

電磁環境 (Electromagnetic Compatibility)에 關한 分析技術

尹 賢 普
(正 會 員)

東國大學校 電子工學科 教授

I. 서 론

EMC(electro-magnetic compatibility or compossibility)는 EMI(electro-magnetic interference)의 障害程度를 다루는 문제로 원하지 않는 電磁波動(電波雜音)이 電氣通信裝置 및 system, computer system 등의 각종 전기·전자 system과 人體 等に 영향을 주게 되는 電磁環境 問題를 다루는 分野이다.

EMC/EMI 문제는 첫째로 원하지 않는 전자파동(E-M wave)에 대한 전기·전자 장치 및 system이 가지는 脆弱點(EMV: electro-magnetic vulnerability)과 이들 雜音에 의하여 裝置 및 system이 받게 되는 感應程度(EMS: electro-magnetic susceptibility)를 취급하게 되는 E-M 波 汚染空間內에서 장치의 정상적인 동작내지는 障害가 나타나는 정도를 다루는 것과 둘째로는 이들 장치 및 system이 環境을 E-M波로 汚染시키는 EMI(electro-magnetic interference), EME(electro-magnetic environment) 및 EMP(electro-magnetic pulse) 등의 汚染源으로써의 문제와 셋째는 汚染의 傳達經路가 그들 장치 및 system內에 형성되는 가 아니면 다른 장치 및 system들 相互間에 이루어지는가에 따라 intrasystem 또는 intersystem interference로 區分하여 다루게 된다.

따라서 EMC/EMI는 source, transfer, receptor 등의 EMI links와 이것을 근거로 한 雜音의 모형설정 및 예측을 함으로써 systemic analysis가 가능하게 되며 障害에 대한 device 차원의 防止對策 내지는 법적 조치 및 국정의 제정과 아울러 표준의 설정 등으로 EMC 관리(EMC control)가 가능하며 또한 分析과 管理와는 별도로 空間의 汚染程度를 실제로 測定하는 問題가 주요한 의미를 갖게 되며 管理 및 測定結果를 systemic analysis에 feed-back시켜 system specific 定立이 가능하게 되는 것이다.

본고에서는 EMI源, EMC 예측문제, EML 예측 및 관리문제와 통계학적 모형에 의한 解析等의 EMC 分析 問題들을 서술코저 한다.

II. EMC/EMI 源泉^{(1)-(8),(9-1)}

雜音源(electrical noise source)은 원하지 않는 전자파동이 發生되는 장소, 發生原理, 發生裝置 및 system, 이들 잡음이 장치 및 system에 전달되는 傳達經路 그리고 잡음원이 가지는 周波數 帶域幅과 영향을 받게 되는 장치의 周波數 帶域幅을 比較하여 분류될 수 있다.

잡음원에 대한 정확한 분류는 잡음의 분석과 잡음에 의해 나타나는 障害效果를 쉽게 이해할 수 있고 결과적으로 잡음이 발생되는 emitter측으로부터의 복사전력(emitted power)을 최소한으로 줄이므로서 결과적으로는 receptor 측에서 그 잡음에 대한 EMC control 이 용이하게 된다는 관점에 그 의미를 찾을 수 있기도 하다.

잡음원을 발생장소에 따라 區分하면 内部雜音으로는 device 내의 shot noise, $1/f$ noise thermal noise 등과 같은 自然的인 雜音과 hum 등의 人工的인 것과 外部雜音으로는 大氣雜音, 地球外雜音 등의 자연적인 것과 전기기기, 고주파 이용설비, 전력설비, 무선통신설비 및 핵폭발 등의 인공적인 것으로 나눌 수 있다.

여기서 외부잡음은 시간, 장소 및 계절 등에 달라질 수 있기 때문에 장치 및 system 설계단계에서 예측이 어려운 문제이기도 하다.

