Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 6, pp.9-16 (2007)

Copyright Ⓒ 2007 KSAE
1225-6382/2007/090-02

전자식 스로틀 제어시스템을 위한 오류 자기진단 기능 설계 및 구현

강 종 진[1] · 이 우 택[*2]

창원대학교 제어계측공학과 대학원[1] · 창원대학교 제어계측공학과[2]

The Design and Implementation of a Fault Diagnosis on an Electronic Throttle Control System

Jongjin Kang[1] • Wootaik Lee[*2]

[1]Graduate School, Department of Control & Instrumentation Engineering, Changwon National University, Gyeongnam 641-773, Korea

[2]Department of Control & Instrumentation Engineering, Changwon National University, Gyeongnam 641-773, Korea

(Received 4 September 2006 / Accepted 9 July 2007)

Abstract : This paper describes the design and implementation of the fault diagnosis on the Electronic Throttle Control(ETC) System. The proposed fault diagnosis consists of an input signal, actuator and a processor diagnosis. The input signal diagnosis can detect the faults of the ETC system's input signals such as the position sensor fault, source voltage fault, load current fault, and desired position fault. The actuator diagnosis is able to detect the actuator fault due to the actuator aging and an obstacle which interfere in the movement of the actuator. The processor diagnosis detects the fault which prevents the microprocessor from operating the ETC software. In order to protect the breakdown of the ETC system and assure the driving safety, appropriate reactions are also proposed according to the detected faults. The safety and reliability of the ETC system can be improved by the proposed fault diagnosis.

Key words : Electronic throttle controller(전자식 스로틀 제어기), Fault diagnosis(오류 자기진단)

1. 서 론

최근 마이크로프로세서와 전자식 액추에이터의 가격 경쟁력과 성능이 향상되어짐에 따라 자동차 부품에 전장 시스템이 활발히 도입되고 있다. 하지만 기계적인 부분을 전기적인 신호, 센서나 액추에이터로 대처함에 따라 전기신호의 노이즈, 센서의 고장, 마이크로프로세서의 오동작, 액추에이터의 노후화 및 고장 등의 원인으로 인하여 오동작을 일으킬 수 있는 문제점을 안고 있다. 그러므로 전자식 제어 시스템의 경우 시스템의 자가 진단 및 그에 따른 적절한 대책이 필수적으로 요구된다.[1)]

전장시스템의 하나인 전자식 스로틀 제어(ETC) 시스템은 엔진 실린더에 흡입되는 공기량을 조절하는 장치이다. ETC는 연비의 효율성, 운전 성능 향상과 같은 장점을 안고 자동차 부품시장에서 그 비중이 점점 커지고 있다. 하지만 ETC 역시 전자식 제어 시스템의 문제점을 그대로 가지며 이로 인해 운전자의 안전에 많은 영향을 끼친다. 그러므로 이 논문에서는 ETC 개발 시 제어 성능 및 시스템의 고장으로 인한 시스템의 파손 및 오동작을 막아 신뢰성 및 안전성을 확보하도록 3단계의 체계적인 자기진단 기능을 설계하고 그에 따른 5가지의 적절한 대책 기능을 설계 및 구현하였다.

*Corresponding author, E-mail: wootaik@sarim.changwon.ac.kr

2. ETC 시스템 구조

논문에서 적용한 ETC 시스템은 기준위치신호인 PWM(Pulse Width Modulation)신호의 듀티 값과 스로틀 기구부의 위치센서를 통해 측정되는 스로틀 위치신호를 이용하여 DC모터를 통해 스로틀 판의 위치를 제어한다.

Fig. 1은 ETC 시스템 구조를 간략히 나타낸 블록 다이어그램이다. ETC는 기준위치, 스로틀위치, 전원전압, 부하전류의 4가지 신호를 입력받으며 위치제어를 위한 출력인 Output Duty, 구동 드라이버의 동작 여부를 결정하는 Driver Disable, 부적합한 기준신호 경고를 위한 Diagnosis 신호를 출력한다.

Power Stage는 DC 모터를 구동하며 전원전압과 부하전류 값을 측정한다. 스로틀 기구부는 스로틀 판의 열림 각을 조절하는 DC모터와 위치센서, 리턴 스프링, 감속기어 등으로 구성된다.

