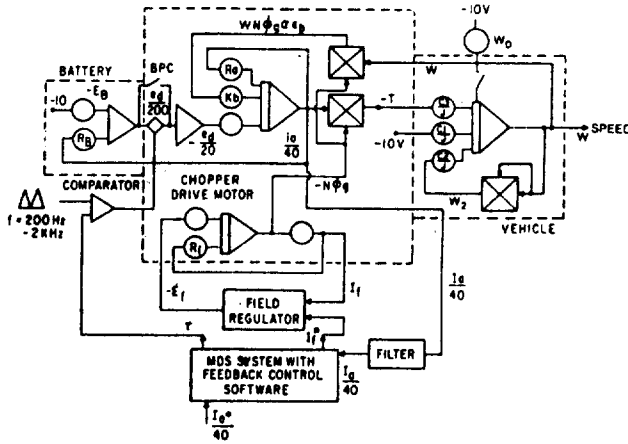


그림 6. 運轉시스템의 리얼타임·시뮬레이션

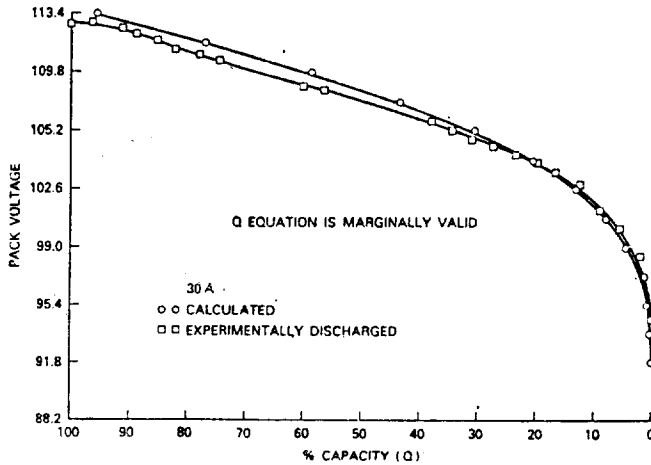


그림 7. 燃料計量 曲線

$$v_c(KT + T) = (1 - \frac{T}{\tau_2})v_c(KT) + \frac{T}{\tau_2}e_1(KT) \quad (4)$$

$$e_o(KT) = (1 - \frac{\tau_1}{\tau_2})v_c(KT) + \frac{\tau_1}{\tau_2}e_1(KT) \quad (5)$$

여기서 T 는 샘플링週期이다.

식 (4)와 (5)는 정해진 τ_1 , τ_2 및 T 에 대해서 소프트웨어로 처리할 수 있으며, T 값은 安定度와 소요 계산시간에 따라 결정된다. 피드백 制御루우프의 설계가 완성되고 소프트웨어가 마이크로·컴퓨터에서 처리되면, 운전·시스템의 하이브리드·컴퓨터의 리얼타임 시뮬레이션이 이루어진다. 시뮬레이션의 연구목적은 利得, 샘플링週期 및 補償器 파라미터의 값, 즉, 디지털 制御 알고리즘을 확인하기 위한 것이다.

그림 6은 본 시스템에 리얼타임·피드백 制御의 소프트웨어가 내장되어 있는 시뮬레이션을 그림으로 간략하게 나타낸 것이다.

4. 燃料計量과 蓄電池充電

마이크로·프로세서는 蓄電池의 電壓과 電流를 검출하여 蓄電池의 充電狀態를 계산할 수 있어야 한다. “燃料”의 量은 計器盤의 아날로그計器上에 표시되는데 Kleckner의 燃料計量式⁽³⁾은 다음과 같다.

$$Q = 100 \left\{ 1 - \frac{\text{erf}[10.5 - 0.0025I_B - 0.0958 \frac{V_B + (6.65/I_B)^{1/2}}{(6.65/I_B)^{1/2}}]}{\text{erf}[2.051 - 0.0025I_B + \dots]} \right\} \quad (6)$$

여기서 Q 는 充電狀態(%), I_B 는 蓄電池電流(A) 및 V_B 는 蓄電池電壓(V)이다. 식(6)은 準實驗式이며, $+10A < I_B < +100A$ 의 電流範圍에 대해서 정확하다. 그림 7은 $I_B=30A$ 의 試驗電流에 대한 曲線을 나타낸 것이다.

