

논문 2022-1-7 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2022.06.07>

IoT 코딩 실습장치의 입출력 포트 보호회로 특성향상에 관한 연구

권성열*, 이현창**†

A Study on Enhancement of Characteristics of Input/Output Port Protection Circuit of IoT Coding Teaching Aids

Sung-Yeol Kwon*, Hyun-Chang Lee**†

요 약

본 논문에서는 IoT 기기를 비롯해 각종 제어기 학습을 위한 마이크로컨트롤러 실습 키트의 포트 보호를 위해 사용되는 리미터 회로의 약점을 보완할 수 있는 회로를 제시하였다. 이를 위해 기존의 보호회로에서 발생하는 문제점을 분석하였으며, 그 결과 아직 하드웨어에 미숙한 피교육자의 실수에 의한 연속적인 고압 입력에 대해 마이크로컨트롤러를 보호할 수 없음을 확인하였다. 이와 같은 연속적인 고압 입력으로부터 마이크로컨트롤러의 포트를 보호하기 위한 새로운 회로를 제시하였으며, 제시한 회로의 효과를 입증하기 위해 실험 회로를 구성하고 실험을 진행하였으며, 실험 결과 과전압 입력에 대해 마이크로컨트롤러의 포트가 허용되는 임계점 이하로 전압을 억제하는 우수한 효과를 확인하였다.

Abstract

In this paper, a circuit that can compensate for the weakness of the limiter circuit used for port protection of microcontroller training kits for learning various controllers including IoT devices is presented. To do this, the problems occurring in the existing protection circuit were analyzed, and as a result, it was confirmed that the microcontroller could not be protected against the continuous high voltage input due to the mistake of the trainee who is not yet familiar with the hardware. A new circuit is proposed to protect the microcontroller port from such continuous high voltage input. In order to prove the effect of the proposed circuit, an experimental circuit was constructed and the experiment was carried out. As a result of the experiment, it was confirmed that the microcontroller port suppresses the voltage below the allowable threshold for the overvoltage input.

한글키워드 : 포트보호, 전압 리미터, IoT 실습장치, 과전압 입력, 바이어스 된 리미터

keywords : port protection, voltage limiter, IoT teaching aids, over-voltage input, biased limiter

* 부경대학교 전기공학과

** 공주대학교 정보통신공학과

† 교신저자: 이현창(email: hlee@kongju.ac.kr)

접수일자: 2022.06.08. 심사완료: 2022.06.17.

게재확정: 2022.06.20.

1. 서론

최근의 IoT(Internet of Things) 분야, 코딩(coding) 분야의 관심과 이에 따른 교육 수요의

증가에 힘입어 이를 교육하기 위한 다양한 교재와 실험 키트들이 발매되고 사용되고 있다. 실험 키트로는 저렴한 가격과 수많은 콘텐츠 등으로 인해 아두이노[1]와 라즈베리파이[2] 등을 기반으로 한 파생품들이 자주 사용되는데, 이들은 본래 교육용 기기가 아니라 타 기기의 제어를 위해 기기 내부에 내장되는(embedded) 목적이기 때문에 특별한 보호장치가 없으므로 아직 기기에 익숙치 못한 초보자의 경우 매우 단순한 실수만으로도 기기가 파손된다. 이러한 기기의 파손은 개인적인 실험의 경우에는 잠시 실험이 중단되고 새 기기로 교체하면 되므로 큰 문제가 되지 않지만, 교육기관에서 사용하는 경우 기기의 파손은 수업의 진행에 매우 큰 지장을 초래한다. 즉 한 학급 단위에서 동시에 실험이 진행되는 상황에서 한 학생의 기기가 실수로 파손된 경우 전체 학급의 학습은 정상적으로 진행되어야 하므로 이러한 상황에 대비해 예비 기기를 준비해 즉시 교체해 진행하지만, 이를 준비하는 교육자 입장에서는 이러한 스페어 기기의 준비 또한 수량이 많아지므로 큰 부담이 아닐 수 없다. 특히 한 학기나 또는 일년 단위로 예산이 집행되는 경우에는 수시로 기기를 구매할 수 없으므로 1년 단위의 예상 기기를 준비해야 하며, 만약 예비 기기가 모두 소진되면 그 이후로는 파손된 학생의 실습은 더 이상 진행되지 못하고 중단되는 상황이 자주 발생한다.

