

내연기관의 연소 최적제어용 디지털 제어장치 구성*

이 태 호 · 박 원 심
전 기 공 학 과

〈요 약〉 (1980. 6. 10 접수)

적응제어수단과 점화각 기준표에 의한 開루우프 제어기법을 결합한 새로운 형태의 점화 시기 제어장치를 구성함에 의하여 연소의 최적화를 시도하였다. 구성이 단순하고 제어수단에 융통성이 있으므로 신뢰도, 적용범위 및 경제성에 있어 매우 유리하다고 판단되었으며 마이크로 컴퓨터를 중심으로 완전 전자회로화된 계통을 구성하였고 실험결과 이용 가능성과 함께 몇가지 개선의 필요성도 확인되었다.

Design of a Digital Controller for Combustion Optimization of I. C. Engine*

Lee, Tai Ho · Park, Won Shim
Dept. of Electrical Engineering

〈Abstract〉 (Received June 10, 1980)

Combustion optimization of an internal combustion engine was examined using a new type of ignition timing controller which employs combined algorithm of adaptive and table-lookup open loop control strategy. The control strategy is implemented in a microprocessor-based all electronic control unit.

It has been found that the implementation was simple, and the control strategy flexible, thereby improving reliability, applicability and economy. The usefulness of the system has been proved through laboratory experiments on an engine test bed. Points to be improved for practical applications are also discussed.

I. 序 論

엔진제어를 전자회로화 하려는 시도는 지난 10년간 각 자동차 회사들이 추진해 오고 있는 중요한 작업중의 하나이다. 연료절감, 수명의 연장등 경제적 요청과 배기가스 조절이라는 2대 요청에 부응해야 하는 강력한 필요성이 그 동기의 하나이며 한편 전자공학의 급속한 발달로 말미암은 응용 범위의 팽창 추세가 이들 요청과 결부되어 나타난 현상이라 하겠다. 특히 마이크로프로세서의 출현은 이와같은 추세

에 한층 활기를 불어넣고 있어서 Ford, GM 및 Chrysler등 대 회사 들은 몇가지 실용적 모델을 내놓고 있는 단계에 이르렀다. '76모델연도에 발표된 Chrysler의 작품은 discrete-analog lean burn system이라 하여 약 200개의 부품으로 구성된 전자 점화장치인데⁽¹⁾ 4종의 입력변수를 채용하고 있다. 이 아나로그방식은 많은 부품을 사용한다던가 정확한 기준신호를 발생해야 하는등 회로의 구성상 문제점이 있고 그 밖에도 수정의 필요가 있을 때에 회로 자체의 재 설계가 필요하다는 결정적인 곤란점을 안고 있어 최근에는 대부분 마이크로프로세서를 이용

*이 논문은 1979년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구된 것임.

하는 디지털 방식이 채용되고 있다. 접근 방식은 開閉루우프와 閉閉루우프의 2계 경향으로 나눌 수 있겠는데 GM사의 MISAR, Ford사의 EEC제일등이 전자에 속한다, (2), (3) 이들 방식은 입력으로서 엔진속력, 진공배니플드 負壓, 냉각수 온도, 스로틀의 위치 등 각종 변수를 받아들여서 기억장치에 보관되어 있는 표로부터 배기가스 제순환(EGR)량, 급유량 및 점화진각을 계산하여 결정해주는 방식이다. 여기서의 문제점은 각종 입력감지장치와 출력기구들이 충분히 개발되어 있지 못하다는 점과 함께 각 엔진의 개차와 노화 등에 따라 내장되어 있는 표를 수정하여야 하는 번거로움이 있는 것이다. 閉閉루우프 방식으로 GM사가 추진하고 있는 엔진모델에 의한 시스템공학적 접근 방식 (4)은 매우 유망해 보이지만 소형엔진의 경우는 경제성이 문제가 되었고, 역시 수정의 곤란점이 남아있다. 본 연구에서는 일종의 閉閉루우프 방식인 Schweitzer의 적응제어(adaptive control) 수단을 기초로 하되 (5), (6) 마이크로프로세서의 사용을 전제로 계통을 개편하고, 기계적 부분을 전면 전자회로화 하도록 하며, 閉閉루우프 방식의 일부를 도입하여 엔진의 異常동작을 제한하고 적응의 속도를 촉진하는 수단이 시도되었다.