ETC 내부는 신호처리부, 제어부, 자기진단부, 중앙처리부의 4가지 부분으로 나누어 구성되었다. 신호처리부를 통해 가공된 데이터는 각각 제어부와 자기진단부로 전달된다. 자기진단부는 가공된 데이터를 통해 자기진단 상태를 결정한다. 이에 따라 중앙처리부는 제어부의 입출력을 관리하는 Input Mode, Output Mode 데이터를 전달하며 Diagnosis, Driver Disable, 마이크로프로세서 Reset을 관장하는 Reset신호를 생성한다. 제어부는 게인 테이블(Gain Table)을 이용한 변형된 비례-적분제어기[2)]와 전압 보상기로 구성되어 제어 알고리즘을 수행하고 PWM 신호인 Output Duty를 출력한다.

3. ETC 시스템 자기진단 기능 설계

자기진단 기능은 ETC 시스템의 Input Signal diagnosis, Actuator diagnosis, Processor diagnosis를 통한 3단계 과정을 가지며 이 과정을 통해 입력신호의 적합성, 액추에이터의 상태, 마이크로프로세서의 상태에 관한 오류를 검출하여 신뢰성 있는 ETC 시스템이 되도록 제안하였다.

3.1 자기진단 기능의 설계

자기진단부는 신호처리부에서 가공한 5가지의 입력신호를 통해 3단계의 자기진단 기능을 수행하여 ETC의 오류를 검출한다.

Fig. 2는 자기진단부의 블록 다이어그램으로 자기진단 시에 사용되는 입출력신호와 3단계 자기진단의 상호관계를 보여준다. Appendix의 table 1은 각 단계별 자기진단에 의해 검출되는 출력신호에 따른 오류 정보를 나타낸다. 입력신호를 통해 3단계의 자기진단 기능을 수행하여 ETC의 오류를 검출한다.

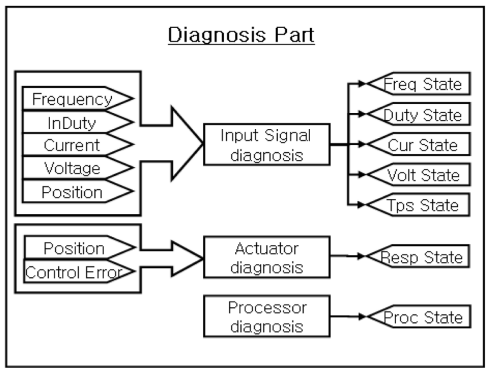

Fig. 2 Block diagram of diagnosis part

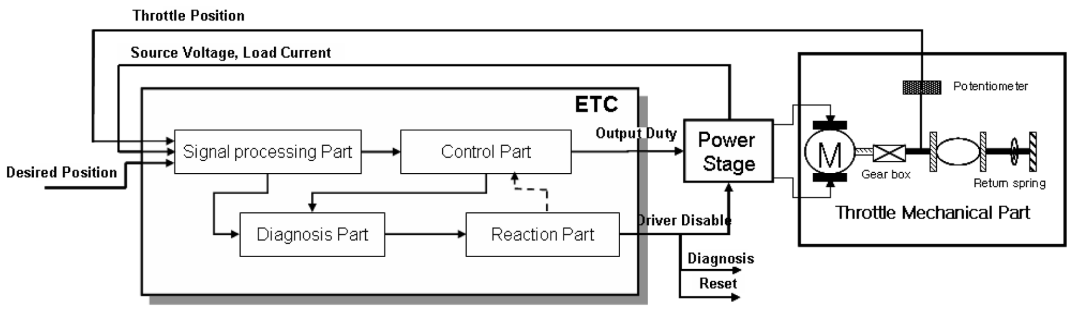

Fig. 1 ETC system architecture

3.1.1 입력신호 자기진단

입력신호 자기진단은 ETC 입력신호를 통해 ETC 시스템의 자기진단 기능을 수행하며 기준위치 신호의 적합성, Power Stage에 인가되는 전원전압의 적합성, 과도한 부하전류, 위치센서의 이상을 검출하여 ETC 시스템의 안전성을 확보한다. 각각의 오류 검출 시 입력신호의 노이즈 성분과 순간적인 신호의 변화 등을 고려하여 오류의 지속성에 따른 자기진단 상태를 Fault 1과 Fault 2의 2단계로 나누어 검출하였다. Fig. 3은 주파수 오류를 검출하기 위한 상태도[3]로 입력신호자기진단은 이와 같은 상태도로 시간의 지속성에 따른 오류를 검출할 수 있도록 구성하였다.

