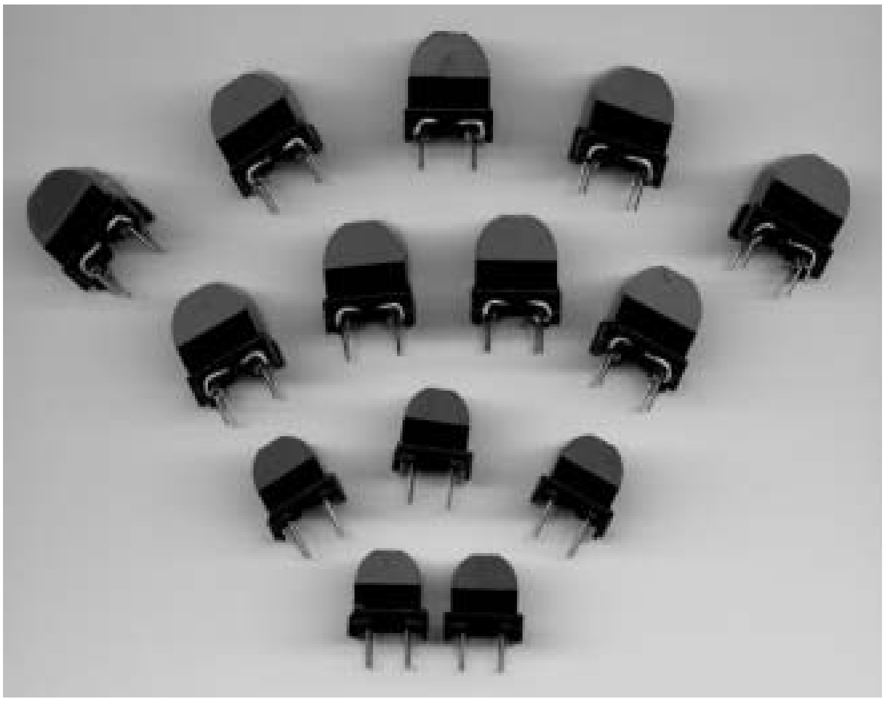
Vol:12 (Rev.0)

관리번호	

Digital 앰프와 LPF용 Inductor EPS시리즈

(Digital Audio전용 Low Pass Filter Inductor)



KCE

KCE
Korea Coil Engineering Co.,Ltd
Tel:+82-2-974-7034
Fax:+82-2-974-7345

目次

제1장:Digital 앰프의 탄생

1-1:Audio기기에도 Switching기술이 도입되다.

①고성능의 Switching기술

우리들의 생활은 대량생산,대량폐기라는 형태에서 지구환경에 부하를 가능한 저감시키는 순환형사회(循環型社會)로 이행되어지고 있다.
이러한 사회환경때문에 省에너지와 고성능이 양립하는 기술이 요구되어 지고 있다.
그러한 기술의 하나로서 스위칭이라고 하는 기술이 현재 주목되어지고 있다.
Audio의 대세인 Digital 앰프에도 이 기술이 사용되어진다.
에어콘,냉장고,세탁기,조명기구등의 가정전기제품에서부터 하이브리드 자동차에 이르기까지 우리들의 생활에서는 없어서는 않되는 기술로 자리잡고 있다.

②소형경량 과 대출력의 양립

산업분야에서 소비되어지는 전력의 대부분은 전차 및 공장에서 사용되는 거대한 모터를 구동하기 위하여 사용된다고 한다.
이 분야의 전력효율을 올리는것은 이전부터 중요한 과제였기 때문에 일찍부터 스위칭기술이 도입되어졌다.
전자회로 분야에서도 비교적 큰 전류를 취급하는 분야에서는 이 기술이 도입되어졌다
스위칭 기술의 힘을 유감없이 발휘하는 분야는 모든 전자기기에 사용되어지고 있는 스위칭전원이다.
특히 PC에 탑재되어 있는 고속의 마이크로 프로세서에 대전류를 공급하는 전원에는 필수적인 기술이다.
스위칭 전원을 사용하므로서 전력의 사용효율이 올라갈뿐만 아니라 큰 방열기 및 냉각팬에서 해방되어진다.
이러한 스위칭 기술을 사용하면 고효율의 전력을 이용할 수 있기 때문에 *소형경량화*와 *대출력*을 양립할 수있다.
이러한 배경중에 스피커를 구동하기 위한 Audio용 AMP에도 스위칭 기술이 이용되어지게 되었다.

1-2:Digital 앰프의 가능성은 무한

①Audio기기의 스위칭화

처음에는 큰 전원트랜스와 전해 Capacitor를 사용한 Power 앰프용의 전원을 스위칭 전원으로의 교체가 시작되었는데 큰 효율 개선은 되지 않았지만 소형경량화하는 길은 열렸다.
이것과 병행하여 Portable의 CD Player 및 MD Player,휴대전화,Note PC등의 음성 Interface를 가진 휴대기기가 폭발적으로 보급되었다.
휴대기기는 소형경량이어야 함은 물론이고 전지를 가능한 오래 사용하는것이 강하게 요구되어진다.

따라서 기기중에서도 전력 소비가 큰 Power 앰프의 고효율화가 과제가 된다. 여기에 등장한 것이 전원뿐만 아니고 앰프의 증폭회로 자체에도 스위칭 기술이 도입된 것이 Digital 앰프이다.

