

EFT IEC801-4 대책용 Power Cable 개발에 관한 연구

(A study on new development of Power Cable for countermeasuring of IEC801-4)

김형근*, 배대환*, 민경찬**, 김동일***
(Hyung-Guen Kim*, Dae-Hwan Bae*, Gyung-Chan Min**, Dong-il Kim***)

요 약

프로세서 제어기에서 오동작의 주요원인은 EFT로, 국제전기기술위원회(IEC)는 EFT에 대한 내성을 평가하기 위해 의사적인 신호를 규정하고 프로세서 제어기기의 내성을 시험하도록 권고하고 있다.

본 논문에서는 IEC에서 규정한 의사 EFT신호를 Frequency domain에서 분석하고 이에 대한 대책용 부품개발에 대한 연구를 수행하였다. 대책용 부품의 구성은 전원코드의 입력측에 관통형 컨덴서를 C₁ 형태로 취부하고, 전선자체에는 CM성분의 임피던스를 높이기 위해 고무자율 재료를 전선의 2차피복에 혼합하거나 감는 구조로 되어 있다. 그리고 전선자체의 CM성분의 임피던스를 높이는 고무자율 재료 대신에 Permalloy를 취부하여 비교하였다. 측정 결과, 개발된 전원코드는 EFT신호에 대해 넓은 주파수 대역에 걸쳐 매우 우수한 감쇠특성을 가지는 것이 확인되었다. 특히, 컴퓨터를 피측정물로 하여 측정한 dynamic 특성은 3.6Kv까지 견디는 우수한 특성을 나타내었다. 고안된 전원 케이블의 응용범위는 산업용 설비의에도 군용기기, 의료기기 등의 정상적인 동작확보에 사용될 수 있을 것이다.

뿐만 아니라, 사용방법에 따라 전원선을 통해 방사되는 EMI 중 대책이 어려운 60MHz이상 수 GHz 대역의 발생 전자기파 대책에 좋은 특성을 가질 것으로 판단되며, 부품의 선택방법에 따라 EFT 외에 IEC801-2, 3, 5, 6 모든 내성시험 항목에 효과가 기대된다.

Abstract

Since the most of the mal-functions in the industrial equipments controlled by processors have been occurred by the Electrical Fast Transient(EFT), the International Electrotechnical Commission(IEC) prepare the dummy signal to test the immunity level of the equipments controlled by processors and recommend it for the measuring. In this paper, the defined dummy EFT signal by IEC are analyzed by the spectrum analyzer in the frequency

* 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
** (주) 한국기술연구소
*** 한국해양대학교 이공대학 전파공학과

domain and studied the developed countermeasuring parts. The new developed parts are consist of the feedthrough capacitors (C_y type) in the input and materials with high permeability which was wound or inserted in the second layer of the Power Cable in order to increase Common Mode inductance. And it is compared inserted Permalloy to material with high permeability increasing Common Mode inductance. We could gotten a excellent insertion loss on the wide band against EFT signal. Especially, we confirm that countermeasuring Power Cable have been an excellent dynamic characteristic in computer system above the 3.6Kv. This new parts could be effectively used for industrial, MIL, and medical equipments to reduce a mal_functions on the site. Furthermore, these parts also have a good characteristics for EMI countermeasuring over the 60MHz up to several GHz band, they are also expected to be used for all kind of EMS test with IEC801-2,3,5 and 6 on the power distributed line.

1. 서 론

세계 각국의 불요전자파에 대한 강력한 규제 움직임에 따라 우리 나라도 기기로 부터 발생하는 불요전자파의 방사량 즉, 능동잡음인 EMI규제에 대한 필요성이 대두되어, 지난 89년에 전자파 장애 검정 규칙에 관한 법적 근거를 마련하였다. 이어서, 90.9월에는 同규칙을 제정·공포하고 세부 기술 기준을 정하였다. 90.11에 검정대상기기를, 91.3월에는 검정기기의 세부품목을 고시하여 EMI측정과 대책에 관한 연구를 주로 수행하여 왔다.