II. 제어 알고리즘

1. 제어방식선정의 배경

엔진제어의 목표는 연소의 최적화와 배기가스의 조절이다. 연소의 최적화를 위해서는 점화진각, 급유량 및 공기대연료의 비율이 적절히 제어되어야 하는데 문제는 최적연소상태와 배기가스에 대한 조건은 서로 일치하지 못하다는 것이다. (7) 즉, 완전연소상태에서 CO와 HC등은 매우 감소할 것이지만 NO_x는 오히려 증가하는 경향이 있기 때문이다. (8) EGR에 의하여 NO_x량을 감소시킬 수가 있지만 만족할만하게 하기 위하여서는 연료의 소비량이 증가하게 된다. 따라서 이 두 목표는 분리해서 해결하는 것이 편리하다.

EEC-II의 경우 엔진 제어부에서는 EGR까지만 고려하고 그 이상의 배기가스 조절은 촉매를 사용하고 있다. (3) 위의 목표를 달성함에 있어서 고려되어야 할 것들로서는 경제성, 운전의 원활성(drivability), 신뢰도 및 응답처치 가능성 등 여러 조건들이 있는데 이들을 동시에 만족시키기는 어렵고 어느 선에서 타

협이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 배기가스는 고려하지 않고 점화진각만을 제어하여 연소상태를 개선하는 것을 목표로 하고 제어 알고리즘은 Schweitzer의 Optimizer의 경우와 같게 하였으며 여기에 점화진각의 범위에 대한 표를 내장하여 그 범위에서 동작 시키는 방법을 모색 하였다. 이에 대한 예상평가는 다음과 같다.

① 연소에 영향을 주는 가장 큰 인자는 점화시기이므로 소형 엔진의 경우 유량 및 공기대 연료비를 제어하기위하여 고가한 구동 장치를 사용하는 의미는 별로 없다고 생각된다.

② 배기가스 자체는 제어가 되지 않지만 EGR이 있건 없건 적응제어 알고리즘은 적용이 되므로 배기가스 제어를 위한 계통을 구성할 때 손쉽게 이용될 수 있다.

③ 엔진의 개차나 노화에 의한 변화에도 응할 수 있다.

④ 점화진각에 관한 look-up table을 병용함으로써 운전의 원활성과 적응 속도가 촉진된다.

⑤ 점화진각 산출부와 점화필스 발생부를 분리 설계함에 의하여 마이크로컴퓨터 부분의 고장시에도 어느정도 운전이 가능하게 할 수 있다.

실제로 적응제어의 수단은 완전한 피직제어가 되지 못하며 운전 원활성 면에 있어서도 문제점이 예상되는 것이지만 단순하고 적용범위가 넓으므로 소형엔진에 적합한 것으로 판단되었다.

2. Optimizer 계통

제어부의 동작 알고리즘은 Schweitzer의 Optimizer에 기초를 두었으므로 그의 구성과 동작을 일변한다. 이 계통은 MBT(Minimum for Best Torque)가 최적상태라는 전제하에서 출발하는 것이며 점화진각에 미소한 변동을 주어서 이에대한 엔진의 속도 반응을 평가한 다음 새로운 점화각을 설정하는 기법을 채택하고 있다.

그림 1은 개념도이다. 일정 간격으로 반복되는 Dither 펄스는 점화회로의 분배기에 연결된 써어보기구를 작동시켜서 $\pm 3^\circ$ 의 점화진각 변화를 반복시킨다. 이 변화의 결과 초래되는 크랭크축의 회전속도의 변화를 감지하는 것이 Celsig이며 출력의 가속과 감속을 판단하게 된다. 이 결과는 적절한 논리 회로를 거쳐서 가속의 방향으로 점화각을 조정하도록 써어보기구를 작동시킨다.