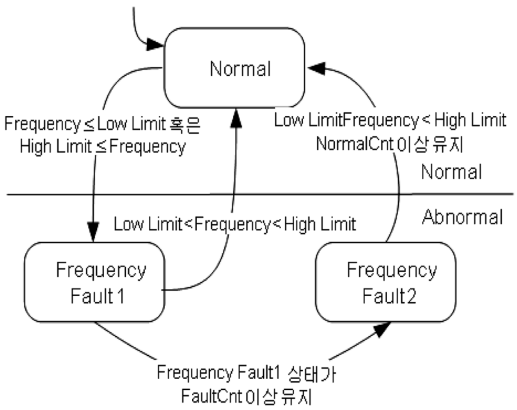

Fig. 3 State machine for freq. state

3.1.2 액추에이터 자기진단

액추에이터 자기진단[3,4]은 액추에이터의 고장 및 노후화로 인해 제어성능의 저하와 액추에이터의 오동작으로 인한 시스템의 파손을 막기 위해 수행한다. 액추에이터 자기진단은 ETC 시스템의 실험과 성능 지수를 기반으로 특성곡선을 구현하고 특성곡선의 경계치와 실제 ETC 시스템의 측정치를 서로 비교하여 액추에이터 오류를 검출한다. 또한 다른 진단부에서 오류가 검출되지 않아 위치제어 알고리즘에 따라 ETC가 정상적으로 동작하고 있을 경우에만 수행된다. 과도상태와 정상상태의 두 가지 시스템 특성곡선을 이용해 액추에이터의 이상 및 제어 알고리즘 성능 오류를 검출한다. 이 논문의 과도상태 오류검출과 정상상태 오류검출은 다음과 같은

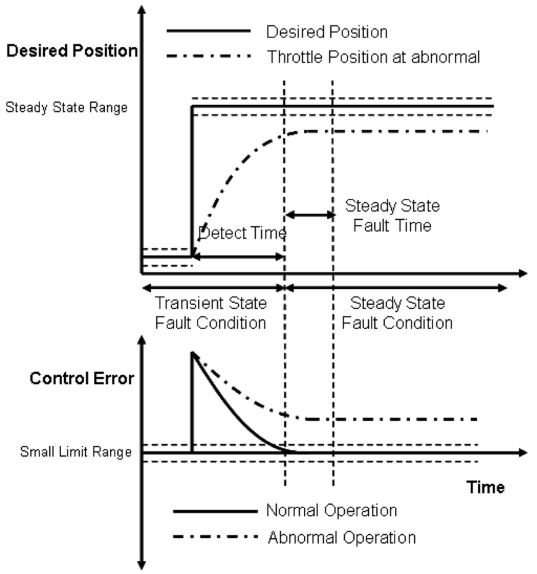

Fig. 4 Steady state characteristic curve

조건에 의해 나눠진다. 정상상태는 우선 기준위치 신호가 일정하여 ETC의 위치신호가 기준위치 신호에 충분히 다다를 수 있어야한다. ETC 기준위치신호의 일정함을 판단하기 위해 Fig. 4와 같이 기준위치 신호의 변화가 Detect Time 동안 지속적으로 Steady State Range이내에 존재하면 기준신호가 일정하다고 판단하여 ETC가 정상상태 오류검출 조건에 만족한다고 판단하고 과도상태 오류검출 조건은 이와 배타적으로 설계되었다.