이제는 EMI에 이어 각종 유해 전자파 규제를 새로운 무역장벽으로 활용하고 있는 미국, 일본, EU 등 주요 선진국들을 주축으로 전기·전자분야 국제표준화기구(IEC : 국제전기기술 위원회)의 국제무선장애특별위원회(IEC/CISPR)가 추진중인 EMS규격이 제정되는 '96년 부터 이를 준용, 수입기기등에 대한 EMS시험 검사를 본격화 할 것이 확실시 돼 적극적인 대응책 마련이 요구된다.

특히 UR타결 이후 세계는 이제 관세보다는 각종 규격에 의한 非관세 무역 장벽을 한층 강화하는 추세에 있다.

본 논문에서는 IEC에서 정한 전자파 내성시

험 항목 중 대책수립이 어려운 EFT에 대한 대책부품 개발을 위해 EFT 의사신호를 Level 4에서 표준주파수 2.5KHz에서 Frequency domain에서 분석하고 개발된 대책 Cable의 정 및 컴퓨터를 대상으로 한 동특성을 평가하였다.

2. 본 론

EFT IEC801-4 의 시험목적은 주로, 계전기 등으로 부터 발생하는 개폐서지가 전도적으로 연결된 프로세서 제어기기에 오동작을 일으키는 것을 방지하기 위해 시험한다.

EFT에 대한 내성을 증가시키기 위한 기본기술은 기기측 임피던스를 높이고 입·출력선(신호선, 전원선) 각각과 접지간의 임피던스를 낮추는 것과 전원선을 포함한 주변회로의 공진점을 최대한 없애는 것이 대책의 기본이다.

2.1 IEC801-4 규격

IEC801-4 는 산업용 측정장비와 제어장비에 적용하고자 TC 65위원회에서 검토·제정하고 있는데, 오늘날 EFT 전자파 내성시험의 표준이 되고 있다.

해당규격에서 정한 인가파형과 레벨은 다음과 같다.

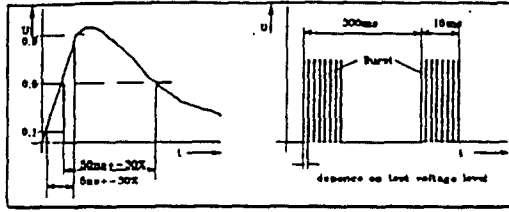


그림 1. EFT 파형정의

개상회로 출력 시험 전압 (허용오차: 10%)	
등급	전원상
1	0.25kV
2	1 kV
3	2 kV
4	4 KV
X	Special

표 1. 시험 레벨

2.2 EFT 신호원의 분석

EFT 신호의 발생원은 계전기의 단속, 모터 드릴, 용접기 등과 같이 단위시간당 전류변화가 큰 기기에서 발생하는 전자파 잡음 즉, 저에너지, 고속 서지를 총칭한다.

이때 발생한 전자파가 프로세서 제어기에 전원선과 I/O선을 통해 전도적으로 결합하여 오동작을 일으킨다. 일반 산업 현장에서 오동작을 일으키는 대부분의 경우 EFT에 의한 오동작이라고 생각해도 될 만큼 많은 비율을 차지하고 있다. 이와 같이 EFT를 발생시키는 기기들은 대부분 내부에 전원과 직렬로 인덕터를 내장하고 있다.

그림 2와 같은 회로에서 코일의 인덕턴스 L_0 , 분포용량 C_0 , 손실 R_0 로 이루어져 공진회로를 형성하고 있을때, 전원선이 접속되어 전류 I 를 흐르게 하면 L_0 중에 $\frac{I^2 L_0}{2}$ 의 에너지가 축적된다.

스위치를 열면 L_0 중에 $L_0 \frac{di}{dt}$ 인 전압을 유기시켜 C_0 를 충전한다.

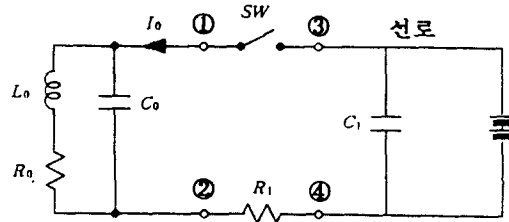


그림 2. EFT 노이즈 발생회로

L_0 와 R_0 는 일반적으로 감는선의 감이수, 굵기와 재질, 주파수, 전류량, 피막재료에 의해 정해지나 여기서는 일정하다고 가정한다.