잡음이 발생되는 원리에 따라서는 과도현상에 따른 放電, 지속방전, 정전방전 및 직격뢰 등의 放電에 의한 雜音과 금속접촉부의 접촉저항의 변동에 의한 것, 접촉면의 단속에 의한 것, 分極電荷의 fluctuation에 의한 것 및 금속산화물의 정류작용에 의한 것 등의 접

촉잡음과 마이크로폰 잡음, 또 전자적 스위칭 (electronic switching), 고속디지털회로, 전원스위치를 on 상태로 할 때의 돌입전류 및 유도회 등의 과도현상 장애와 상용전원, 무선주파수 장애, 펄스신호 장애 및 불요 방사장애 등의 불필요한 신호에 의한 장애와 프라즈마 잡음 등으로 구별될 수 있다.

잡음이 발생하는 기기와 system에 따른 분류로는 잡음이 발생하는 장소에 따라 분류한 외부잡음에 속하는 人工的인 잡음의 source와 같다.

傳送經路에 따라서는 복사에 의한 장애, 유도장애 및 열적결합에 의한 것 등의 空間傳送到에 의한 것과 상용전원, 신호의 입력선 및 제어선로 등의 전송선로에 의한 導線을 따른 傳送과 접지도선, 유도장애 및 접지잡음 등에 의한 대지, 접지회로에 의한 것 등의 3 가지 경로로 분류된다,

잡음원의 주파수 대역폭 특성에 따라서는 잡음대역폭이 장애를 받게 되는 장치 및 system(receptor)의 front end 주파수 대역폭 보다 작은 경우를 A-級雜音, receptor 전단부의 주파수대역폭이 잡음 주파수 대역폭 보다 클 경우에 B-級 雜音 또 잡음원의 주파수 대역폭이 A-級과 B-級이 합쳐진 형태의 잡음으로 C-級 雜音을 정의하기도 한다.

Ⅲ. EMC/EMI 예측^{(14), (15), (9-6)}

잠재적인 障害電磁波의 발생장치 및 system(interfering transmitter)과 이 장애를 받게 되는 장치 및 system(receiver) 사이의 EMC 문제에 관한 존재의 有無를 결정하기 위하여서는 잠재적인 interfering transmitter의 설계출력과 spurious 출력에 대한 receiver의 susceptibility가 고려되어야 한다.

EMC/EMI 예측에서 고려되어야 할 요소로는 첫째 장비의 설계 및 동작특성과 둘째로는 non-design과 non-operation 특성 등이다.

많은 잠재적인 interfering transmitter에서 특별한 하나의 출력과 표본 receiver 사이에 interference 상황의 존재를 고려하므로써 각각의 transmitter 출력의 크기를 나타낼 수 있다.

특별한 transmitter 출력에 대한 수신기에서의 유용 전력 P_A (dBm)는

$$P_A(f, t, d, p) = P_T(f, t) + C_{TR}(f, t, d, p)$$

이다.

여기서 $P_T(f, t)$: 복사전력 (dBm)

$C_{TR}(f, t, d, p)$: 송수신기 사이의 전송결합 (dBm)

f : 주파수

t : 시간

d : 장치간의 격리거리

p : 복사/수신 장치간의 방향

이다.

수신기 입력단자에서 유용전력과 문제의 주파수에서 수신기가 장애를 받는 입력전력 $P_R(f, t)$ 를 비교하므로써 특별한 송신기 출력에 대한 interference 상황이 판단될 수 있다.

EMC에서 요구되는 것은 수신기에 장애를 일으키는 요구전력 P_R 보다 수신기의 유용전력 P_A 가 작아야 한다는 것이다.

즉, 잠재적인 interfering source로부터 susceptible device에 유입되는 수신 유용전력이 수신장치 및 system의 susceptibility threshold 보다 작을 경우 EMC는 보장된다는 것이다.

따라서 EMC에 대한 조건은

$$P_A(f, t, d, p) < P_R(f, t)$$

일때 공존(양립)이 존재하게 된다는 것이다.

그러나 수신기 입력단자의 유용전력이 수신기에 장애를 일으키는데 필요한 전력과 같거나 수신기 입력단자의 유용전력이 크면 EMI 문제가 존재하게 된다.

$$P_A(f, t, d, p) \geq P_R(f, t)$$

EMI의 예측은 送信裝置내지는 잡음원의 복사이득, 이것에 의해 감응이 되는 receptor의 수신이득과 전송손실 등에 의해 결정된다.