Fig. 4는 정상상태 특성곡선을 보여주며 정상상태 오류는 리턴 스프링과 DC 모터의 노후화에 의한 오류를 판단한다. 정상상태 오류가 발생하면 위치제어성능이 감소하여 정밀한 위치제어가 힘들게 된다. 정상상태 오류 검출을 위해 우선 정상상태 응답오류 진단 조건이 성립하는 지 확인 후 Steady State Fault Time동안 제어오차(Control Error)가 지속적으로 Small Limit Range보다 크면 정상상태 오류로 진단한다.

Fig. 5는 과도상태 특성곡선을 보여주며 과도상태 오류는 위치제어 알고리즘의 성능 혹은 액추에이터의 감속기어에 장애물이 삽입되거나 DC모터의 이상으로 인한 오류를 검출한다. 과도상태 오류가 발생할 경우 시스템에 과도한 전류가 인가되거나 예기치 못한 동작으로 인해 ETC 시스템의 파손

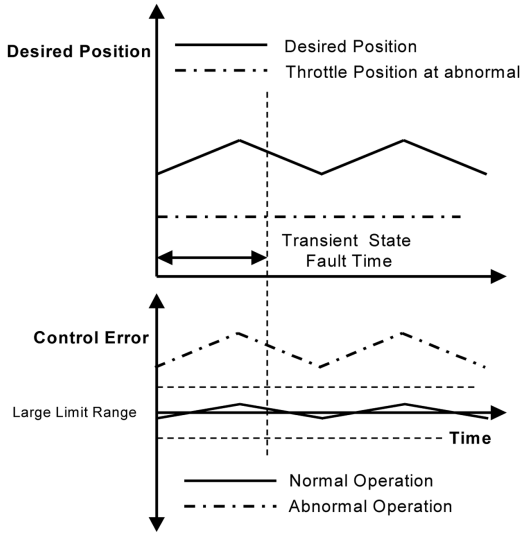

Fig. 5 Transient state characteristic curve

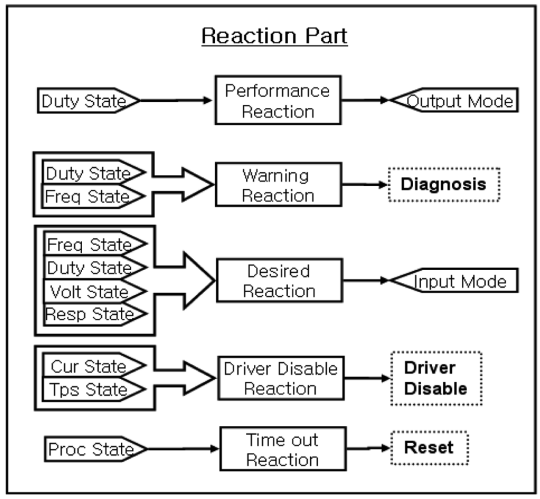

Fig. 6 Block diagram of reaction part

을 가져올 수 있다. 과도상태 오류 검출은 기준위치 신호의 변화가 지속적으로 큰 폭으로 변하여 Steady State Range 이내에 존재하지 못할 경우에 수행하며 Transient Fault Time동안 제어오차가 Large Limit Range보다 크게 유지 될 경우 과도상태 오류로 진단한다.

3.1.3 프로세서 자기진단

프로세서 자기진단은 ETC 마이크로프로세서 자체의 자기진단 기능으로 ETC 소프트웨어의 모든 모듈들이 스케줄 내에 빠짐없이 수행되는지 확인하여 마이크로프로세서의 오동작을 검출한다.

3.2 자기진단 상태에 따른 대책

Fig. 6은 자기진단 상태에 따른 대책을 결정 및 수행하는 중앙처리부의 블록 다이어그램으로 5가지의 대책[4-6]을 통해 ETC 제어 성능 확보 및 예기치 못한 동작으로 인한 시스템의 파손을 막아 신뢰성을 확보한다. 5가지의 대책은 검출된 오류의 심각성과 ETC 시스템에 끼치는 영향을 고려하여 설계되었다. Appendix의 Table 2에서는 검출된 오류에 따른 대책의 종류와 동작을 보여준다.