充電時 燃料計量計算은 蓄電池內에 있는 電荷의 量을 계산하고, 連續記憶裝置에 이용할 수 있는 充電狀態情報에 그것을 가산하면 되며, 그 기본식은 다음과 같다.

$$Q_s + \frac{I_B \Delta t}{C} \times 100 \quad (7)$$

여기서 Q_s 는 記憶裝置內의 以前充電狀態이고, C 는 蓄電池의 A-H容量(171 AH)이며, Δt 는 時間區間(hr)이다.

마이크로·프로세서는 充電器를 통해서 蓄電池 充電電流의 상태도 制御한다. 充電電流 및 電壓曲線은 그림 8에서 보는 바와 같다. 蓄電池는 일정 電流의 充電모우드로, 되고, 또 電流의 크기는 交流出力容量에 의하여 결정된다. 充電하는 동안 蓄電池電壓은 상승하여 限界值 $V_B(C)$ 에 도달하는데, 이 限界値는 다음 식으로 정해진다. 즉

$$V_B(C) = N(V_c - KT) \quad (8)$$

여기서 N 은 電池セル의 수(54), V_c 는 $T=-18^\circ C$ 에서의 電池セル의 尖頭電壓(2.92V), K 는 溫度係數(0.76 $V/^\circ C$), 및 T 는 溫度($^\circ C$)이다. 蓄電池電壓이 $V_B(C)$ 의 限界에 도달하면, I_B 는 $V_B(C) \sim V_B(C) - 1$ 비트의 값 사이에서 V_B 가 진동하는데 따라 감소한다. I_B 가 낮은 값(1.5A)에 도달하면, 充電은 斷續되거나 運轉者

命令에 의하여 均等化 모우드로 된다. 充電均等化는 蓄電池의 가장 약한 電池셀을 충분히 充電하는 것이다.

5. 하아드웨어의 設計

電氣運轉시스템이 심장부는 모든 運轉者命令, 시스템의 表示入力 및 檢出器信號를 받는 마이크로·프로세서에 의한 制御器이다(그림 9). 이들 모든 入力信號가 작동하면, 마이크로·컴퓨터는 電機子쇼퍼, 界磁쇼퍼 및 蓄電池의 充電器를 制御하고 燃料과 각종 모니터링 및 警報燈을 켜 수 있는 出力信號를 만들어 낸다. 介 入中斷信號는 非常停止를 위한 運轉中斷機能, 最優先職務을 위한 4ms의 클럭 및 운전시스템의 체계적 중단을 위한 키·스위치로 구성한다.

여기서 사용한 마이크로·컴퓨터의 하아드웨어는 Intel-8080에 의한 것이며, 이 하아드웨어는 넓은 周圍溫度範圍(-29°C ~ +52°C), 衝擊 및 振動에서도 만족하게 작동하고, 또