即 source와 receptor 사이의 障害를 포함하는 system 내부 또는 system 상호간의 결합은

$$C_{TR}(f, t, d, p) = G_{TR}(f, t, d, p) - L(f, t, d, p) + G_{RT}(f, t, d, p)$$

이다.

여기서 $G_{TR}(f, t, d, p)$: 잡음원의 복사이득 (dBm)

$L(f, t, d, p)$: 전송손실함수 (dBm)

$G_{RT}(f, t, d, p)$: 수신 이득 (dBm)

이다.

전송결합의 정도는 주파수, 시간, source와 receptor 간의 거리, 복사/수신장치간의 방향에 의한 합수이며 이들 4 종류의 parameter는 EMI 예측문제에서 가장 중요한 기본이 되는 변수이기도 하다.

잠재적인 장애현상 문제는 수신유용전력과 susceptibility threshold 간의 차이를 비교하여 제시될 수 있다.

이것을 interference margin(IM)이라고 하며 다음과 같이 정의한다.

$$IM(f, t, d, p) = P_A(f, t, d, p) - P_R(f, t)$$

이 식에서 IM 값이 positive 이면 잠재적인 interference 문제가 있는 것이며 이 값이 negative 이면 interference 가 일어나지 않는다는 EMC에 대한 예측방정식이기도 하다.

장해효과 마아진(IM) 역시 주파수, 시간, 거리, 복사/수신장치간의 방향 등 4 종류의 기본 독립 변수에 의해 평가되며 이 식의 적용에서는 장치의 종류, 장치의 사용 년한, 유지 보수조건 그리고 계절 등의 수 많은 요소들을 감안해야 하는 것이다.

대부분의 경우 이들 parameter의 영향을 확률로써 기술된다.

장해현상이 일어날 확률이 10% 미만일 경우를 probable compatibility situation 이라고 하고 확률이 98% 이상이 되는 경우를 probable interference situation 또 확률이 50% 내외일 경우를 marginal interference situation 이라고 區分하기도 한다.

IV. EMC/EMI 예측과 관리^[5, 6, 9-3, 9-5]

잡음전압 또는 전류의 진폭을 시간영역에서 시간의 함수로 나타내면 다음과 같이 표시된다.

$$U_n = f(t)$$

윗 식은 전압-시간의 2 차원 공간으로 표시한 것이 잡음의 파형이 된다. 파형에 따라 주기성 잡음, 연속적 불규칙 잡음, 간헐적 또는 펄스잡음 등으로 나누어진다.

F(t)가 주기적이면 fourier 급수로 전개되고 어떤 기본함수와 그 고조파 주파수의 정현파의 합으로 표현된다.

즉, T를 주기와 하면 다음 식과 같이 기본 주파수 $2\pi/T$ 와 그 고조파의 합으로 표시된다.

$$f(t) = \sum_{n=-1}^{\infty} A_n \exp(j2n \pi t/T)$$

$$\text{단 } A_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \exp(-j2\pi n dt/T)$$

또한 주파수 영역에서 f(t)를 주기함수라고 하는 제한없이 일반적인 시간함수라고 할때 그 fourier 변환 F(w) 및 그 역변환 f(t)는 다음 식으로 정의된다.

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \exp(-j wt) dt$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w) \cdot \exp(jwt) dw$$

여기서 F(w)를 f(t)의 frequency spectral 이라고 한다.

스펙트럼이 넓은 주파수 대역에 걸쳐 있는 일정한 크기의 불규칙잡음을 white noise라 한다.

한편 delta 함수 $\delta(t)$ 로 표시되는 impulse spectrum 도 넓은 주파수를 포함하나 그 파형은 아주 다르다.

두 잡음 사이의 차이는 위상 때문이며 impulse 에서는 특정한 시점에 대해서 전체주파수 성분의 위상이 일치하고 있는데 반하여 white noise는 0와 2π 사이에 분포하기 때문이다.