Digital 앰프는 Audio출력이 적은 Note PC등의 휴대용 기기에서 본격적으로 사용되어지기 시작하였다

현재는 100W의 대출력 앰프를 8채널분이나 내장한 홈-시어터용의 AV시스템에도 탑제되는것이 증가하고 있다.

DVD 소프트의 폭발장면에서 몸이 동요할 정도의 저음을 재생하는 Sub-Woofer의 앰프부는 Digital 앰프가 적합하다.

발열을 허용하지 않는 밀폐된 통을 사용하면서 수백W의 큰 출력을 내어야 하기 때문이다.

②음을 취급하는 모든 시스템은 Digital화 된다.

종래의 Analogue 앰프와 Digital 앰프를 비교하면 그 장점은 일목요연하다. 지금부터는 Digital 앰프의 시대이다.그러나 Digital 앰프가 모든면에서 우수한것은 아니다.

Digital 앰프의 가장 큰 약점은 노이즈(Noise)이다.

앰프의 내부에서 큰전류의 흐름을 ON/OFF하기 때문에 출력단자 및 전원, 주위의 공간으로 노이즈가 방산되어진다.

Digital 앰프의 설계에는 어떻게 노이즈를 줄이는가가 열쇠이다.

이후 Digital 앰프는 노이즈라는 약점을 극복하여 휴대기기뿐만 아니라 방송기기 및 옥외용의 대음향 SR(Sound Reinforcement)시스템까지 음이 필요한 모든 기기에 사용되어질것이다.

제2장:Digital 앰프의 개요

Digital 앰프는 불필요한 전력을 소비하지 않고 신호를 증폭하는 스위칭 기술을 이용한 증폭기이다.

종래의 Analogue 앰프와 비교하면서 그 동작과 기술에 대해 기술한다.

2-1:Analogue 앰프와의 차이

①Linear 증폭과 스위칭 증폭

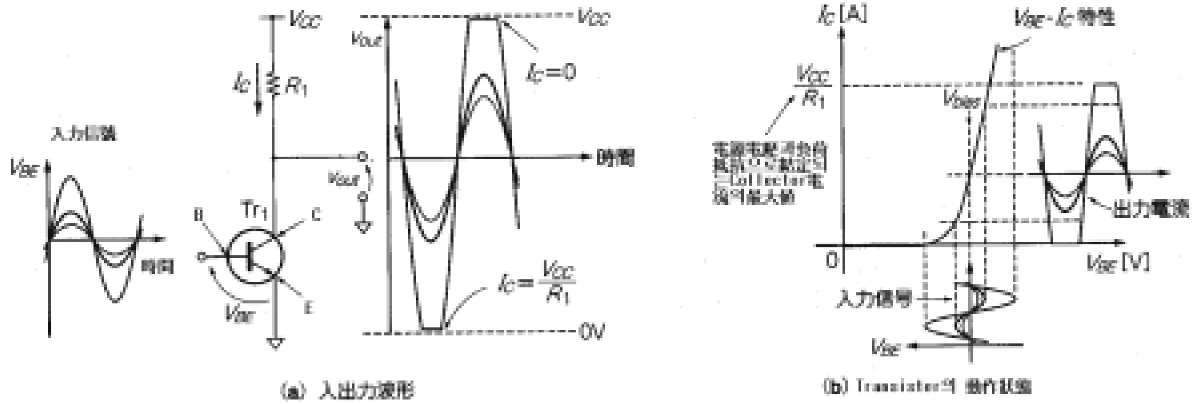
<그림1>,<그림2>는 Analogue 앰프와 Digital 앰프의 원리를 나타낸것이다. 두 회로는 모두 1개의 TR을 사용한 동일한 증폭회로이다.

<그림1>에서는 정현파상의 신호가 입력되고 있지만 <그림2>에서는 방형파상의 신호가 입력되어지고 있다.

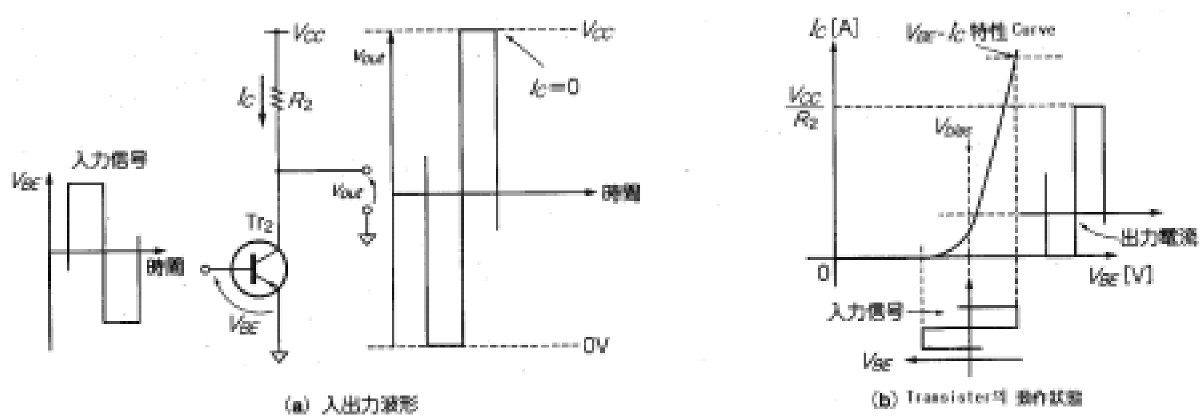
★Analogue 앰프의 출력단은 Linear증폭 동작을 하고 있다.