이러한 학습 중단 문제점으로 인해 교육기관에서 사용하는 장비는 보호회로를 반드시 내장하는데, 예를 들어 그림 1에 나타난 바와 같이 실험용 전원을 공급하는 장치의 경우 피교육자의 실수에 의해 과전류가 흐르는 상황이 발생하면 기기에서 이를 차단하고 이러한 상황을 사용자에게 알릴 수 있는 C.C(Current cut) 경고장치 등을 장치해야 한다. 이와 같은 보호장치를 통해 기기의 파손을 방지함은 물론, 기기 파손으로 인

한 수업의 중단 상황을 방지할 수 있으므로 교육용 장치에서의 보호장치는 거의 필수적이라 할 수 있다.

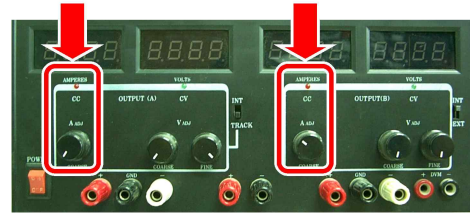


그림 1. 직류전원 공급장치의 보호회로 예
Fig. 1. Example of protection circuit at DC power supply

IoT 실험 키트의 포트 보호를 위해 Lee 등[3]은 피학생자의 실수에 의한 포트의 과전류에 대한 보호의 필요성을 주장하였고, 이에 대해 Lee 등[4]은 다양한 보호회로들에 대한 장단점 분석 및 알람 기능을 부여한 보호회로를 제시하는 등 다양한 연구가 진행되었다[5, 6].

본 논문에서는 학습자의 실수에 의해 IoT 실험 키트의 포트에 과전압이 인가된 경우 발생하는 문제점을 방지하기 위해 기존에 제시된 방법 중 실제 현장에서 발생하는 약점을 고찰하며, 이를 보완할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 또한 제시된 방법을 실험을 통해 효과를 증명하고자 한다.

2. 제시된 방법들의 고찰

2.1 포트 과전류 방지 회로

실습용 키트를 이용한 교육 시 가장 자주 발생되는 파손 원인은 출력 포트의 쇼트에 의한 과전류이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Lee 등[4]은 그림 2와 같은 폴리 스위치(Poly-Switch)[7]를 활용한 방법을 제시하였다.

그림 2에서 MCU(Micro Controller Unit)의 출력포트와 직렬로 접속된 폴리 스위치 PS_1 은 평소 매우 작은 저항값을 나타내므로 정상적인 실험에는 거의 영향을 미치지 않지만, 과전류 상황이 발생하면 내부적으로 저항이 급격히 증가해 전류를 일정 수준에서 억제할 수 있다.

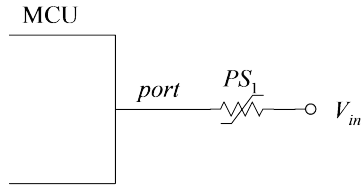


그림 2. 폴리 스위치를 이용한 과전류 보호회로
Fig. 2. Over-current protection circuit using poly-switch device

2.2 포트 과전압 방지회로

입력 포트의 경우 사용자의 부주의에 의해 과전압이 인가될 경우 이를 보호하기 위해 그림 3과 같은 회로를 사용할 수 있다.

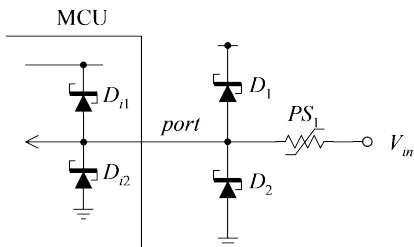


그림 3. 리미터에 의한 보호회로
Fig. 3. Protection circuit using limiter

본래 일반적인 논리회로의 입력단에는 그림 3에 나타낸 바와 같이 회로 내부에 리미터 회로가 내장되나[8] 이는 배선에서 발생하는 매우 짧은 과도전압(over-shoot)을 흡수하기 위한 것으로서, 사용자의 실수에 의해 연속적인 과전압이 입력될 경우에는 흡수 한계를 넘어서므로 D_{11} , D_{12} 가 파

손된다. 따라서 외부에서 D_1 , D_2 의 개별 보호 다이오드를 구성해 이를 차단한다.