불규칙성 잡음을 다루는 경우에는 진폭의 순시치나 파형보다는 진폭이 특정한 값을 가지는 확률과 그 분포가 중요한 의미를 갖는다.

잡음의 측정에는 시간의 평균을 또한 잡음의 계산에는 집합평균이 사용된다. 불규칙한 잡음중에 포함되어 있는 신호로부터 기본 주기를 꺼내거나 주기를 알고 있는 신호를 잡음신호로부터 알아내는 데에는 상관함수 관계를 사용하기도 한다.

System engineer와 system designer 그리고 사용자가 유용하게 이용할 수 있는 EMC control 기술은 frequency management, time management, location management, direction management 등으로 구분된다.

첫번째의 frequency management에서는 송신기의 경우에 대하여서는 modulation bandwidth, pulse rise and fall time, harmonic filter, frequency allocation and assignment 등의 것이 고려되어야 하고 수신기의 경우에 대해서는 pulse selector, filter, correlator 등의 control이 필요하다.

둘째의 time management의 경우는 "stop-talk" management, time-sharing criteria, on-the-air assignment, radar pulse synchronization, time/range gate 등의 것이 있다.

셋째, location management의 경우는 seperation distance, position과 attitude, natural terrain shielding, line of site masking 등의 control이 있다.

끝으로 directional management의 경우는 azimuth use criteria and assignment, sector blanking, elevation use, antenna space filter, polarization 등이 고려되어야 하는 것이다.

V. EMC/EMI의 통계학적 모형과 해석^{[10]-[14], [16]}

원하는 신호 s(t)와 장애신호 i(t)를 random process로부터 sample 함수로 취급한다. 이들의 평균전력을 random variable S와 I로 표시하는데 이 S와 I는 각각 확률밀도함수 $f_s(s)$ 와 $f_i(i)$ 로 특성지워진다. 또 장치는 susceptibility level L을 갖는 불규칙적으로 분포

되어 있는 집합의 sample로 취급된다.

장해신호 $i(t)$ 의 평균전력이 감응레벨 L 보다 작으면 EMC 현상이 존재하는 것이며, 반대의 경우에 EMI 현상이 나타난다.

일반적으로 susceptibility level은 원하는 신호의 평균전력의 함수이다.

$F_{L/s}(\ell/s)$ 로 표시되는 conditional cumulative distribution function(CDF)에 의해 주어진 $S=s$ 와 L 이 주어진다.

일반적으로 L 의 조건부 CDF를 이론적으로 결정하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 측정을 통해서 실험적으로 얻는 것이 가능하다.

원하는 신호와 장해신호의 평균전력을 알고 있다고 가정하고 $S=s, I=i$ 일 경우 susceptibility level이 장해신호의 평균전력 보다 작을 때 EMI 현상이 나타난다. 그러므로

$$F_{L/s}(i/s) = P[L \leq i/s]$$

는 주어진 원하는 신호와 장해신호의 평균전력에 대한 EMI의 조건부 확률이다.

또 susceptibility level이 장해신호의 평균전력 보다 클 경우 EMC 현상이 존재하게 된다.

$$P[L > i/s] = 1 - F_{L/s}(i/s)$$

주어진 신호와 interference EMC 확률함수는

$$C_{I/s}(i/s) = 1 - F_{L/s}(i/s)$$

와 같이 정의된다.

원하는 신호와 장해신호의 평균전력을 알고 있는데 주어진 신호와 장해신호의 EMI와 EMC 확률함수를 적용할 수 있다.