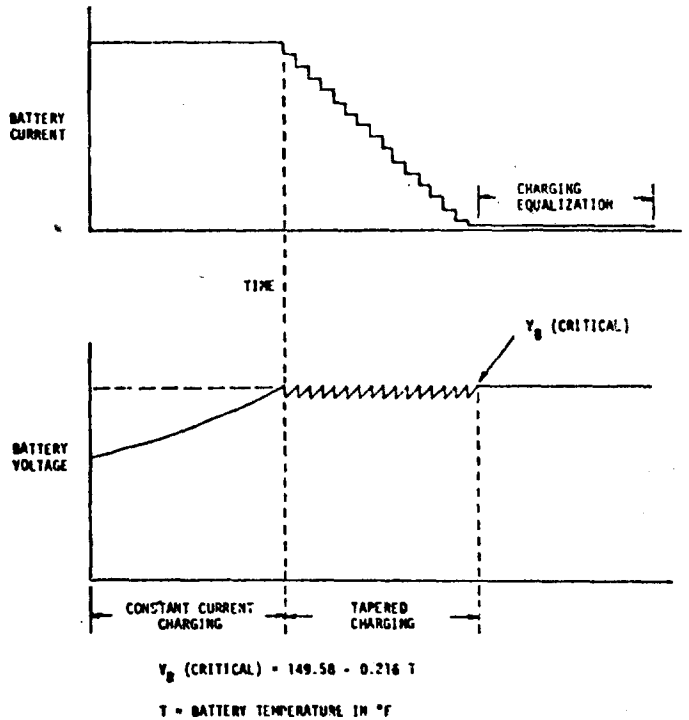


그림 8. 마이크로·프로세서의 蓄電池充電曲線

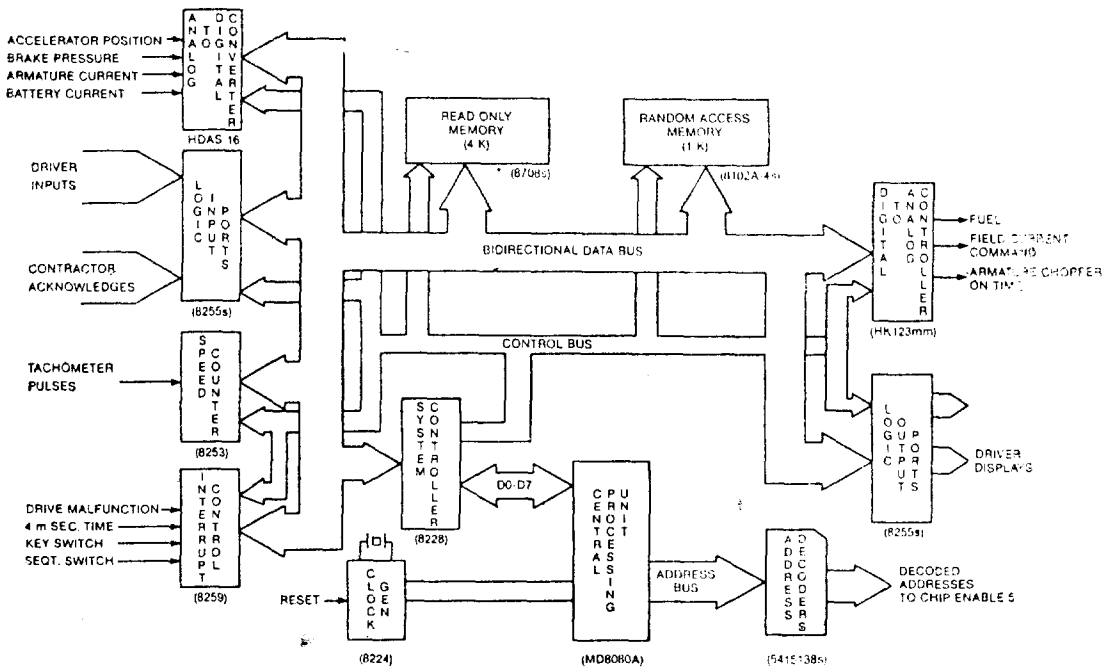


그림 9. 마이크로·컴퓨터의 블럭선도

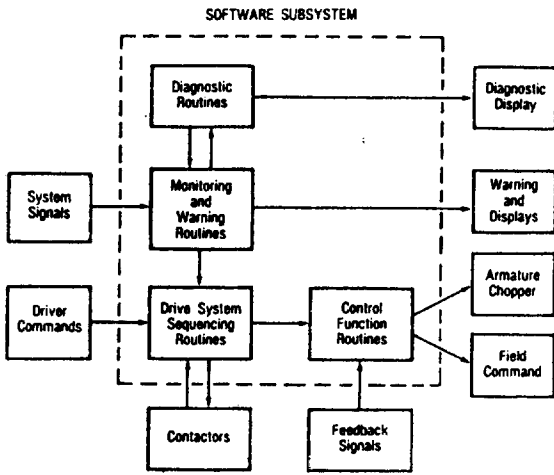


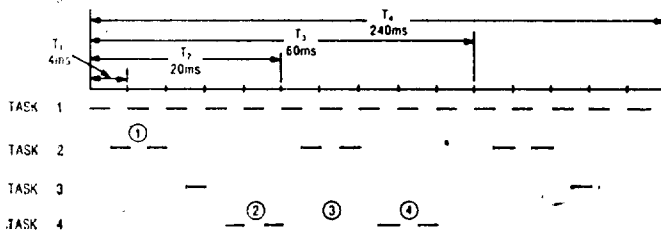
그림 10. 소프트웨어의 기능블럭선도

높은 電流초기에 의한 電磁波妨害(EMI) 環境을 감당할 수 있도록 설계되어 있다.