그러나 이 회로에서 사용 전원이 +5V일 경우 포트 라인은 D_1 의 오프셋 전압을 포함해 +5.6V를 넘어설 때 보호 동작이 이루어지며, -0.6V 이하일 때는 D_2 에 의해 보호 동작이 이루어지지만, 연속적인 과전압이 인가된 경우 큰 전류가 흘러 오프셋 전압이 크게 상승한다. 식 (1)은 다이오드의 전류 방정식으로서, I_S 는 역포화전류, k 는 다이오드 상수, T_k 는 다이오드의 온도이다[9].

$$I_D = I_S(e^{k \cdot V_D / T_k} - 1) \quad (1)$$

다이오드의 온도가 일정하다면 k , T_k 는 상수가 되므로 식 (1)을 다이오드 전압 V_D 로 정리하면 식 (2)와 같고 이로부터 전류가 증가함에 따라 다이오드의 전압이 상승함을 알 수 있다.

$$V_D = K \cdot \ln\left(\frac{I_D}{I_S} + 1\right) \quad (2)$$

따라서 지속적인 과전압이 인가되면 보호 다이오드에 지속적인 전류가 흘러 마이크로컨트롤러의 포트에는 제한전압인 +5.6V와 -0.6V를 벗어나는 전압이 유입되어 포트가 파손된다. 특히 (-)전압에서는 약간의 낮은 전압에도 MCU 내부 회로에 교란을 일으켜 프로세서의 프로그램이 폭주하거나 다운 되고, CMOS 소자의 경우에는 래치-업 현상[10]이 발생해 정상적인 기능을 수행할 수 없는 상태에 도달한다.

3. 과전압 방지회로의 개선

앞서 고찰한 과전압 보호회로는 이론적으로 문제가 없어 보이나 실제 사용 시 전류에 의한 다이오드 D_1 과 D_2 의 offset 전압의 증가에 의해

MCU의 포트 보호에는 미흡한 효과를 나타내므로, 이를 보완하기 위해 그림 4와 같은 개선된 보호회로를 제시한다.

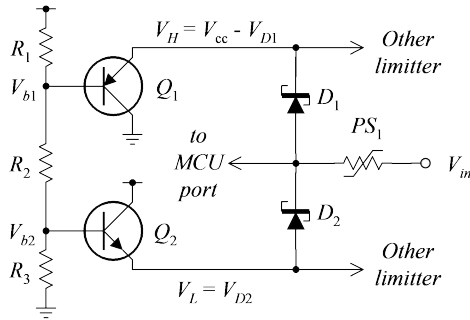


그림 4. 개선된 보호회로
Fig. 4. Improved protection circuit

이 회로에서 각 리미터의 제한전압은 식 (3), (4)와 같이 각각 설정되도록 구성한다.

$$V_H = V_{CC} - V_{D1} \quad (3)$$

$$V_L = V_{D2} \quad (4)$$

즉 D_1 의 캐소드 측 전압 V_H 를 D_1 의 오프셋 전압을 감안한 낮은 전압, 예를 들어 +5V 시스템의 경우 +4.4V 정도의 전압으로 설정하면, 포트 라인의 전압이 +5V에 도달했을 때 D_1 은 동작을 개시하기 직전 상태가 되며, +5V를 넘어서면 즉시 동작해 포트 라인의 전압을 안정화 시킬 수 있다. 이와 동일한 원리로 D_2 의 애노드 측 전압 V_L 은 +0.6V 정도의 전압으로 설정하면 포트 라인이 0V에 도달했을 때 이미 D_2 는 대기 상태가 되므로 (-) 전압에 대한 보호가 즉시 이루어질 수 있다. 즉 포트 라인이 이상전압에 도달했을 때 보호 다이오드 D_1 과 D_2 가 즉시 동작할 수 있도록 바이어스를 형성하는 것으로서, 바이어스 전압의 안정성을 확보하기 위해 Q_1 과 Q_2 를 이용해 전압을 유지하고, Q_1 과 Q_2 의 전압은 각각 R_1 , R_2 , R_3 에 의해 결정한다. 각 트랜지스터의 베이스에 인