C_0 의 경우 전선간의 분포용량 또는 인위적으로 삽입된 용량으로 정해지며, 이 또한 주파수에 따라 변하나 일정하다고 가정한다. 일례로 Taco사의 MVS-4804라는 계전기의 경우 비동작시 계정수는 다음과 같다.

$$L_0 = 0.52 \text{ H}$$

$$C_0 = 167 \text{ pF}$$

$$R_0 = 92 \text{ } \Omega \text{ (직류저항)}$$

$$f_r = 18.3\text{KHz (공진 주파수)}$$

$$R_m = 112 \text{ } \Omega \text{ (공진 임피던스)}$$

$$S \approx \frac{R_m}{X_0} = 2.1 \text{ (공진시 선택도)}$$

$$I_0 = 0.5 \text{ A 라는 조건에서}$$

EFT신호해석은 에너지의 총량 관계식에서 해석한다.

· 선로의 에너지

$$J_0 = \frac{L_0 I_0^2}{2} = 65\text{mJ} \quad (1)$$

· I_0 를 OPEN 했을때 L_0 의 유기전압

$$V = -L_0 \frac{di}{dt} \quad (2)$$

여기서 $\frac{di}{dt}$ 는 거의 무한대에 가까워 유기

전압이 무한대에 가까운 값이 되겠으나 등가회로에서 병렬로 삽입된 C_0 에 충전되어 에너지가 소비된다.

L_0 의 에너지가 C_0 에 손실없이 이동하였다고 할때의 전압을 V_0 라고 하면 다음 관계식에서 V_0 를 구할 수 있다.

$$\frac{L_0 I_0^2}{2} = \frac{C_0 V_0^2}{2} \quad (3)$$

$$V_0 = I_0 \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = 26 \text{ kV} \quad (4)$$

L_0 에 전류가 상승하고 있는 동안 L_0 를 통한 누설전류가 흘러 L_0 의 단자전압 v 는 다음식으로 표현된다.

$$v = V_0 \sin \theta e^{-\alpha t} \quad (5)$$

최초전압이 최대가 되는 시간은 아래식과 같이 된다.

$$t = \frac{1}{4} \frac{1}{f} = 13.5 \mu\text{s} \quad (6)$$

점접이 Open하면 L_0 의 진폭은 26 kV로 상승하나 개폐직후 점점간격이 좁기 때문에 낮은 전압으로 방전한다. 만일 불꽃방전 개시 전압이 320V라면 (4)식에서 얻어진 최대전압과의 비에 의해 위상각과 방전 개시시간을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \text{방전개시전압} / \text{최대전압} \\ &= 320 / 26000 \\ \therefore \theta &= 0.7^\circ \text{ 즉, } t = 0.1 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (7)$$

다시 말해서 0.1 μs 에 방전이 일어나 C_0 에 축적된 에너지가 선로에 유출된다.

C_0 의 경우 단자전압이 320V 일 때의 에너지는 아래식과 같이 된다.

$$J_1 = \frac{C_0 V_0^2}{2} = 8.6 \mu\text{J} \quad (8)$$

C_0 에 축적된 에너지는 방전과 동시에 전압이 방전할 수 없는 레벨까지 낮아져 전류가 끊어지고 L_0 내의 에너지는 J_1 만큼 감소한다. L_0 내에 남은 에너지로 C_0 는 다시 충전하고 다시 방전하여 감쇄진동이 일어난다.

2.3 의사 EFT신호의 신호측정

IEC에서 정한 의사신호의 스펙트럼은 그림 3 과 같은 방법으로 측정하였다. 특성 임피던스의 경우, 일반 전원선은 대략 100 Ω 정도이나 측정기기와의 반사량을 최대한 줄이기 위해 50 Ω 으로 하였다.

Probe로는 MIL-STD-461 CE 측정시 사용되는 R&S 사의 ESH-2-Z1 을 사용하였다.

단, 여기서 EFT신호세력이 너무 커 일어날 수 있는 스펙트럼 분석기의 포화는 고려하지 못했다.