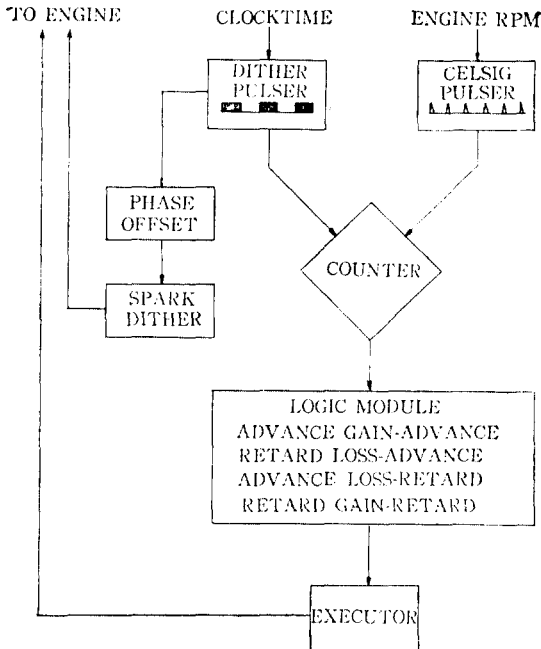


그림 1 Optimizer의 구성

3. 제어 플로우

그림 2는 제어 플로우를 보인 것인데 앞 절의 Optimizer의 동작을 마이크로프로세서에 적용시키기 위한 것이며, Dither와 Celsig 및 논리회로 부분을 포함한다. 동작을 상술하면 다음과 같다.

① 계통의 초기화가 끝나면 점화각은 공전상태에 두게 된다. 다음 속도를 측정하여 속도가 충분히 빠르지 않은 상태에서는 공전 조건이 계속된다. 속도의 측정은 일정시간의 회전각측정 또는 일정각 회전을 위한 시간측정의 두가지가 있겠는데 여기서는 후자를 택하였다. 즉 기준 실린더의 폭발행정의 TDC간의 시간 간격을 측정하도록 하였다.

② 속도가 600rpm을 넘어서면 적응제어를 시작한다. 즉, 점화진각이 결정된 후 최초의 2회전과 다음의 2회전의 속도를 비교하여 감속과 가속을 판단하는 것이다.

③ ②의 판단을 토대로하여 감속되지 않는 방향으로 점화진각을 약 3° 수정한다.

④ 측정된 회전속도와 결정된 점화진각을 내장된 표와 비교하여 적정범위에 들어오는지 평가하고 범위를 벗어나면 수정한다.

이상의 순서가 반복되는데 Optimizer와 특히 다른 점은 ④항의 표와의 비교이다. 이는 점화각도가

항상 허용된 범위에서 조절되도록 하여 예기치 않은 교란으로 인한 점화진각 변동의 폭주를 억제하며 가속과 감속시에 적응을 빠르게 하기 위함이다. 가속과 감속시에 운전의 원활을 위하여 이 이상 배려가 필요한가 하는 것은 현재로서는 확실치 않으며 장기간의 현장 실험에 의하여 밝혀질 것이다. 기억된 표를 세밀하게 하고 범위를 좁히면 EEC제일과 비슷하게 되겠으나 EEC와 다른점은 첫째로 EEC에서는 표의 값들로부터 내삽법에 의한 진각 계산이 필요하므로 연산기능의 고급화가 요청되고 둘째로 점화진각은 표에 고정되어 있으므로 대량 엔진의 변동에 적응할 수 있는 여유가 적다.