<그림1(a)>의 회로에서는 전압치가 다른 정현파 신호가 Base에 가해지고 있다.<그림1(b)>를 보면 Base에 정현파 신호를 인가하면 TR의 V_{BE}-I_E특성에 따라 출력전류 I_C가 변화하는것을 알 수 있다.콜렉트 전류의 변화는 저항 R_1양단의 전압의 변화로 되어 나타난다.

<그림1>Analogue AMP는 Linear增幅 動作하고 있다



<그림2>Digital AMP의 出力段은 Switching動作을 한다.



단 입력신호와는 위상이 반전한다.입력신호의 레벨이 어느정도 작은 경우는 입력신호 파형과 출력신호 파형이 같은 정현파이다.

이러한 증폭동작을 Linear 증폭동작이라고 한다.

종래의 Analogue 앰프에 사용되고 있는 TR(트랜지스터)은 이러한 입력 신호와 유사한 파형을 증폭하여 출력시키는 동작을 한다.

★Digital 앰프의 출력단은 스위칭 동작을 한다.

<그림1>에 있어서 입력신호의 전압을 크게하여 가면 출력파형이 클립프하기 시작한다.클립프 되어 있는 기간의 출력전압은 전원전압(V_{CC})혹은 GND(0V)중 하나이다.더욱더 입력전압을 높이면 TR은 스위치와 같은 동작이 되어 입력신호는 정현파이지만 출력신호는 최고전압이 V_{CC},최저전압이 0V의 방형파에 가깝다.

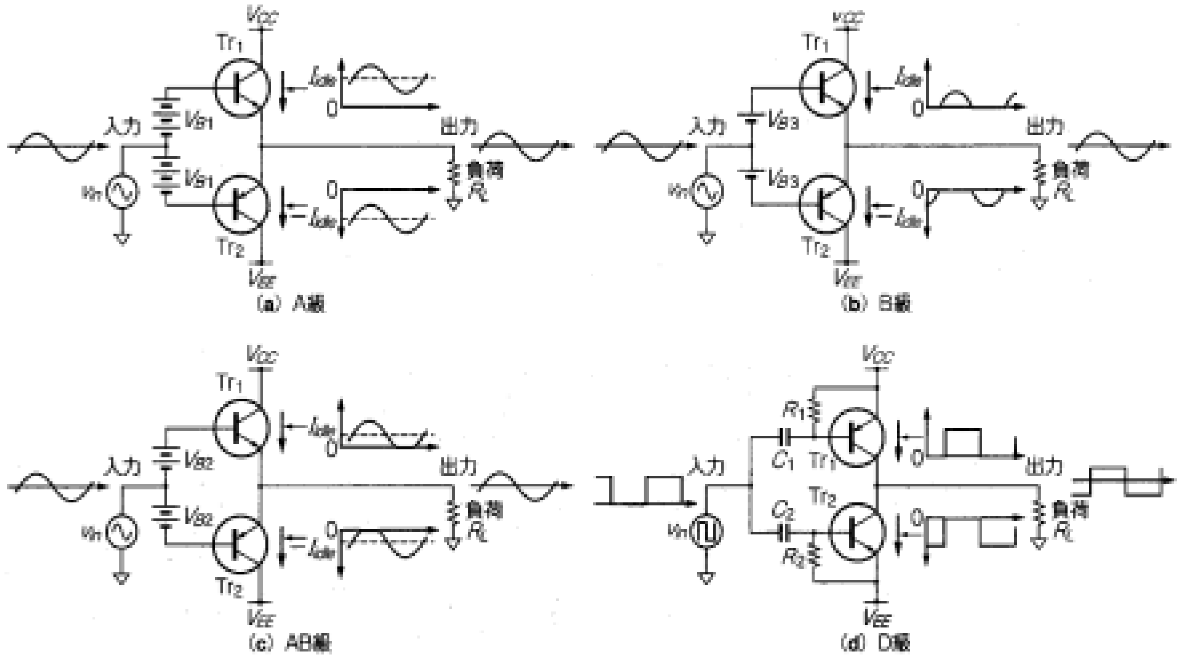
Digital 앰프의 출력단에 있는 TR은 향상 이와 같이 클립프하여 동작하고 있다.실제의 Digital 앰프의 출력단에는 깨끗한 방형파를 출력하는것이 요구되므로 펄스상의 신호를 입력하여 TR을 스위칭 구동시키고 있다.

이렇게 하므로 하여 출력신호전압의 천이(遷移)시간,즉 상승시간 및 하강 시간을 짧게하여 이상적인 펄스파형에 가깝게 하고 있다.

②앰프는 출력단의 동작에 의해 분류된다.

증폭회로는 그 출력단의 형태 및 동작에 의해 몇개의 방식으로 분류된다.