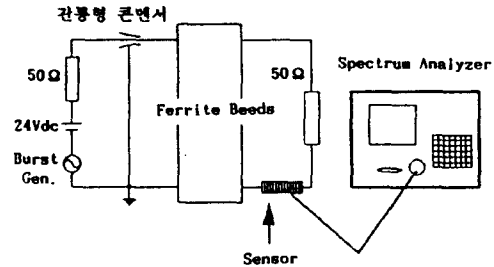
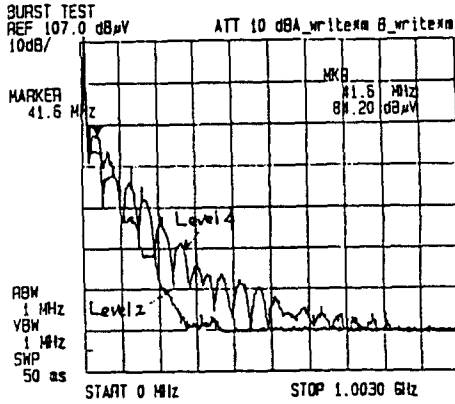


그림 3. 측정회로의 구성

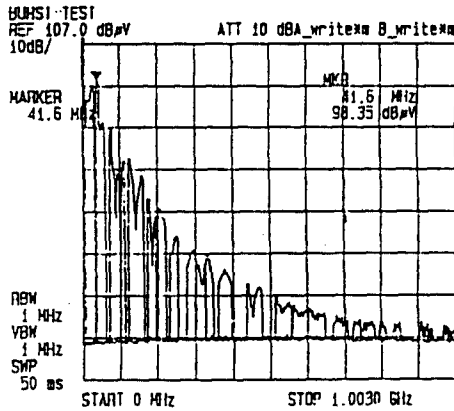
그림 3과 같은 측정방법으로 IEC801-4에서 정한 의사신호 Level 2, 4 를 측정하면 그림 4 와 같다.

그림 4 a)는 Level 4(4kV)의 스펙트럼이고, b)는 Level 2(2kV)이 스펙트럼이다. Level 2 의 스펙트럼은 대략 260MHz대역까지 분포하는 반면, Level 4는 800MHz까지 스펙트럼이 분포하는 것을 알 수 있다.

2.4 EFT 대책용 전원 Cable의 제작



a) IEC가 정의한 Level4/2의 스펙트럼 비교 (2.5KHz)



b) Level 4의 500KHz시 스펙트럼

그림 4. Level 4에서 2.5KHz와 500KHz의 비교

실제 측정과 대책에 있어서 Level 2와 Level 4의 차이는 대단한 차이가 있다. 일반적인 기기의 경우 표준 주파수에서 Level 2에 대해서는 대책수립전에 대체적으로 견디나, Level 4의 경우 대부분 불합격되는 경우가 많다.

지금까지 EFT의 대책방법은 Isolation Trans.를 전원의 입력단에 취부하여 내성을 증가시키는 방법을 주로 사용하였다. 그러나 Isolation Trans.는 중량과 부피가 크고, 가격이 고가이므로 사용상 많은 어려움이 있었다. 이에 간단히 전원코드만으로 EFT에 견디는 대책 개발이 절실히 요구되었다. 새로운 EFT에 내성을 갖는 전원코드의 구조는 코드 입력측에 관통형 콘덴서를 삽입하고, 전원선의 임피던스를 높이기 위해 페라이트 비드(Ferrite Beads)를 취부한 구조를 한다. 실험을 위해 일반 3선 전원선 1축에 1000pF의 관통형 콘덴서 2개를 Hot-Gnd, Neu-Gnd간에 C_y 형태로 삽입하고 전원선의 임피던스를 증가시키는 등가적 특성을 얻기 위해 Ferrite Beads 5개를 전원선에 삽입하였다.

이의 등가회로는 그림 5와 같다.

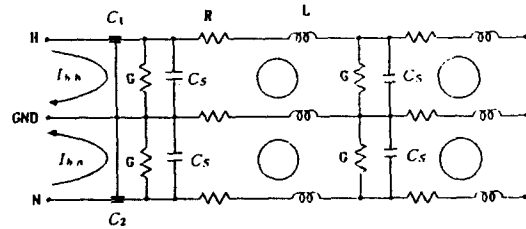


그림 5. EFT에 내성을 갖는 새로운 전원코드의 등가회로.