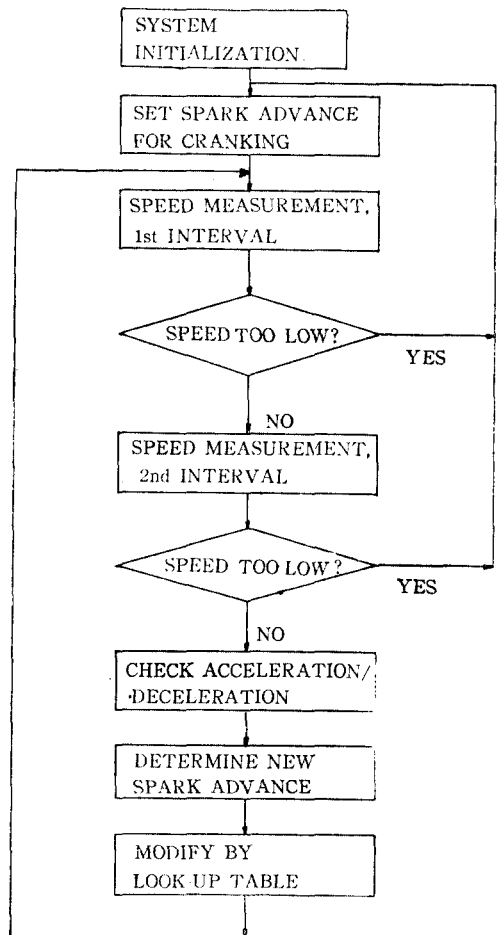


그림 2 제어 플로우차트

III. 계통의 구성

그림 3은 계통의 블록 다이어그램이며 각 부분을

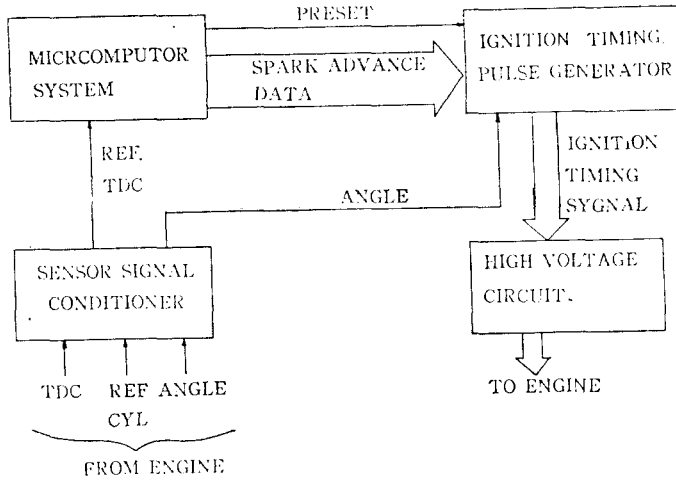


그림 3 계통의 블록다이어그램

설명하면 다음과 같다.

1. 마이크로컴퓨터

Look-up table을 사용하는 완전 開루우프 방식에서는 2차원의 내삽법을 사용하기 때문에 상당량의 계산상의 부하가 걸리고⁽⁹⁾ 따라서 마이크로컴퓨터의 기능에 충분한 평가가 이루어져야 하지만 본 보고서에서 택하고 있는 적응제어방식에서는 계수, 가감산, 비교등의 단순한 명령으로 충분하며 따라서 범용 마이크로프로세서로 충분하다. 실험에서는 AIM 65계통을 사용하였으나 실제회로는 마이크로프로세서와 RAM, ROM 및 병렬인터페이스의 4개 칩으로 이루어지며 특히 원칩 마이크로컴퓨터를 사용한다면 2개 칩으로 할 수 있고 특별히 제작할 경우 1개로 축소할 수도 있어서 크기와 가격면에서 매우 유리하다. 또한 신뢰성도 그만큼 높아지게 된다.

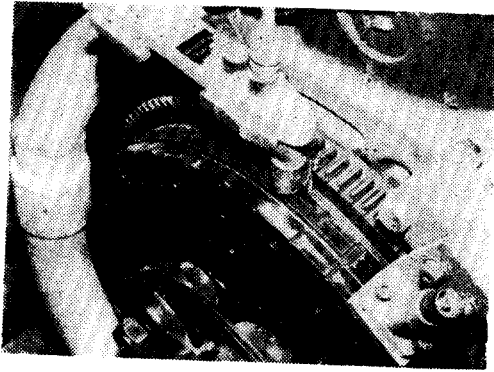
2. 점화신호 발생

점화를 위한 타이밍 펄스는 컴퓨터와 분리하여 독립된 회로로 구성하였다. 이렇게 하는 것은 컴퓨터 부분의 고장시에 엔진의 완전 마비를 피할 수 있게 하기 위함이며 점화각을 수동 조작으로 고정하면 점화신호는 외부의 지시 없이 일정 각도에서 발생되므로 불만족스러운 상태로나마 운전이 가능한 것이다. 구조는 단순한 계수기이며 각도검출기로부터의 신호를 계수하게 된다. 점화펄스는 0°, 180° 360°