<그림3>Amp의 출력단은 동작에 의해 분류된다



그 대표적인것이 A급,AB급,B급,D급이다.<그림3>에 그 차이를 나타내었다.
그림에서 알 수 있듯이 D급 이외는 같은 회로로서 Analogue 앰프에 많이 사용되어지고 있다.
각각 바이어스(Bias)전류의 크기에 의해 분류되어지고 있다.

★A급(<그림3(a)>)

무신호시에도 최대출력시의 1/2의 바이어스 전류 I_{idle}가 흐르고 있다.
각 출력TR의 베이스-에미터 간에는 향상 바이어스 전압(V_{B1})이 가해지고 있다.찌그러짐(Distortion)은 적지만 무효전류가 크기 때문에 효율이 낮은 방식이다.발열도 매우 높아 큰 전력 증폭기에서는 큰 방열판으로 전력소자를 방열할 필요가 있다.

★B급(<그림3(b)>)

무신호시에는 바이어스 전류가 0A가 되도록 동작한다.각 TR의 출력전류는 1/2주기간에 0로 된다.
바이어스 전압 V_{B3}가 가해지고 있지만 그 크기가 0.3~0.4V정도이기 때문에 무부하시의 바이어스 전류가 0A가 되는 동작이다.
이러한 동작은 무신호시에 무효전류가 흐르지 않기 때문에 효율은 좋아 보이지만 출력신호가 0V부근을 통과할 때 상하의 TR이 OFF하기 때문에 큰 찌그러짐(Crossover Distortion이라 함)이 발생한다.

★AB급(<그림3(c)>)

A급의 저 Distortion특성과 B급의 고효율 특성을 양립시키기 위하여 무신호시에 바이어스 전류를 조금(25mA~50mA정도)만 흘리는 방식이다.
0.6V정도의 바이어스 전압을 베이스-에미터간에 가한다.
이렇게 하므로서 입력신호가 0V이더라도 콜렉터 전류는 흐른다.

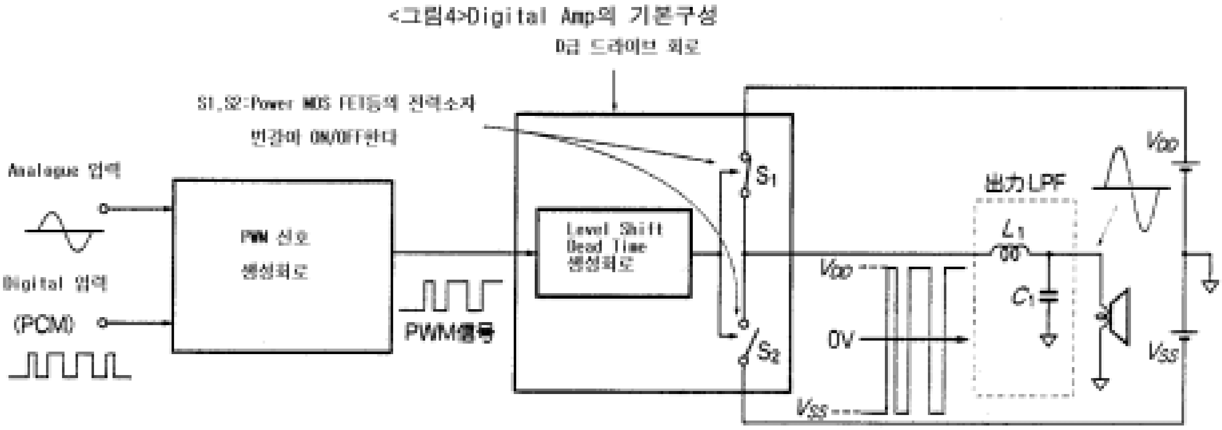
입력신호가 0V이상으로 상승하면 Tr_1의 콜렉터 전류가 증대하여 Tr_2가 서서히 OFF한다.
입력전압이 0V이하로 되면 Tr_1이 서서히 OFF한다.
부하에 흐르는 전류는 상하의 출력전류를 합성한 것이다. B급 정도는 아니지만 Crossover 찌그러짐이 생긴다.또 A급에 비해서 무신호시의 발열은 줄지만 출력에 따르는 발열이 적지는 않다.AB급의 Power 앰프에서는 역시 큰 방열판이 필요하다.

★D급(<그림3(d)>)

출력단의 TR이 스위치처럼 ON/OFF의 동작을 한다.
펄스상의 입력신호가 베이스에 가해져 출력전류는 0A에서 최대치(V_{CC}/R_L)까지 증감한다.
스위치 ON시에는 최대전류가 TR을 통과하지만 이때의 콜렉터-에미터 간의 저항은 매우 적어서 원리적인 손실은 제로이다.
스위치 OFF시는 전류가 흐르지 않기 때문에 역시 손실은 제로이다.
이와 같이 D급 출력단은 손실이 매우 적은 특징이 있다.
Digital 앰프는 이런 형의 출력단을 채용하여 고효율을 실현하고 있다.

③Digital 앰프의 출력단은 D급

<그림4>에 일반적인 Digital 앰프의 출력단의 기본구성을 나타내었다.