불규칙한 전자환경 내에서 장비가 동작될 때는 random variable S 와 I 를 알 수 없다. 알려지지 않은 불규칙한 양에 대해서 집합평균을 취함으로써 유용한 결과를 얻을 수 있다. 예를 들어 $S=s$ 이고 I 는 알 수 없는 경우를 고려하면 가능한 값 I 에 대한 주어진 신호와 interference EMC 확률 $C_{I/s}(i/s)$ 평균을 취하면 그 결과는 다음과 같다.

$$C_s(s) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{I/s}(i/s) F_I(i) di$$

감응레벨 L 의 조건부 확률밀도 함수는 ℓ 에 관하여 조건부 확률 $F_{L/s}(\ell/s)$ 를 미분하여 얻을 수 있는 $f_{L/s}(\ell/s)$ 로 표시된다.

$$C_{I/s}(i/s) = P[L > i/s] = \int_{-\infty}^{\infty} f_{L/s}(\ell/s) d\ell$$

이기 때문에 $C_s(s)$ 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$C_s(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{L/s}(\ell/s) F_I(i) d\ell di$$

$C_s(s)$ 를 주어진 신호에 대한 EMC 확률함수라 한다. $S=s$ 로 주어졌을 때 $C_s(s)$ 는 알려지지 않은 장해신호의 평균전력의 모든 가능한 값이 평균으로 구해진 다.

S 를 알 수 없고 $I=i$ 인 경우 S 의 모든 가능한 값에 대한 주어진 신호와 interference 확률함수 $C_{I/s}(i/s)$ 의 평균 $C_I(i)$ 는

$$C_I(i) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{I/s}(i/s) f_s(s) ds$$

이고, 이 식에 $C_{I/s}(i/s)$ 의 식을 대입하면

$$\begin{aligned} C_I(i) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{L/s}(\ell/s) f_s(s) d\ell ds \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{L,s}(\ell, s) d\ell ds \end{aligned}$$

가 된다.

$f_{L,s}(\ell, s)$ 는 random variable L 과 S 의 joint probability density function이다.

$I=i$ 로 주어졌을 때 주어진 장해 EMC 확률함수 $C_I(i)$ 는 알려지지 않은 원하는 신호의 평균전력의 가능한 모든 값의 평균에 의해 구해진다.

S 와 I 를 모두 알 수 없는 경우에는 S 와 I 의 가능한 모든 값에 대해서 주어진 신호와 interference 확률함수 $C_{I/s}(i/s)$ 의 평균을 취하면

$$C = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C_{I/s}(i/s) f_{s,I}(s, i) ds di$$

가 되고 $f_{s,I}(s, i)$ 는 random variable S 와 I 의 joint probability density function이다.

전형적으로 S 와 I 는 통계적으로 독립이다. 따라서 S 와 I 의 joint probability density는

$$f_{s,I}(s, i) = f_s(s) f_I(i)$$

이다.

$C_{I/s}(i/s)$ 와 $f_{s,I}(s, i)$ 를 S 와 I 를 모두 알 수 없는 경우의 C 식에 대입하면

$$\begin{aligned} C &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{L/s}(\ell/s) f_s(s) f_I(i) d\ell ds di \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{L,s}(\ell, s) F_I(i) d\ell ds di \end{aligned}$$

가 되며 C 를 EMC 확률이라고 한다. 즉 알려지지 않

은 원하는 신호와 장애신호의 평균전력의 가능한 모든 값에 대한 평균을 취함으로써 EMC 확률이 구해지는 것이다.

VI. 전기적 인공잡음의 일반모형^(11, 15, 9-2)

인공잡음 또는 random fluctuation에 의한 잡음의 발생원의 종류에는 앞에서 서술한 바와 같이 여러가지가 있다. 그러나 이러한 여러 종류의 잡음발생 기구는 물리적 관점에서 볼때 서로 완전히 다르지 않으며 어떠한 공통되는 특징을 가지고 있다.

이 공통이 되는 특징의 기본 개념은 전위가 서로 다른 두전위 면에서 전자군의 흐름(movement, jump, acceleration 등)에 따라 random할 impulse군(random time, random amplitude, random number distribution 등의 impulse군)을 발생시키므로써 이 impulse군의 E-M energy가 도체를 통하여 전도 되거나 또는 공간으로 복사되어 잡음이 되는 것이다.

이러한 기본개념을 바탕으로 했을 때 거의 모든 인공잡음의 일반적인 model을 만드는 것이 가능하게 되며 또한 미지의 잡음원에 관한 예측도 가능하게 된다.