마이크로·컴퓨터는 無雜音作動을 위해서 光學的信號分離法을 사용한 소프트웨어 필터를 장치했다. 이의 적용 및 機能診斷 프로그램은 4개의 EPROM에 記憶되고, 1K RAM이 主프로그램을 지원하고 있다. 마이크로·컴퓨터의 하아드웨어는 遮蔽箱子안에 들어 있는 3개의 配線路板(12.7×22.9cm)으로 구성되어 있다. 이 箱子는 자동차의 앞면 오른쪽에 있는 用品函에 설치된다.

6. 소프트웨어의 設計

마이크로·컴퓨터의 소프트웨어는 實行소프트웨어의



- TASK·1(T₁ PERIOD) Feedback Loop Control
- TASK·2(T₂ PERIOD) Sequential Controller and Ia Updating
- TASK·3(T₃ PERIOD) Speed Calculation
- TASK·4(T₄ PERIOD) Display and Warning

그림 11. 職務時間圖表

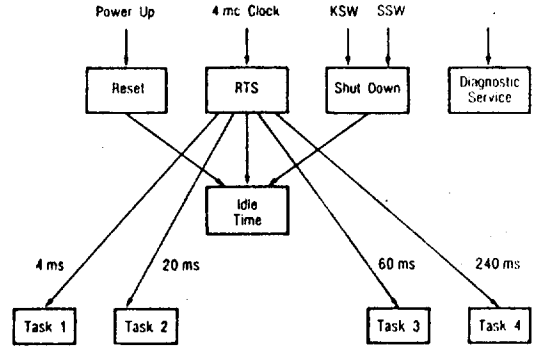


그림 12. 소프트웨어의 構成圖

制御상태에 있는 한조의 모듈로 구성하며, 電氣自動車의 리얼타임制御를 하게 된다. 소프트웨어는 時間限界 피이드백制御의 필요성 때문에 전적으로 8080 어셈블리어에 의하고 있다. 그리고 수행되는 機能에 따라 소프트웨어의 설계에 별도의 설계도구가 사용되고 있다. 論理的으로 복잡한 運轉順序는 有限狀態의 機械理論에서 유도한 狀態圖技法을 사용하였다.

그림 10은 소프트웨어의 機能블럭선도를 나타낸 것인데, 점선안의 것은 모듈이다. 電動機의 피이드백 조절은 制御機能 루우틴에 의해서 하게 된다. 運轉順序의 루우틴은 運轉者命令과 서로 연결되어 있으며, 원활하고 안전한 運轉順序가 되게 하는 論理構造로 구성한다. 모니터 및 警報 루우틴은 順次루우틴의 사용으로 蓄電池파라미터와 速度信號를 얻고, 自動車計器盤의 각종 표시를 하게 한다. 한 조의 온라인 機能診斷 루우틴은 소프트웨어의 파라미터를 再確認하고 表示情報를 만들어 낸다. 그림 11은 職務時間圖表를 나타낸 것으로써, 關聯職務에 필요한 職務履行時間을 그림으로 표시한 것이다. 예를 들면 직무 1은 항상 낮은 順位

의 직무가 다시 履行되기 전에 매 4ms 마다 그 직무를 완수한다. 직무 2는 ①로 표시된 것과 같이 한번 정지한다. 그에 반해서 직무 4는 ②, ③ 및 ④로 표시된 것과 같이 3번 정지한다. 그림 12는 소프트웨어의 구성을 도표로 나타낸 것이다. 4ms 클럭 介入中斷은 리얼타임 계획(RTS)에 따라 기본 시간간격을 마련하고, 또 그에 상응하는 각 직무는 그에 따른 계획시간 간격, 즉, 4, 20, 60 또는 240ms에 의하여 정해진다. 復歸介入中斷은 電源電壓의 昇壓으로 트리거 되며, 소프트웨어 및 하아드웨어 양쪽 다 初

期值 설정을 시작한다. 키·스위치(KSW)를 조작하면 앞에서 설명한 바와 같이 체계적으로 경지를 시작한다.