D급이라는것은 출력단의 동작 급을 말하는것이고 Aduio에 한정되지 않으며 모든 스위칭 동작에 의한 앰프를 의미한다.
IEC 국제표준 IEC60268-3의 19page에는 4Classes of operation에는 Class A,Class B,Class AB,Class D의 4종류의 동작 급이 정의 되어 있다.
이 중에서 Class D는
"in which the current in each active device supplying the load is switched from zero to a maximum value by a carrier signal, modulation of which conveys the useful signal"
즉 입력의 Analogue,Digital에 관계없이,또 내부의 신호처리에도 관계없이

Class(동작급)는 최후의 출력단의 방식으로 정해진다.

④Digital 앰프는 D급 앰프의 일종

예전에 [Digital audio interface 입력+Analogue power AMP]형식의 앰프가 있었는데 이것은 Digital 앰프라고 하지 않는다.

상기의 D급 정의에서도 알 수 있듯이 『D급 앰프』는 매우 범위가 넓은 단어이다.

Motor를 회전시키는 인버터도 D급 앰프라고 할 수 있다.

Audio 업계에서는 이 D급 출력단의 동작이 Digital 회로의 ON/OFF동작과 같기 때문에 친근한 명칭으로서 Digital 앰프가 일반화 된것 같다.

2-2:Analogue 앰프 대비 Digital 앰프의 장단점

①장점:소형,경량,고효율의 3박자.

Digital 앰프는 스위칭 동작에 의해 고효율의 전력 변환이 가능하다.

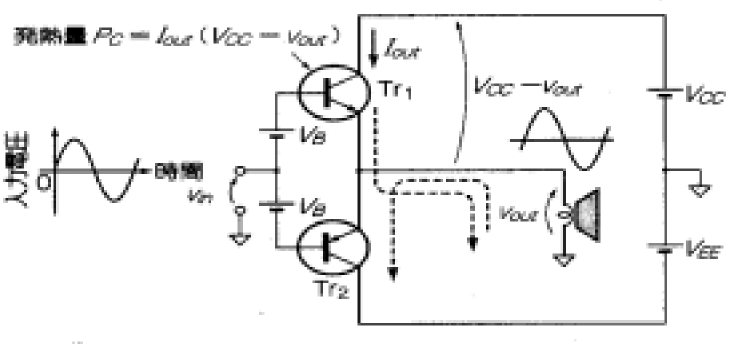
전력손실이 적기 때문에 발열이 적어서 음악 재생시는 Analogue 앰프의 1/5 정도이다.

그 결과 방열기가 소형화 될뿐만 아니라 전원회로의 용량도 줄일 수 있다.

Power 앰프부 및 전원부를 소형, 경량으로 구성하므로서 외관 디자인에 큰 자유도가 주어진다.

최근 유행의 홈-시어터용의 다 채널의 Hi-Power 앰프가 박형으로 스마트한 케이스에 조립되어져 있다.

<그림5>AB급 Amp 출력단의 동작



<그림5>는 종래의 AB급의 앰프 출력단이다.출력단 TR에는 전원전압과 출력전압의 차이 전압(V_{CC}-V_{OUT})이 가해진 상태에서 출력전류가 흐른다.

그 결과 (V_{CC}-V_{OUT})i_{OUT}의 손실이 반드시 생긴다.

이에 비해 <그림4>에서는 원리적으로 발열하지 않는 스위치로서 출력전류를 제어하고 있기 때문에 발열량에 차이가 있음을 알 수 가 있다.

단 Power-MOSFET등의 반도체 소자는 ON시의 저항이 제로라고 할 수는

없기 때문에 손실이 발생한다. 또 ON에서 OFF로 천이하는 순간에도 손실이 발생한다.종래의 Analogue 앰프에 비교하여 Digital 앰프의 효율은 매우 높지만은 아직 개선의 여지는 많이 있다.

②단점

★전원의 전압변동 및 노이즈에 약하다.

D급 출력단이 정상적으로 동작하여도 전원의 전압변동 및 노이즈가 있으면 그대로 전부 파형의 찌그러짐(Distortion)으로 되어 출력되어진다.

정전압 전원으로 하던지 앰프에 부귀환(負歸還)을 거는 등의 고음질화 대책이 필요하게 된다.

★고주파 노이즈가 크다.

D급 출력단에는 매우 큰 전류를 ON/OFF하기 때문에 큰 노이즈가 방사되어진다.특히 AM 라디오에는 심각한 방해를 준다.실장시에 주의하여야 함은 물론이고 출력 LPF(Low Pass Filter)의 Inductor에 자기차폐를 하는것을 검토하여야 한다.

③Digital 앰프는 고주파 Analogue회로이다.

종래의 Analogue 앰프와 비교하여 Digital 앰프는 Power-스위칭 회로부의 실장에 세심한 주의가 요구되어진다.마이콘 혹은 PLD을 사용한 Digital 회로 설계의 경우와 같이 연결하면 OK라는 감각으로는 불가능하다.

고주파,고속 Analogue회로의 지식이 필수이다.

Digital 앰프의 실장상의 포인트를 정리하면

★Power-스위칭 전류의 루프는 전원의 Pass-Capacitor,출력 LPF까지 포함하여 굵게 짧게 하는것이 기본.

전원 Pass-Capacitor는 수mm 이동한것 만으로도 스위칭 파형이 변화한다.