Desired Reaction은 우선 위치 제어 알고리즘의 성능은 신뢰하며 그에 반해 기준입력 신호의 적합성, 전원전압의 적합성, 액추에이터의 오류가 검출되었을 경우 적용되며 제어 알고리즘의 입력(Reference)만을 조절하여 정상적인 위치제어 알고리즘을 동작시킨다. Appendix의 table 2에서 Desired Reaction은 Hold와 Fail 2가지가 있는데, Hold는 기준위치신호와 전원전압의 순간적인 오류가 발생하였을 경우에 동작하며 이전 입력 값을 지속적으로 유지하여 순간적인 신호의 노이즈가 ETC 시스템의 영향을 미치는 것을 방지한다. Fail은 지속적인 기준위치 신호의 이상이 발생하여 기준위치 신호를 더 이상 신뢰할 수 없을 경우와 저전압 전원으로 인해 DC 모터의 구동이 어려울 경우, 액추에이터의 노후화로 인해 위치제어가 원활하지 않을 때 제어 알고리즘 입력을 Fail Reference로 고정하여 ETC의 예기치 못한 동작을 막아준다.

Performance Reaction은 제어부의 출력(Output Duty)을 조절하며 위치제어 알고리즘의 성능을 신뢰할 수 없을 경우 혹은 센서의 고장 및 액추에이터의 문제에 의한 오류를 처리하여 스로틀의 기구적인 보호와 액추에이터의 한계를 막아준다. Performance Reaction 또한 2가지 동작으로 구분 되는데 Limp는 제어 알고리즘의 성능을 신뢰할 수 없거나 센서의 고장에 의해 위치제어를 수행할 수 없을 경우에 동작하며 제어부의 출력을 Limp Duty로 고정하여 스로틀 판을 특정위치로 가져다 놓음으로서 실린더에 유입되는 공기량을 일정하게 유지하도록

한다. Cut Off는 기준위치 신호가 ETC의 동작영역을 벗어나 위치제어 시 ETC 기구부를 파손할 수 있거나 DC 모터나 Gear에 이물질이 끼여 스로틀 판을 조절할 수 없을 경우 제어부 출력을 Cut Off Duty로 하여 리턴 스프링을 통해 스로틀을 최소위치로 보내어 ETC 시스템을 보호한다.

Driver Disable Reaction은 모터 드라이버와 DC모터의 과전류에 의한 파손을 보호하고 과전압 전원으로부터 DC 모터를 보호하기 위하여 모터드라이버의 구동을 불가능하게 한다.

Warning Reaction은 반복적인 신호를 통해 Power-Train Control Module(PCM) 혹은 Engine Control Unit(ECU)등에 기준위치 신호의 이상을 경고하기 위한 신호를 생성한다.

Time Out Reaction은 마이크로프로세서의 오동작이 발생하여 소프트웨어를 정상적으로 수행하지 못하기 때문에 Watchdog Timer를 이용하여 마이크로프로세서를 강제로 Reset시켜 ETC가 다시 정상적으로 동작하도록 한다.

Fig. 7은 제어부 블록 다이어그램으로 중앙처리부의 출력 신호인 Input Mode를 이용하여 제어 알고리즘의 입력(Reference)을 결정한 뒤 위치 제어 알고리즘을 수행하고 중앙처리부의 출력신호인 Output Mode를 이용하여 제어부의 출력(Output Duty)을 결정한다.

4. 자기진단 기능 구현 및 검증

ETC 시스템은 사진 1과 같이 Freescale사의 HCS12를 이용한 ETC와 Power Stage Board, 스로틀 기구부로 구성되고 기준위치신호는 PCM, ECU를 대신하여 함수발생기를 이용하여 생성하였다.