그림 13은 順次制御의 構成圖이다. 이 도표는 自動車運轉에 관한 각종 모드 사이에서 필요한 運轉補助시스템의 連動을 나타낸 것이다. 順次制御器의 역할은 각종 運轉者命令과 자동차 파라미터를 모니터 하고 換算表에 있는 유력한 상태 사이에서 적절한 轉換을 선택하는 것이다. 그림 13에서 論理制御는 關聯作用루우틴을 거치는 각종 상태 사이에서 轉換을 수행하는 狀態轉換 프로세서에 의하여 처리된다.

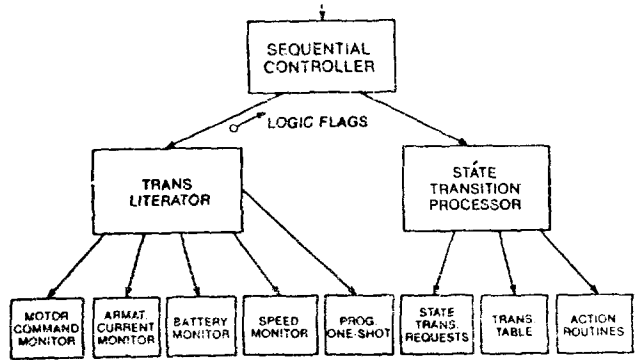


그림 13. 順次制御器의 構成圖

7. 結 論

電氣自動車の 마이크로·프로세서 制御시스템은 마이크로·프로세서가 엔진·피이드백制御, 順次制御, 燃料計量, 蓄電池充電 및 일정한 機能診斷의 역할을 한다는 것을 기술하였다.

이 마이크로·프로세서制御가 되는 운전·시스템은 研究室과 屋外走行試驗을 통해서 그 우수한 性能이 確認되었다.

參 考 文 獻

- (1) 出井義純; "엔진制御", 電氣學會雜誌, Vol. 101, No. 12, pp. 1148~1152, Dec. 1981.
- (2) B.K. Bose; "A microprocessor-based control system for a near-term electric vehicle," IEEE Trans. Vol. IA-17, No. 6, pp. 626~631, Nov/Dec. 1981.
- (3) K.R. Kleckner; "Modeling and testing of storage batteries", Conf. Rec. Int. Automotive Eng. Congress, Jan. 1973. (Paper No. 730251).

會 員 動 靜

- 朴 旻 鎬 會長은 日本電氣學會 全國大會 參席후 귀국(3.30~4.3)
- 白 龍 鉉·韓 松 驪會員(理事)은 日本 電氣學會 全國大會 參席후 귀국(3.30~4.3)
- 李 東 昊 會員은 韓電 釜山電力管理本部長으로 승진
- 金 賢 律 會員은 韓電馬山支店長으로 轉補
- 文 熙 晟 會員(理事)은 業務次 인도네시아 방문(4.15)
- 林 武 吉 會員은 釜山工專에서 大田工專으로 옮김
- 盧 泰 天 會員은 大田工專에서 釜山工專으로 옮김
- 林 承 主 會員은 現代建設 常務理事로 승진
- 李 明 相 會員은 韓電送變電部에서 濟州支社長으로 옮김
- 白 英 鶴 會員은 科學技術處 國立科學官長으로 옮김

釜 山 支 部 消 息

同支部(支部長郭永淳)는 81年度 第1次 理事會(82.3.26)에서 金賢律理事 후임에 李東昊 韓電釜山電力管理本部長을 選任하고 新任理事에 孫濟奉(성지공전 교수), 배규환(부산공전교수) 회원을 選出