스위칭 파형의 조그마한 흐트러짐도 Distortion 및 잡음의 원인이 된다.

★Logic 회로부와 D급 출력단의 Return 전류를 공통의 배선으로 흘려서는 않된다.

고속 Power-스위칭 전류는 di/dt가 매우 크기 때문에 Return 전류가 흐르는 배선에 Inductance성분(Inductor의 성분)이 있으면 큰 스파이크 전압이 발생한다.이것은 Logic회로의 오동작 및 파괴로 연결된다.

2-3:D급 출력단의 기본적인 구성

여기서는 <그림4>에 나타낸 Digital 앰프를 구성하는 회로에 대해서 간단히 설명한다.

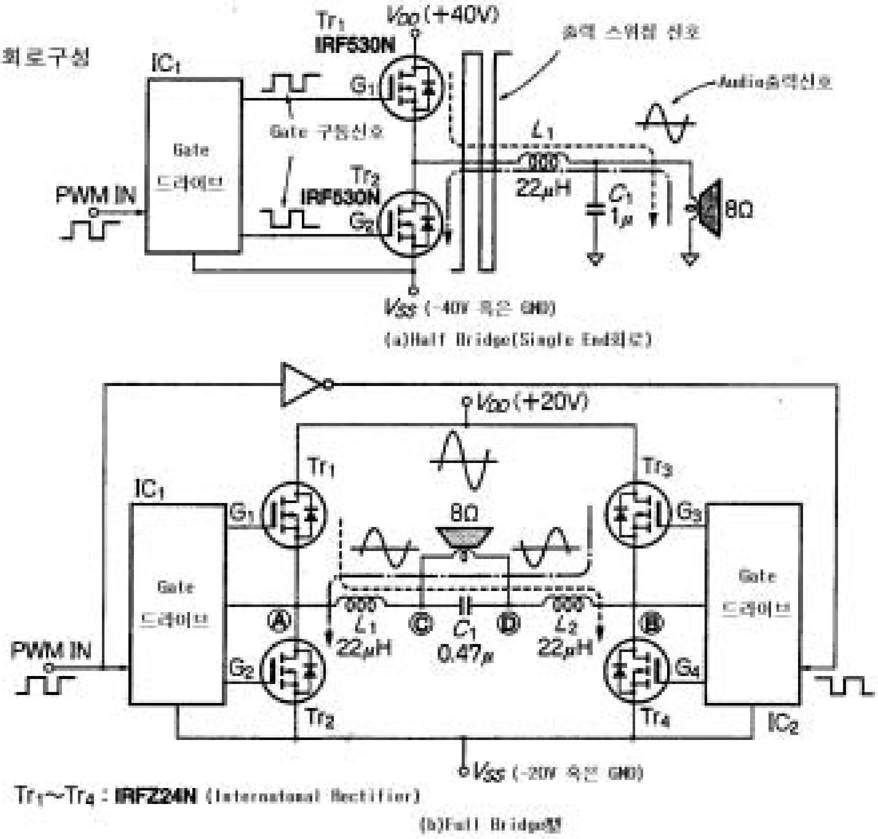
①D급 출력단

부하전류를 ON/OFF 제어하는 Power-스위칭 회로이다.

<그림6>에서와 같이 Half Bridge형(Single-End형)과 Half Bridge를 두개 조합한 Full Bridge형이 있다.

스위칭 소자로서는 Power-MOSFET가 사용되어진다.

<그림6>D급 출력단의 대표적인 회로구성



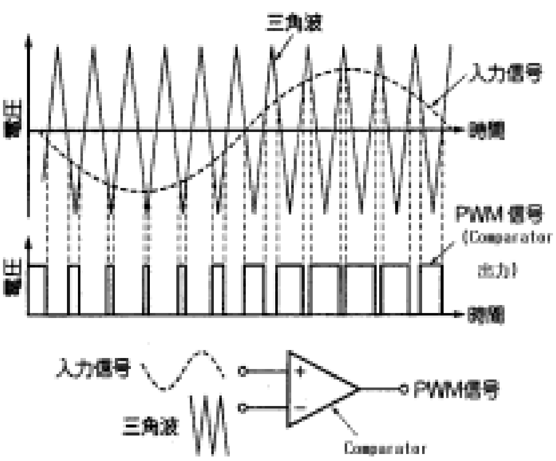
Power-MOSFET를 사용하는 방법으로는 P채널형과 N채널형을 조합한 컴플리멘터리(Complementary)형과 N체널만으로 구성하는 타입이 있다.
현시점에서는 N채널만으로 구성하는 타입이 많은것 같다.
앰프의 최대출력은 이 단에 공급하는 공급전원전압과 최대변조도로 결정된다.<그림6(b)>의 Full Bridge형의 A,B점의 스위칭 Carrier는 일반적으로 역위상이면서 동일한 주파수라는 관계가 있다.
C,D신호는 서로 역위상이다.Speaker에는 양자를 합성한 신호가 출력되어 점C 혹은 점D의 2배이다.동일전압이면 Full Bridge방식이 2배의 출력전압이 출력된다.따라서 4배의 출력을 취할 수 있다.
전원공급의 방식은 단전원 과 양전원 어느쪽도 가능하지만 단전원으로 Half Bridge형을 동작시키는 경우는 전원전압의 1/2의 직류전압이 출력되어지기 때문에 Speaker와 D급 출력단의 사이에 직류전압을 저지하는 대용량의 전해 Capacitor가 필요하다.
단전원 공급의 Full Bridge 방식은 C,D점에 전원전압의 1/2의 직류전압이 생기지만 C,D점의 차분(差分)전압이 가해지는 Speaker에는 직류전압은 중첩되어 지지 않기 때문에 직류 저지용 Capacitor는 필요하지 않다.