임의의 거리 d만큼 떨어진 두 전위면 사이에서 전자군이 이동하는데 걸리는 시간을 transit time τ 라 하면 진공중에서 τ 는

$$\tau = \sqrt{\frac{m}{2eA}} d$$

이며, 여기서

- m : 전자의 질량
- e : 전자의 전하량
- A : 두 전위면 사이의 전위차
- d : 두 전위면 사이의 거리

또 이 식은 진공이 아닌 곳에서도 사용되고 있다.

Transit time τ 로 두 전위면 사이를 전자가 random한 impulse 군으로 이동할 때 E-M 에너지 복사가 일어나고 있는 경우에 interruption signal이 가해진다면 E-M 에너지는 interruption signal의 주기 T를 주기로 평균진폭 A로 random 하게 변화하는 impulse 군을 pulse duration T_p 동안만 발생시키게 될 것이다.

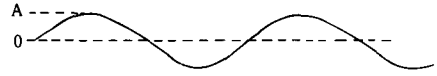
이것이 가장 일반화된 잡음신호의 model이며 각종 인공잡음의 model을 만드는 데는 각각에 따라 이 model 신호를 적절히 조절하므로써 가능하게 된다. 이 경우 조절요소로는 다음과 같은 것이 있다.

- 첫째, impulse군 발생시간 T_p 의 조정($T_p \pm dT_p$)
- 둘째, transit time(rise time) τ 의 조정($\tau \pm d\tau$)

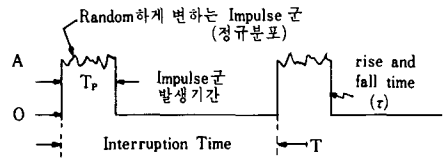
세째, interruption signal 주기 T의 조정($T \pm dT$)

네째, 평균진폭 A의 조정

여기서 잡음을 modeling한다는 관점에서 조정이라고 언급하였으나 잡음신호 자체가 random하기 때문에 필연적인 변화분 dT_p , $d\tau$, dT , dA 라고 보는 것이 타당할 것이다.



(a) Interruption signal



(b) 인공 잡음 신호

그림 1. Interruption signal과 인공 잡음 신호.

일반 상용 잡음 측정용 수신기, 더욱 광범위하게 말하자면 잡음에 의해 장애를 받는 모든 장치나 system을 잡음 장애 receptor로 정의하면 이 receptor는 장치나 system에 따라, 그리고 주 장애원이 되는 잡음의 성질에 따라 장애 효과 및 해석 방법이 틀려질 것이다. 이러한 차이를 극복하고 가장 일반화된 해석을 하기 위해서는 주 장애 원인이 되는 잡음 신호 특성에 따른 일반적인 model의 분류와 receptor의 기본 model을 만들 필요가 있다.

먼저 잡음 신호 model을 만들기 위해서는 앞에서 설명하였듯이 dT_p , $d\tau$, dT , dA 값의 조절에 의해 가능하며, 가장 일반화된 식은 다음과 같다.

$$\nu = \sum_{n=1}^{\infty} \nu(N)$$

여기서 N는 interval 순서에 따른 정수이며, $\nu(N)$ 는 각 interval별 출력 잡음 신호이다.

실제 문제에서 이 model을 사용하기 위해서는 한정된 수의 time interval이 결정되어야 하며, 이것은 대역폭 B, 펄스폭 T_p , interruption signal의 주기 T의 상관 관계에 따라 변하게 된다. B, T_p , T의 관계에 따라 (1) B가 $1/T_p$ 보다 큰 경우, (2) B가 $1/T_p$ 보다는 크고 $1/T$ 보다는 작은 경우, (3) B가 $1/T$ 보다 작은 경우의 3 가지 경우를 생각할 수 있으며 각각의 경우에 대한 출력 잡음 전압 신호의 peak, rms, average 값은 각각 다른 특성을 가지게 된다.