ETC 소프트웨어의 모든 태스크는 10ms 주기의

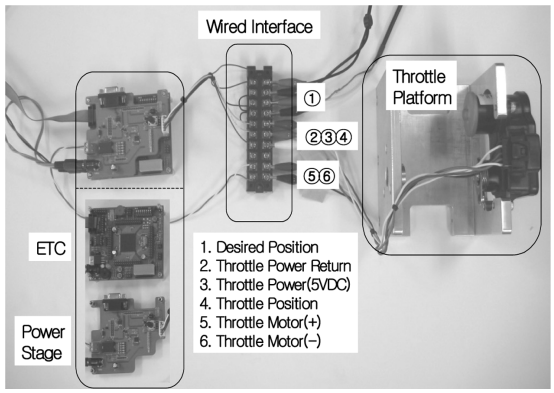

Photo. 1 ETC system

Cyclic Scheduler에 의해 동작하며 SCI 통신을 이용한 PC monitoring 프로그램을 이용하여 ETC의 제어성능, 오류 검출, 대책 등을 검증하였다

Appendix Fig. 1은 Input signal diagnosis 중 기준신호의 주파수 오류에 따른 ETC의 오류 검출 및 대책 수행을 나타내며 이와 같은 실험을 통해 Input signal diagnosis를 검증하였다. 시간 축을 기준으로 그래프를 보면 약 1.55초부터 Frequency Fault 1이 검출되며 그로 인해 Input Mode가 Hold로 바뀌고 그 결과 Reference가 지속적으로 유지 되는 것을 확인할 수 있다. 약 1초(FaultCnt)가 지난 후 Frequency Fault 2가 검출되고 Input Mode가 Fail이 되어 Reference가 1V(Fail Reference)로 고정이 되는 것을 확인할 수 있다. Frequency Fault 2 검출로 인해 Diagnosis 신호가 반복적인 신호로 생성된다. 약 6.1초에 기준신호의 주파수가 정상범위로 인가되지만 0.3초(NormalCnt) 후 Frequency Fault 2가 해지되고 Input Mode가 정상상태로 되며 Diagnosis 신호도 해지되는 것을 알 수 있다.

Appendix Fig. 2는 Actuator diagnosis 중 과도상태

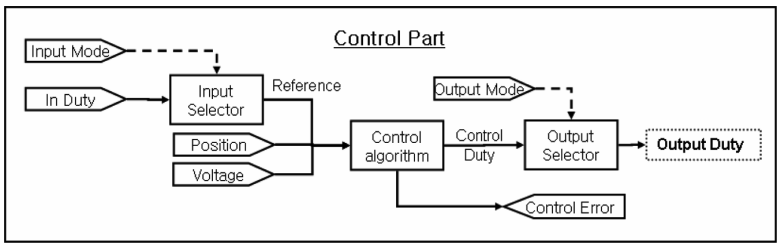

Fig. 7 Block diagram of control part

오류 검출 및 대책 수행을 보여준다. 에러 상황을 발생하기 위하여 0초부터 약3.4초 동안 강제적으로 부하를 인가하였고 에러에 의해 증분을 가지는 적분기는 제거하여 실험하였다. 약 1.65초(Transient State Fault Time) 후에 과도 상태 오류가 검출되고 Output Mode가 Cut Off가 되어 제어부의 출력인 Output Duty가 0%(Cut Off Duty)로 된다. 부하가 제거된 후, Position이 리턴 스프링에 의해 최소 위치로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

Appendix Fig. 3은 Actuator diagnosis 중 정상상태 오류 검출과 대책수행을 보여준다. 과도상태 오류 검출 실험과 마찬가지로 강제적인 부하인가와 적분기를 제거하고 실험하였다. 약 0.6초에 In Duty가 Step으로 변했으며 부하가 인가되었다. 약0.3초(Detect Time)동안 In Duty가 변하지 않으므로 ETC를 정상상태로 판단하고, 약 0.15초(Steady State Fault Time)동안 제어오차가 Small Limit Range를 벗어나 정상상태 오류를 검출한다. 그로인해 Input Mode가 Fail이 되어 Reference가 1V(Fail Duty)로 고정되는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

이 논문에서는 전자식 스로틀 제어기(ETC) 시스템의 신뢰성 확보 및 시스템 보호를 위한 자기진단 기능을 설계하고 구현하였다.

ETC 오류 진단은 입력신호의 진단 부, 모델기반의 액추에이터 진단 부, 프로세서 진단 부의 3개의 진단부로 구성하였다. 3개의 진단 부를 통해 액추에이터의 이상 혹은 노후화, 기준위치신호의 적합성, 전원전압의 적합성, 과전류, 위치 제어 알고리즘의 신뢰성, 센서의 고장, 마이크로프로세서의 오동작 등의 오류를 진단하였다.