②PWM신호 생성 회로

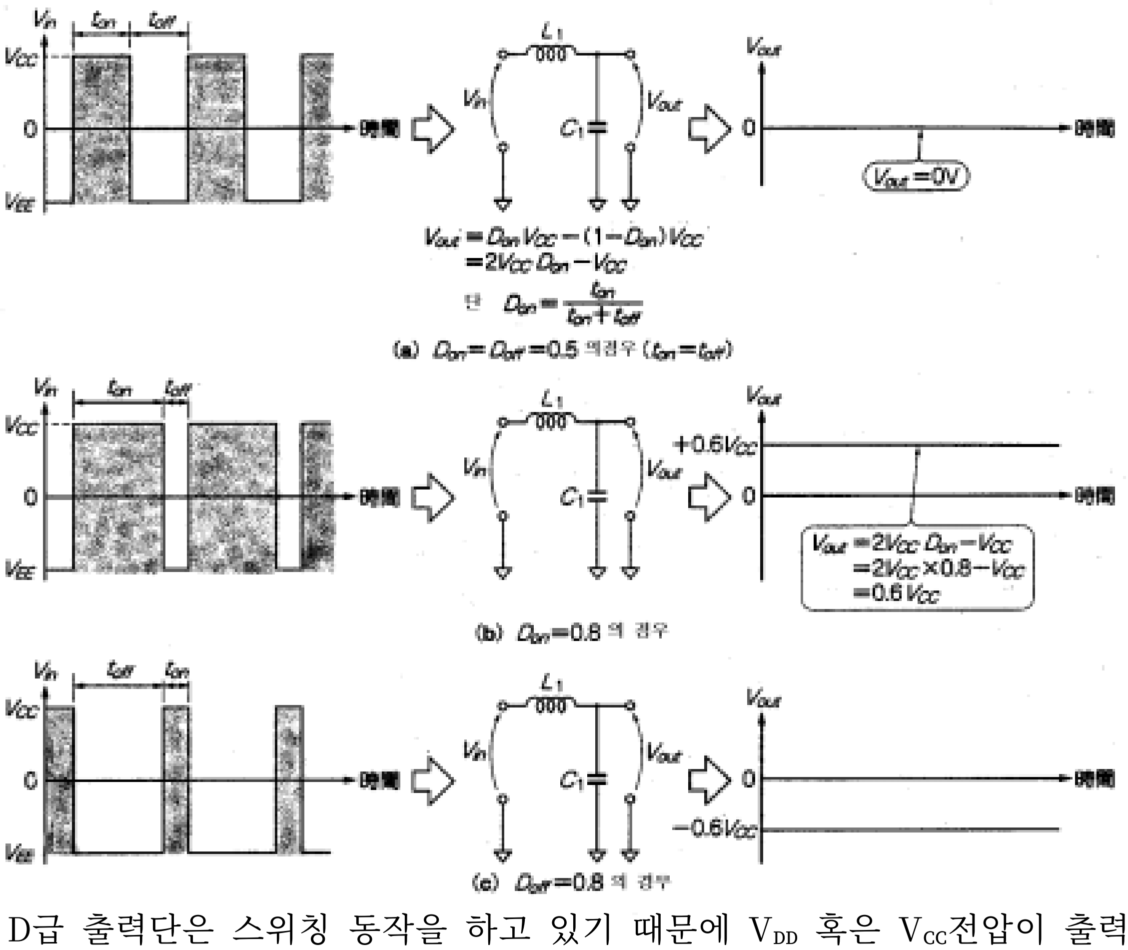
<그림4>와 같이 대부분의 Digital 앰프에서는 D급 드라이브 회로에 전달되는 신호는 PWM신호이다.PWM신호는 신호의 Level 정보가 Pulse폭이라는 시간정보로 변환되어진 Digital신호이다.
<그림7>에서와 같이 PWM신호는 Analogue 입력신호와 그것 보다 충분히

높은 주파수의 삼각파를 비교기로 전압비교하면 생성 되어진다.
그림에서는 입력신호가 삼각파보다 전압이 높은 기간에 비교기 출력은 "H"로 된다.이 회로에 의해 입력신호의 전압 정보는 Pulse폭(시간정보)으로 변환된다.
<그림8>에 D급 출력단의 출력파형에서 Analogue신호가 재생되는 방법을 나타내었다.