가될 전압은 식 (5), (6)에 의해 결정할 수 있다.

$$V_{b1} = V_{cc} - V_{D1} - V_{BE, Q1} \quad (5)$$

$$V_{b2} = V_{D2} + V_{BE, Q2} \quad (6)$$

그림 4의 회로에서 Q_1 , Q_2 의 바이어스 전압을 결정하기 위해 다이오드의 사용을 고려할 수 있지만, 이 경우 4개의 다이오드 소자가 소요됨은 물론, 전류 미러(current mirror) 회로[11]가 형성되어 Q_1 , Q_2 의 전류에 제한이 발생해 보호 범위에 제약이 발생한다.

Q_1 , Q_2 에 전압 안정성이 우수한 MOSFET 등을 고려해 볼 수 있으나, 이 소자는 게이트의 임계전압이 소자마다 다르므로 각 소자의 특성을 고려해 재설계되어야 하는 번거로움이 있다.

4. 실험 및 결과

제시한 회로의 효과를 확인하기 위해 그림 5와 같은 회로를 구성하여 실험을 진행하였으며, 폴리 스위치는 현재 입수할 수 있는 품종 중 트립 점이 100mA, 홀당전류 50mA의 비교적 작은 전류용량의 것을 선별해 사용했다. 전원 전압이 +5V이고 D_1 , D_2 , Q_1 , Q_2 의 모든 오프셋 전압은 0.6V로 가정하면 이 때 저항값은 식 (7)과 같은 비율로 설정된다.

$$R_1 : R_2 : R_3 = 1.2 : 2.6 : 1.2 \quad (7)$$

$$\frac{V_{cc}}{R_1 + R_2 + R_3} \gg \frac{I_{C1}}{\beta_1} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} \quad (8)$$

또한 R_1 , R_2 , R_3 를 경유해 흐르는 전류는 Q_1 , Q_2 에 영향을 받지 않아야 하므로 식 (7)의 조건을 만족해야 하며, 이에 따라 각각 330Ω, 680Ω, 330Ω을 적용하였다.

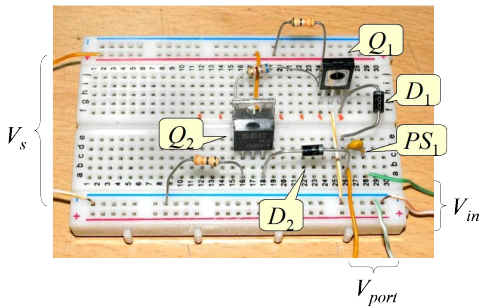


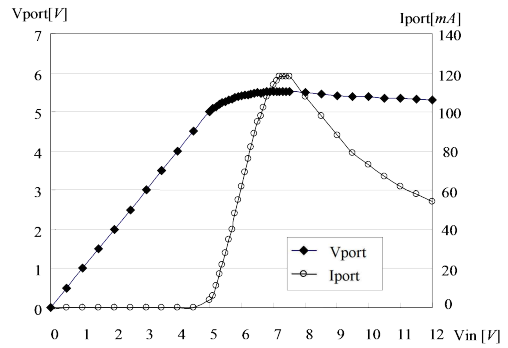
그림 5. 실험 회로
Fig. 5. Experimental circuit