진단된 오류에 따른 5가지 대책은 제어 알고리즘의 입력 조절, 출력 조절, 모터드라이버의 정지, Diagnosis 신호 생성, CPU리셋이 있다. 각각의 대책은 검출된 오류가 ETC 시스템에 미치는 영향과 심각성에 따라 적절히 제안하였다. 이와 같은 자기진단 기능의 설계는 ETC의 하드웨어와 소프트웨어적인 오류뿐만 아니라 제어적인 측면에서의 오류까지 검출할 수 있으며, 이는 시스템 레벨의 오류 검출과 그 오류에 따른 ETC의 문제점을 최소화하는 대책을 제공함으로서 ETC의 안전성 확보에 더욱 기여할 수 있다.

후 기

이 논문은 2005년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

References

1) J. S. Kim, W. G. Hwang and W. S. Lee, “Development of a Fault-tolerant Steer-by-Wire Control System,” Transactions of KSAE, Vol.14, No.5, 2006.
2) W. T. Lee and J. J. Kang, “Development of a Simple Control Algorithm for Swirl Motor Control,” Int. J. Automotive Technology, Vol.7, No.3, pp.369-375, 2006.
3) J. J. Kang and W. T. Lee, “A Case Study to Design Electronic Throttle Controller using Rapid Control Prototyping,” Spring Conference of Proceedings, Vol.Ⅲ, KSAE, pp.1516-1521, 2006.
4) D. McKay, G. Nichols and B. Schreurs, “Delphi Electronic Throttle Control Systems for Model Year 2000; Driver Features, System Security, and OEM Benefits. ETC for the Mass Market,” SAE 2000-01-0556, 2000.
5) M. Costin, R. Schaller, M. Maiorana, J. Purcell, R. Simon, P. Bauerle and J. Stockbridge, “An Architecture of Electronic Throttle Control Systems,” SAE 2003-01-0098, 2003.
6) I. R. Kendall, The Safety Assurance of The AJV8 Electronic Throttle, IEE, Savoy Place, London, WC2R 0BL, UK, 1996.

APPENDIX

Table 1 Error Information of Diagnosis Part

Diagnosis part	Output signal	Fault source	Fault information		
Input signal diagnosis	Duty state	In duty	Normal	High duty fault 1	High duty fault 2
			Normal	Low duty fault 1	Low duty fault 2
	Freq state	Frequency	Normal	Frequency fault 1	Frequency fault 2
	Volt state	Voltage	Normal	Over voltage fault 1	Over voltage fault 2
			Normal	Under voltage fault 1	Under voltage fault 2
	Cur state	Current	Normal	Over current fault 1	Over current fault 2
	Tps state	Position	Normal	Short to GND fault 1	Short to GND fault 2
			Normal	Short to VCC fault 1	Short to VCC fault 2
Actuator diagnosis	Resp state	Control error, In duty	Normal	Transient state fault	
			Normal	Steady state fault	
Processor diagnosis	Proc state	-	Normal	Processor fault	

Table 2 Kinds of reaction and operation owing to detect error

Kinds of reaction		Reaction source	Operation	
Desired reaction	Hold	Frequency fault 1 High, Low duty fault 1 Under, Over voltage fault 1	Fix the previous reference	Regulation of reference
	Fail	Frequency fault 2 Low duty fault 2 Under voltage fault 2 Steady state fault	Fix the fail reference	
Performance reaction	Limp	Short to GND fault 2 Short to VCC fault 2	Fix the limp duty	Regulation of output duty
	Cut off	Transient state fault High duty fault 2	Fix the cut off duty	
Warning reaction		Frequency fault 2 High, Low duty fault 2	Generating diagnosis signal	
Driver disable reaction		Over current fault 2 Over voltage fault 2	Motor driver off	
Time out reaction		Processor Fault	Cpu reset	