다음에 만들어져야 할 model은 receptor의 기본 model이다. 모든 receptor는 단일 동조 RLC 회로와는 달리 많은 RLC 회로(다단 RLC 회로)로 구성되어 있기 때문에 각각의 receptor에서의 대역별 잡음 특성과 해석 방법 또한 차이가 있게 된다. 이러한 차이를 극복하고 가장 일반화된 해석을 하기 위해서는 단일 동조 RLC 회로를 기본 model로 사용한다.

즉, 3dB 대역폭 B를 가진 단일 동조 RLC 회로의 임출력에서 잡음신호의 peak, rms, average 값을 대역폭 B의 함수로 결정한 후 임의의 다른 대역폭에서의 출력 peak, rms, average 값을 계산할 수 있으므로, 앞에서 분류한 잡음 신호의 특성에 따라 3dB 대역폭 출력 peak, rms, average 값을 구해낸다.

다음에, 실제 receptor에서의 3dB 대역폭 잡음 출력전압 측정치를 구해 앞의 단일 동조 RLC 회로의 출력 계산치와 비교한 후, 다른 대역폭에서의 receptor의 잡음 출력전압값을 계산해 낼 수 있게 된다.

결론적으로 임의의 장치나 system에서 다만 3dB에 해당되는 대역폭 내의 잡음을 측정하여 얻은 결과를 이용하여 그 장치나 system의 다른 대역폭에서의 잡음(출력 잡음 전압 신호의 peak, rms, average 값)에 의한 영향을 계산할 수 있고 이에 따라 EMC/EMI 효과를 예측할 수 있게 된다는 것이다.

參 考 文 獻

- [1] Aldert Van Der Ziel, "Noise-sources, Characterization Measurement," Prentice-Hall, Inc.
- [2] Wilhelm Rotkiewicz, "Electromagnetic Compatibility in Radio Engineering," Elsevier Scientific Publishing Company.
- [3] Heinz M. Schlicke, "Electromagnetic Compossibility," Marcel Dekker, Inc.
- [4] Yamasaki Hirou 외 3人, "電子回路のノイズ技術", 오ーム社.
- [5] Ito Kenich, "アースと雑音", 日刊工業新聞社.
- [6] Yasou Seki, "環境電磁工學".
- [7] Araki Tshuneo, "電磁妨害と防止対策", 東京電機大學出版局.
- [8] Michel Mardiguian, "How to Control Electrical Noise," Don White Consultants, Inc.
- [9] Donald R.J. White, "EMC Handbook", Don White Consultants, Inc.
- [9-1] Vol. I: Electrical Noise and EMI Specification.
- [9-2] Vol. 2: EMI Test Methods and Procedures.
- [9-3] Vol. 3: EMI Control Methods and Techniques
- [9-4] Vol. 4: EMI Test Instrumentation and Systems.
- [9-5] Vol. 5: EMI Prediction and Analysis Techniques.
- [9-6] Vol. 6: EMI Specifications, Standards and Regulations.
- [10] Abner Ephreth, Donald Weiner, Gerard Capraro, Carmen Paludi, "A probabilistic approach to EMC modeling and analysis", IEEE EMC Symposium, pp. 81-84, 1982.
- [11] Harry Martin, "A Generalized Model of Man Made Electrical Noise", IEEE EMC Symposium, pp. 347-357, 1978.
- [12] David Middleton, "Statistical models of electromagnetic interference", IEEE, vol. EMC-19, no. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.
- [13] Charles W. Stuckey, James C. Toler, "Statistical determination of electromagnetic compatibility", IEEE, vol. EMC-9, no. 2, pp. 27-34, Sep. 1967.
- [14] Akira Ishimaru, "A Statistical Model of Electromagnetic Interference", IEEE EMC Symposium, pp. 380-384, 1980.
- [15] K. Furutsu, T. Ishida, "On the theory of amplitude distribution of impulsive random noise", Journal of Applied Physics vol. 32, no. 7, pp. 1206-1221, July 1961.
- [16] David Middleton, "Procedures for determining the parameters of the first-order canonical models of class A and class B electromagnetic", IEEE, vol. EMC-21, no. 3, pp. 190-208, Aug. 1979. *