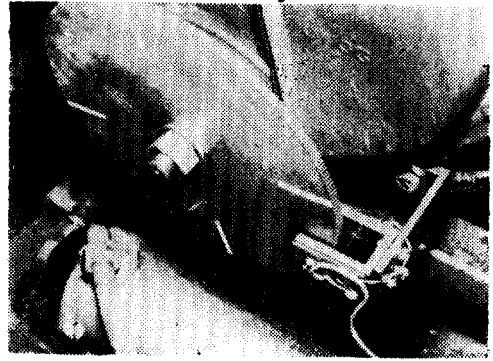
및 540°에서 발생하여 각 실린더에 분배되는데 PRESET시에 점화각을 기록하여 줌으로써 그 각도만큼 빠르게 점화신호가 공급되도록 하는 것이다.

3. 입력신호의 검출

계통의 동작에 필요한 입력 신호는 2개인데 하나는 기준 실린더의 폭발행정시의 TDC 신호이며 이것을 기준신호로 해서 마이크로컴퓨터에서는 속도 측정이 이루어지고 또한 점화펄스 발생부의 계수기가 PRESET되며 크랭크축의 각도 판단의 기준이 된다. 크랭크축 2회전마다 한번씩 기준신호가 발생하므로 크랭크축에서 직접 이 신호를 구할 수는 없으며 벨브기구나 배전기의 이용이 불가피하다. 본 연구에서는 배전기를 개조하여 크랭크축 2회전마다 한개의 펄스를 얻고 동시에 크랭크축에서 TDC신호를 얻어 이 두 신호를 AND하여 기준신호로 하였다. 배전기의 신호검출은 ON-OFF 스위치를 사용하고 TDC신호는 자기적 검출기를 사용하였다. 또 하나의 입력신호는 크랭크축의 회전 각도인데 이것은 원판에 스톱트를 만들어 판단속의 방식을 채택하였다. 원판을 256으로 분할하여 2진 계수기에 펄리하도록 하였는데 이 정도의 확도이면 충분하다고 생각된다. 다만 LED와 광트랜지스터에 의한 신호 발생량이 크지 못하여 잡음의 원인이 되는것으로 판단되었는데 이것은 원판의 분할을 128로 줄이고 매스토프마다 2개의 신호를 발생시키는 방법을 사용하면 해결



a. TDC 검출기



b. 각도 검출기

사진 1. 검 출 기

머리라고 판단 된다. 각각의 신호는 증폭기등의 조정회로를 거쳐 계수기와 컴퓨터에 공급된다. 사진 1은 검출기들을 보인 것이다.

4. 고압회로

이미 시중에는 전자식 점화장치가 나와 있으며 이와 비슷한 방식이면 된다. 다만 곤란한점은 배전기가 완전히 제거되었으므로 각 실린더에는 독립적인 점화 기구가 필요하게 되며 따라서 4개의 고압회로가 필요하다. 이것은 대단히 비경제적이므로 현재로서 실용화의 문제점의 하나로 남아있다. Ford사에서 개발 중에는 새로운 점화코일⁽¹⁰⁾이 하나의 해결책이 될 수 있다.

Ⅳ. 실험 결과 및 토의

현 연구의 범위에서는 계동동작의 양적 평가에까지는 미치지 못하였다. 이는 아래 지적되는 문제점의 개선과 함께 장기간의 현장 실험에 의하여 이루어지리라 생각되며 현재 저자들에 의하여 병행되고 있는 연구에서 일부 밝혀질 것이다. 시험용 엔진은 英 Lucas社제의 소형 4실린더 기관이며 다음의 현상이 확인되었다.

① 시동 및 가속, 감속의 동작은 매우 원활히 이루어진다.