표 1. 실험 결과
Table 1. Results of experiment

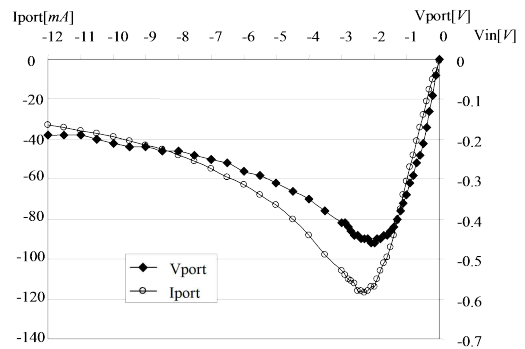
| Positive input | | | Negative input | | |
|----------------|-----------|------------|----------------|-----------|------------|
| Vin [V] | Vport [V] | Iport [mA] | Vin [V] | Vport [V] | Iport [mA] |
| n.c | 0.57 | -0.7 | -0.1 | -0.04 | -6 |
| 0 | 0 | -0.1 | -0.2 | -0.09 | -10 |
| 0.5 | 0.5 | 0 | -0.3 | -0.13 | -15 |
| 1.0 | 1.0 | 0 | -0.4 | -0.17 | -21 |
| 1.5 | 1.5 | 0 | -0.5 | -0.21 | -28 |
| 2.0 | 2.0 | 0 | -0.6 | -0.24 | -34 |
| 2.5 | 2.5 | 0 | -0.7 | -0.26 | -41 |
| 3.0 | 3.0 | 0 | -0.8 | -0.29 | -48 |
| 3.5 | 3.5 | 0 | -0.9 | -0.31 | -54 |
| 4.0 | 4.0 | 0 | -1.0 | -0.34 | -61 |
| 4.5 | 4.5 | 0 | -1.1 | -0.36 | -68 |
| 5 | 5 | 4 | -1.2 | -0.38 | -75 |
| 5.1 | 5.08 | 6 | -1.3 | -0.40 | -81 |
| 5.2 | 5.13 | 11 | -1.4 | -0.42 | -88 |
| 5.3 | 5.19 | 17 | -1.5 | -0.43 | -94 |
| 5.4 | 5.23 | 22 | -1.6 | -0.44 | -99 |
| 5.5 | 5.27 | 28 | -1.7 | -0.44 | -102 |
| 5.6 | 5.3 | 35 | -1.8 | -0.45 | -106 |
| 5.7 | 5.33 | 40 | -1.9 | -0.45 | -110 |
| 5.8 | 5.36 | 48 | -2.0 | -0.46 | -114 |
| 5.9 | 5.39 | 55 | -2.1 | -0.46 | -114 |
| 6.0 | 5.41 | 62 | -2.2 | -0.46 | -116 |
| : | : | : | : | : | : |
| 7.5 | 5.51 | 118 | -7.5 | -0.24 | -51 |
| 8.0 | 5.49 | 108 | -8.0 | -0.23 | -45 |
| 8.5 | 5.45 | 98 | -8.5 | -0.23 | -45 |
| 9.0 | 5.42 | 88 | -9.0 | -0.22 | -43 |
| 9.5 | 5.39 | 79 | -9.5 | -0.22 | -41 |
| 10.0 | 5.39 | 73 | -10.0 | -0.21 | -39 |
| 10.5 | 5.35 | 67 | -10.5 | -0.20 | -37 |
| 11.0 | 5.34 | 62 | -11.0 | -0.19 | -36 |
| 11.5 | 5.33 | 58 | -11.5 | -0.19 | -34 |
| 12.0 | 5.31 | 54 | -12.0 | -0.19 | -33 |

입력전압 V_{in} 에 대한 포트 라인 전압의 측정 결과를 표 1에, 이를 그래프로 그림 6에 나타내었다.

실험 결과에 따르면 (+) 입력전압의 경우 이론적으로 +5V를 초과하는 부분은 +5V에서 제한이 이루어져야 하지만 실제로는 최대 약 5.5V까지 상승하고 이후 다시 전압이 낮아지는 특성을 나타낸다. 이는 다이오드에 흐르는 전류가 커짐으로 인해 다이오드 오프셋 전압이 상승하여 나타난 결과이며, 전류가 증가해 폴리 스위치가 동작함에 따라 전류가 줄어들면서 제한 전압이 다시 낮아지는 결과가 나타난다. 이는 (-) 전압을 인가했을 경우에도 동일하며, 두 경우 모두 실습키트의 프로세서를 혼란시킬 수 있는 전압 범위 이내로 전압을 제한하고 있음을 확인할 수 있다.