그림 5의 등가회로에서 I_{ha}, I_{bn} 는 관통형 콘덴서 C_1, C_2 로 흐르는 전류이며, G, C_s, R, L 는 전원선을 분포정수회로로 볼 때 제정수이다. 이때, L 는 고유 인덕턴스보다 Ferrite Beads 5개에 의해 증가된 인덕턴스이다.

2.5 전원코드의 EFT감쇠특성

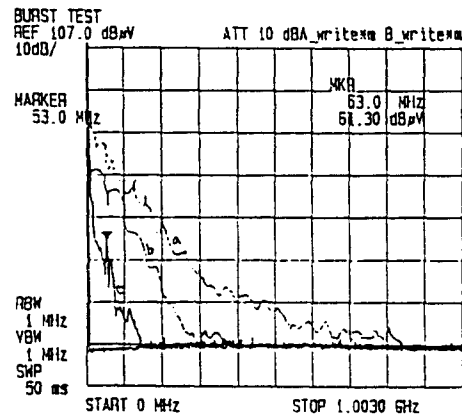
2.5.1 측정회로의 구성

Dynamic 감쇠특성은 그림 3과 같이 구성되어 측정하였다.

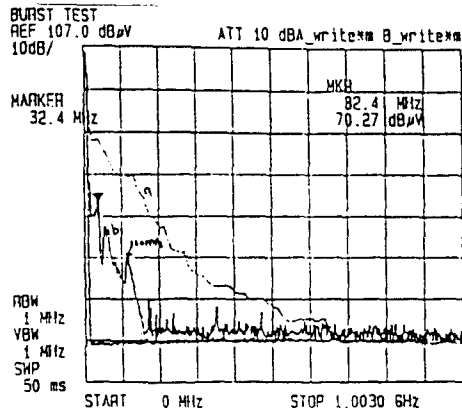
2.5.2 표준신호에서의 감쇠특성

그림 6 a)는 관동형 콘덴서만을 일반 전원선에 취부하고 Level 4, 2.5KHz에서 감쇠특성을 나타낸다. 전주파수대역에서 평균 20dB이상 감쇠특성을 보여 주고 있다.

그림 6 b)는 관동형 콘덴서와 페라이트 비드를 삽입하여 측정한 Level 4에 대한 감쇠특성인데, 그림의 a는 Level 4의 스펙트럼이고, b는 Level 2의 스펙트럼이다. c는 제작된 전원코드를 이용하여 Level 4 신호 인가시 감쇠특성이다.



a) 관동형 콘덴서 삽입시 표준신호에서 감쇠특성



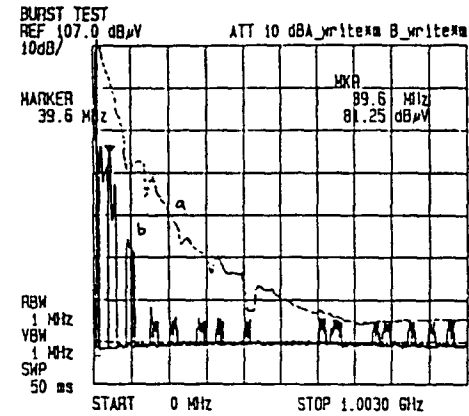
b) 관동형 콘덴서 + 페라이트 비드 삽입시 감쇠특성

그림 6. 표준신호에서이 감쇠특성

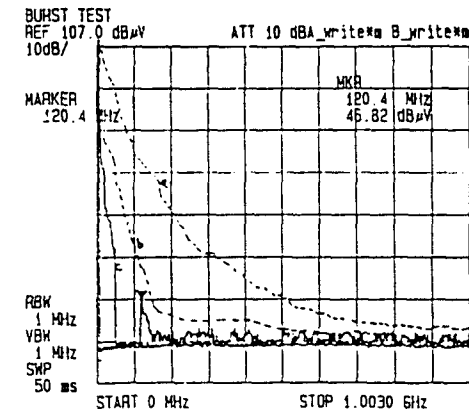
2.5.3 500KHz, Level 4 인가시 감쇠특성

표준신호가 아닌 500KHz에서 감쇠특성을 측정해 본 결과 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