② 2000rpm 이상에서는 약간의 주기적 속도변화가 관찰되었다. 이것은 제어알고리즘에 포함된 기준 각도표가 실제에 맞게 작성되지 못했다는 점과 각도 검출기가 약간의 오동작을 보이고 있는 결과로 판단된다. 기준각도표는 상당기간의 현장실험에서 얻어

질 것이다.

③ 부하가 증가하면 성능이 떨어지며 노킹의 흔적도 발견된다. 이것은 각도검출기의 부정확한 동작에 기인하는 것으로 판단된다.

이상의 관찰된 사실과 연구과정에서 제기된 문제점 및 고찰점을 요약하면 다음과 같다.

① 각도검출기의 정확한 동작이 필수적인데 이의 개선방안은 자기적검출기를 사용하거나 또는 광 초퍼의 단속 회수를 줄이는 대신 전자회로에 의한 중간 신호를 삼입하여 해결할 수 있다.

② 기준신호의 발생은 배전기에서 얻을 수도 있으나 배전기의 기계적 부분을 완전히 제거하려면 실린더에 연결된 밸브기구를 이용하는 것이 좋다. 이때 사용되는 스위치는 충분히 강인하여 진동에 의한 오동작을 피할 필요가 있다.

③ 고압회로의 비용과 크기를 줄이기 위해서는 새로운 점화기구의 개발이 필요하다. 그 한 방안이 (10)에 제안되어있다.

④ 적응제어의 입력 변수는 실린더가 수행한 일의 양을 사용하는 것이 더욱 타당하다고 판단되는데 여기에는 컴퓨터부분의 기능이 매우 강화되어야 하므로 경제성의 입장에서 취사선택 될 문제이다.⁽¹¹⁾

⑤ 잡음의 영향을 제거하기 위하여서는 세심한 설계상의 주의가 필요하며 충분한 차폐, 고압회로와 여타회로의 분리, 고압회로의 기생발진억제, 양질의 점화용 도선의 사용등이 해결되어야 한다. 포토커플러의 사용도 고려되는 한 수단이지만 본 연구에서는 포토커플러를 사용하지 않고도 충분한 안정을 얻을 수 있었다.

⑥ 신뢰도는 실용화를 위하여서는 절대적으로 요

청되는 것이지만 현재로서는 확인할 수 있는 단계는 아니다. 본연구의 제안은 부품의 수가 극히 작고 입력 변량도 2종에 불과하므로 여타의 제통보다는 신뢰도가 매우 향상되리라 것은 확실하다.

⑦ 배기가스의 조절은 본 계통에 의하여 어느정도 수행될 수 있다. CO, HC등의 성분은 연소상태의 개선에 의하여 직접적으로 감소되며 NO_x 성분은 EGR을 도입하여 일차적으로 감소시킬 수 있는데 이때에도 본 계통은 유능하게 동작되기 때문이다.

V. 결 론

적응제어의 수단과 점화진작표의 기법을 결합함에 의하여 매우 단순하고 값싸며 완전 전자회로화된 점화제어기구를 구성할 수 있었으며 그 문젯점들이 확인되었다. 문젯점들은 충분히 개선되고 해결될 수 있음이 판명되었으나 실용화를 위해서는 장기간의 현장실험과 개선작업이 요청된다.