(a) (+) 전압 입력



(b) (-) 전압 입력

그림 6. 실험 결과 그래프
Fig. 6. Graph of experimental result

특히 이러한 제한 특성에 의해 마이크로컨트롤러의 입력단에 +12V, -12V의 매우 큰 전압이 인가되어 포트가 이미 파손되는 시점을 크게 넘어섰음에도 안전하게 보호되고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 마이크로컨트롤러를 활용한 실습 키트의 포트 보호용으로 사용되고 있는 리미터 회로의 약점을 보완할 수 있는 회로를 제시하였다. 이를 위해 기존의 보호회로에서 발생하는 문제점을 분석하고 고찰하였다. 또한 제시한 회로의 효과를 입증하기 위해 실험회로를 구성하고 실험을 진행한 결과 과전압 입력에 대해 마이크로컨트롤러의 포트가 허용되는 임계점 이하로 전압을 억제하는 우수한 효과를 나타내었다.

제시한 회로는 마이크로컨트롤러 실습키트 이외에도 다양한 디지털 회로의 입출력 포트에 적용될 수 있으며, 이에 따라 회로의 안정성 및 파손에 대한 강인성이 크게 향상될 수 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비 (2021)에 의하여 연구되었음.

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University (2021).

참고 문헌

- [1] Muhammad Yusro, Nanang Arif Gunoro, Rikawarastuti, "Utilization of micro-controller technology using Arduino board for Internet of Things(a systematic review)", AIP conference proceedings, Vol.2331, No.1, 2021.
- [2] Jwong-Won Kim, "A Smart Home Prototype Implementation Using Raspberry Pi", The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, Vol.10, No.10, pp.1139-1144, 2015.
doi.org/10.1063/5.0041705
- [3] HyunChang Leem KyuTae Lee, Soelk Kang, KeunYoung Choim WinSik Na, SungYeol Kwon, "Analysis of Hardware Requirements for IoT Teaching Aids", Lecture Notes in Electrical Engineering 502, pp.37-38, 2019.
DOI: doi.org/10.1007/978-981-13-0311-1_7
- [4] HyunChang Lee, Soelk Kang, "A Study on Port Protection and Alarm Circuit of Microcontroller Training Kit", International Journal of Advanced Science and Technology, Vol.28, No.5, pp.201-210. ISSN : 2005-4238, 2019.
- [5] HyunChang Lee, "Device for protecting port of educational microcontroller kit", Korean Intellectual Property Office. Kor. patent : 10-2295037, Aug. 2021.
- [6] HyunChang Lee, "Device for protecting port of educational microcontroller kit with excellent temperature characteristics", Korean Intellectual Property Office. Kor. patent : 10-2295038, Aug. 2021.
- [7] F. Dolijack, "PolySwitch PTC Devices - A New Low-Resistance Conductive Polymer-Based PTC Device for Overcurrent Protection", IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol.4, No4, pp.372-378, Dec. 1981.
doi.org/10.1109/TCHMT.1981.1135838
- [8] Branimir Radisavljevic, Michael Brian Whitwick, Andras Kis, "Integrated Circuits and Logic Operations Based on Single-Layer MoS₂", 2011 American Chemical Society : ACS Nano, Vol.5, No.12, pp.9934-9938, Nov. 2011.
doi.org/10.1021/nn203715c

- [9] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky, Electronic Devices and Circuit Theory, 10th Edition, Pearson. ISBN : 978-0673980533, 2009.
- [10] W. Morris, "Latchup in CMOS", 2003 IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings, Mar. 2003. doi.org/10.1109/RELPHY.2003.1197724
- [11] Albert Malvino, David Bates, Electronic Principles, 8th Edition, McGraw-Hill, Aug. ISBN : 978-0073373881, 2022.

저 자 소 개



권성열(Sung-Yeol Kwon)

1990.2 수원대 전자재료공학과 학사
1993.2 경북대 전자재료전공 석사
2000.2 경북대 센서공학과 박사
1994.3~1998 안동과학대학 전자계산과
조교수
2000.3~현재 국립 부경대학교 공과대학
전기과 교수
<주관심분야> MEMS sensor, 전자재료, 전
기제어계측, 신재생에너지



이현창(Hyun-Chang Lee)

1986.2 단국대 전자공학과 학사
1989.8 단국대 전자공학과 석사
1996.2 단국대 전자공학과 박사
1996.3~2004 국립 천안공업대학
정보통신과 부교수
2005.3~현재 국립 공주대학교 공과대학
정보통신공학부 교수
<주관심분야> 멀티미디어 회로, 전동기제
어회로, 마이크로프로세서, 임베디드 소프트
웨어