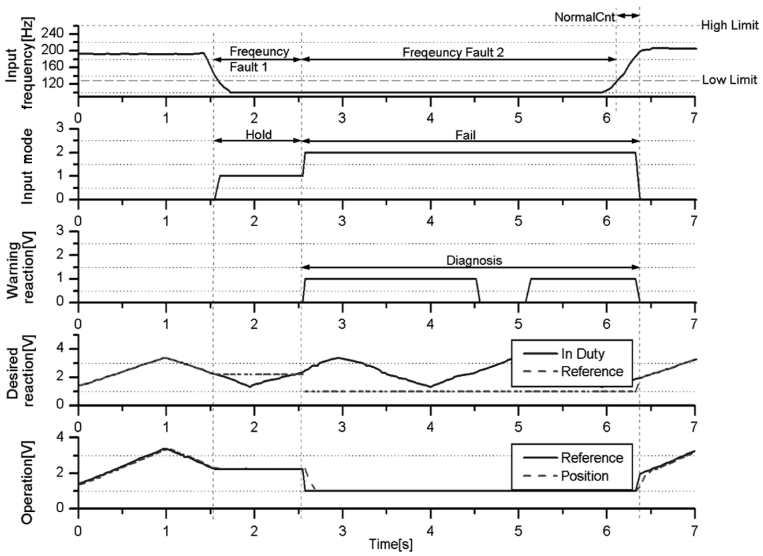

Fig. 1 Frequency diagnosis in input signal diagnosis

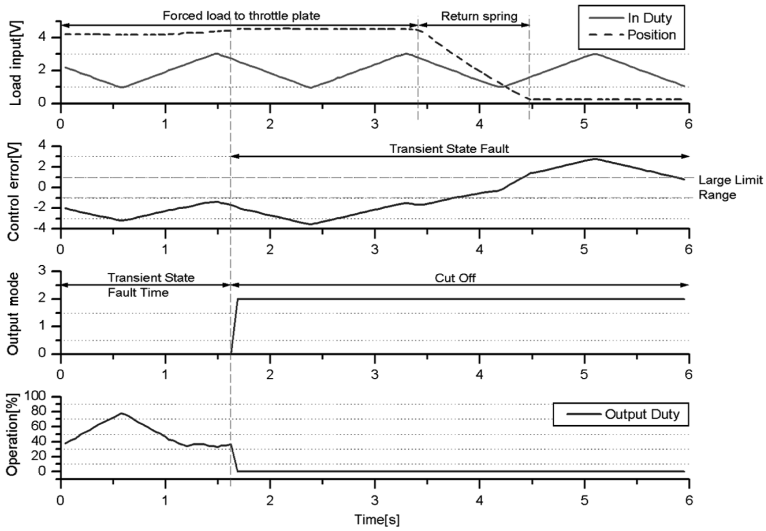

Fig. 2 Transient state diagnosis in actuator diagnosis

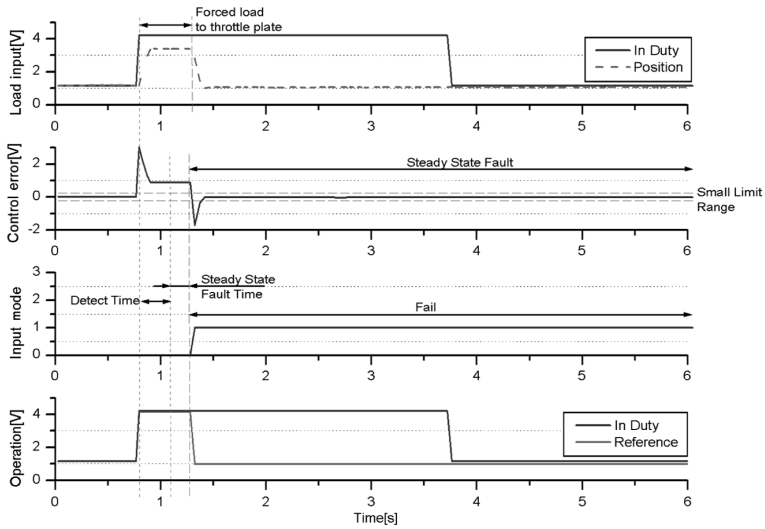

Fig. 3 Steady state diagnosis in actuator diagnosis