참 고 문 헌

1. Webster, J.L. "Chrysler Digital Spark Timing Control", SAE paper 780844, *Automotive Engineering*, Vol.86, No.8, Aug. 1978, pp.33-35에 인용된것.
2. Simantis, D.J. "MISAR: An Electronic Advance", *Automotive Engineering*, Vol.85, No. 1, Jan. 1977, pp.24-29
3. "EECI+3-WAY=EEC-II" *Automotive Engineering*, Vol.86, No.8, Aug. 1978, pp.49-54
4. Chenea, P.F. "Applying Systems Engineering Methods, to the Electronic Engine Control Problem", SAE paper 780851
5. Schweitzer, P.H., Volz, C. and DeLuca, F. "Control System to Optimize Engine Power", SAE paper 660022
6. Schweitzer, P.H. and Collins, T.W. "Electronic Spark Timing Control for Motor Vehicles", SAE paper 780655
7. Gumbleton, J.J., Bolton, R.A. and Lang, H.W "Optimizing Engine Parameters with Exhaust Gas Recirculation", SAE paper 740104
8. "Fast Burn-Heavy EGR Improves Economy, Reduces NO_x" *Automotive Engineering* Vol.86, No.8, Aug. 1978, pp.56-62
9. Kvamme, E.F. and Crowley, J.R. "Microprocessors in the Automobile", SAE paper 770004
10. "New Ignition System Eliminates Distributor", *Automotive Engineering*, Vol.86, No.3, Mar. 1978, pp.69-72
11. Werson, M.J. and Trotter, M.J. "Real Time Computer Control of a Petrol Engine" Doctoral Thesis, University of Southamton, U.K. 1977.

부록 : 시험용 제어 프로그램 (AIM 65)

```

* = START
#00000 START
0# CLD
7# SETI
#017# LDA #07F
#000A0 STA UICR
#000A7 LDA UCRB
#000B0 LDA #000
#000B8 STA UOCR
#000C0 STA UOCR
#000C2 .
#000F LDA #0FF
#000A0 STA UODRB
#000A0 STA UODRA
#000F LDA #040
#000A0 STA UDRB
#00000 JSR PRSTAP
#00022 JSR INK
#000F LDA #000
#00000 STA SA
#000F LDA #07F
#00000 STA RPLB
#00000 STA INTEN
#00000 BIT UCRB
#00072 .
7#000 BVS WAITDC
#00004 ADAPT
#00000 JSR OUTELP
#00000 LDA #010
#000F INC 00
#000F LDA 00
#00000 STA UDRB
#00042 WAITDC
#00000 LDA UICR
#000F AND #0FMSK
#000F CMP #010
#000F BNE TEST1
#00000 STA UICR
#00000 JMP WAITDC
#00050 TEST1
#000F CMP #0FMSK
#000F BNE WAITDC
#00000 LDA #000
#00057 OUT
#00000 LDA SA
#000F ORA #040
#00000 STA UDRB
#000F AND #00011111
#00000 .
#00000 STA UCRB
#00000 JSR INTDNT
#00057 .
#00000 BIT INTEN
#000F BRL CNT0
#00000 STX INCR
#00000 STY INTAL
#000F LDA #DELTA
#00000 STA SA
#00077 .
#00000 JMP OUT
#0007A CNT0
#00000 STX INT1H
#00000 STY INT1L
#00000 CNT1
#00000 JSR INTDNT
#00000 STX INTEN
#00000 STY INT2L
#00000 JSR NEWER
#00000 JMP ADAPT
#0006F INTDNT
#000F LDA #000
#000F TAX
#000F TRX
#00093 COUNT
#000F LDA #DETIME
#00000 STA #COUNT
#00098 DELAY
#00000 DEC #COUNT
#000F BNE DELAY
#000F TAY
#000F BNE TIME
#000F INX
#000F CPX #LIMIT
#000F BCC SWD
#000F PLA
#000F PLA
#00200 JMP SWD
#00000 SWD
#00000 LDA UICR
#000F AND #0FMSK
#000F CMP #010
#000F BNE TEST2
#00000 STA UICR
#00000 JMP COUNT
#00099 TEST2
#000F CMP #0FMSK
#000F BNE COUNT
#00000 LDA UDRB
#000F RTS
#00001 NEWER
#00000 LDA INTEN
#00000 CMP INTEN
#000F BCC SETER
#000F BNE DEDEL
#00000 LDA RPLB
#000F BDR #0FF
#00000 STA RPLB
#00000 SETER
#00000 BIT RPLB
#000F BRL ADVAN
#000F LDA #000
#00000 STA RPLB
#00000 LDA SA
#000F BRL ADVAN
#00000 LDA SA
#000F CLC
#000F ADC #DELTA
#000F CMP #DELINT
#000F BCC RET
#000F LDA #DELINT
#00000 RET
#00000 STA SA
#000F RTS

```