그림 7 a)는 관동형 콘덴서만을 취부시 감쇠특성이고, b)는 관동형 콘덴서와 페라이트 비드를 삽입한 감쇠특성이다. 그림 7 b)의 곡선 b는 관동형 콘덴서만을 삽입한 그림 7 a)의 곡선 b를 일반화시킨 것이다.



a) Level 4/500KHz에서 관동형 콘덴서만을 삽입시 감쇠특성



b) Level 4/500KHz에서 관동형 콘덴서 + 페라이트 비드삽입시 감쇠특성

그림 7. Level 4/500KHz에서 감쇠특성

2.5.4 Permalloy를 취부시 감쇠특성

그림 3에서의 측정회로 구성에서 Ferrite Beads를 제거하고 Permalloy를 삽입하였을 때의 감쇠특성을 그림 8에 나타내었다.

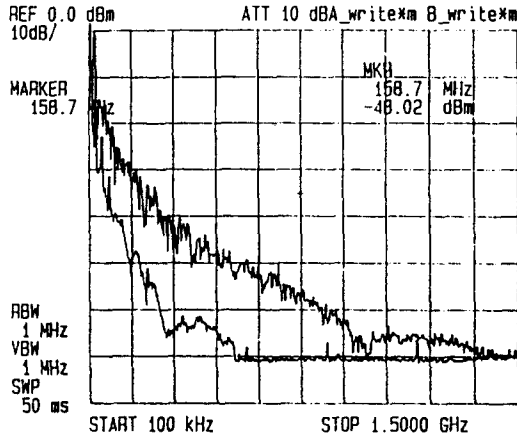


그림 8. Permalloy를 삽입시 감쇠특성

Permalloy를 삽입한 전원 코드에는 실제로 컴퓨터를 대상으로 하여 Dynamic 특성을 실험하였는데, EFT 대책을 하지 않은 전원 코드는 2kV 정도에서 컴퓨터가 시스템 다운(S/W적으로 오동작이 됨)이 되었으나, Manual Operations 으로 3.6kV정도까지 가변하여 증가시켰으나 컴퓨터는 안정된 동작을 유지함을 확인하였다.

3. 검토 및 결론

앞서 얻어진 결과에 의하면 EFT의 내성을 가진 전원 코드의 개발 가능성을 보여 주고 있다.

본 전원코드의 경우, 전원선에 인가 시험되는 전자파 내성 시험 항목 EFT(IEC801-4)뿐만 아니라, 정전기(IEC801-2), 방사전계(IEC801-2), 서지(IEC801-2), 전도성 변조파(IEC801-2) 등 모든 내성 시험에 우수한 특성을 가질 것으로 사료된다.

뿐만 아니라, 전원 코드의 반대쪽에 관통형 콘덴서를 삽입하면 불요 전자파(EMI) 대책 수립시 어려운 60MHz 이상 대역에서 우수한 감쇠 특성을 가질 수 있어 상용, 산업용, 군용 제장

비에 사용이 가능하다.

또한 전원선 자체가 자기실드(Magnetic shielding)기능이 있어 배선간의 결합방지에도 우수한 특성을 가질 수 있다.

참고문헌

1. 전파진흥, "해외 EMS규제 동향과 우리의 대응", 1994. 76p - 87p.
2. M. Lutz, "Electrical Fast Transient IEC 801-4, susceptibility of electronic equipment and system at high frequency and voltage", IEEE EMC Symposium '92, 189p - 194p.
3. IEC 801-4 part 4, Published 1988.
4. Martin Luta, Leo Makowske, Jean pierre Lucury. "EFT testing to IEC 801-4, Does not overstate test object security, so long as generators using electronic switching are correctly designed", EMC Test & Design Feb. 1992.
5. M.Lutz, Leo Makowski, "Testing with high frequency transients", Test & Measurement World, Feb. 1992
6. 민경찬, "노이즈 종합대책", 성안당, 1994. 141p.
7. Henry W. Ott, "Noise reduction techniques in electronic systems", second edition, John Wiley Interscience, NY, 1988, 137p - 158p
8. Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", John Wiley Interscience, NY, 242p - 334p.
9. 鳥山鶴雄, "ハ-スト ノイズ" 發生機構と防止技術", EMCJ 94-1, 1-11p