<그림7>PWM信號生成의 原理

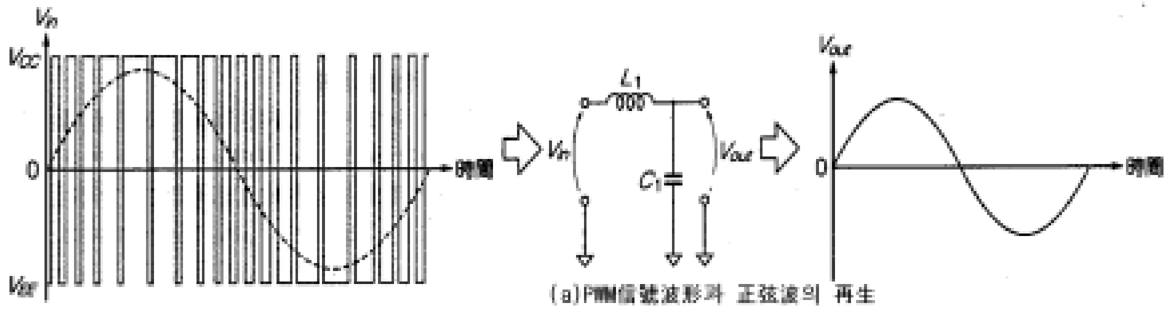


<그림8> PWM信號를 LPF에 通過시키면 ON Duty(Don)에 比例하는 出力이 얻어진다

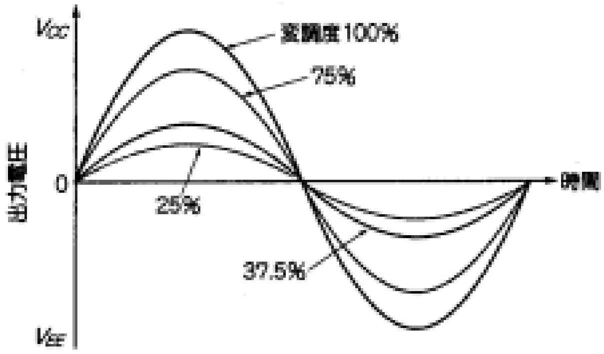


D급 출력단은 스위칭 동작을 하고 있기 때문에 V_{DD} 혹은 V_{CC}전압이 출력되어진다.재생하고자 하는 Analogue 신호의 Level정보는 Pulse폭에 포함되어 있다.이 Pulse 신호를 LPF에 통과시키면 Analogue 신호가 재생되어진다.
Pulse파형의 정(正)의 기간이 길면 그 시간에 비례하는 正으로 진폭하는 Analogue 신호가 재생된다. 반대로 부(負)의 기간이 길면 그 시간에 비례하는 負로 진폭하는 Analogue 신호가 재생되어진다.
정과 부의 비율이 같은(On Duty 50%)때는 출력전압은 0V로 된다.
<그림9(a)>와 같이 입력신호 Level에 비례해서 Pulse폭이 변화하는 신호를

<그림9>PWM信號에서 正弦波가 再生되는 모습



(a)PWM信號波形과 正弦波의 再生



注▶ ON Duty(Don)50%의 때 變調度 0%로 한다

(b)變調度,出力Level,電源電壓의 關係

LPF에 통과시키면 입력신호와 같은 파형의 신호가 재생되어진다.
On Duty가 50%일 경우의 PWM변조도를 0%로 하여 변조도와 정현파 출력Level의 관계를 나타낸것이 <그림9(b)>이다.
재생되어지는 Analogue 출력전압은 전원전압과 변조도의 적(積)으로 정해진다.
전원전압이 일정하다고 가정하면 변조도에서 출력 Level이 정해진다.원리적으로는 변조도 100%일때 Peak-to-Peak 전압이 V_{DD}~V_{SS}인 정현파 출력이 얻어진다.실제로는 변조도 100%는 무리이고 90%정도가 실용적인 값이다.

제3장:출력 Filter의 설계

Digital 앰프의 D급 출력단은 전원전압간(V_{DD}~V_{SS})에서 진폭하는 Pulse신호(PWM신호)를 출력하고 있다.이 Pulse신호에서 Analogue Audio 신호를 재생하기 위해서는 Pulse신호를 LPF에 통과시켜 고조파(高調波)성분을 제거하여야 한다.

3-1:출력 Filter가 필요한 이유

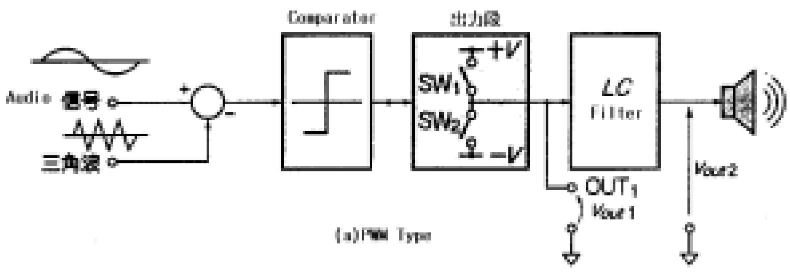
D급 출력단의 Pulse성분에 포함되어 있는 많은 고조파 성분을 제거하여야 한다.
발전을 계속하고 있는 Digital 앰프의 변조 방식은 난립되어 있다.
크게 구분하면 Pulse폭 변조방식(PWM)(<그림10(a)>)과 ΔΣ변조(PDM)방식(<그림10(b)>)으로 분류할 수 있다.
ΔΣ변조방식의 Digital 앰프중에서는 PWM을 병용하는 것도 있다.
어느것이라 하더라도 다음과 같은 고주파 잡음을 발생한다.

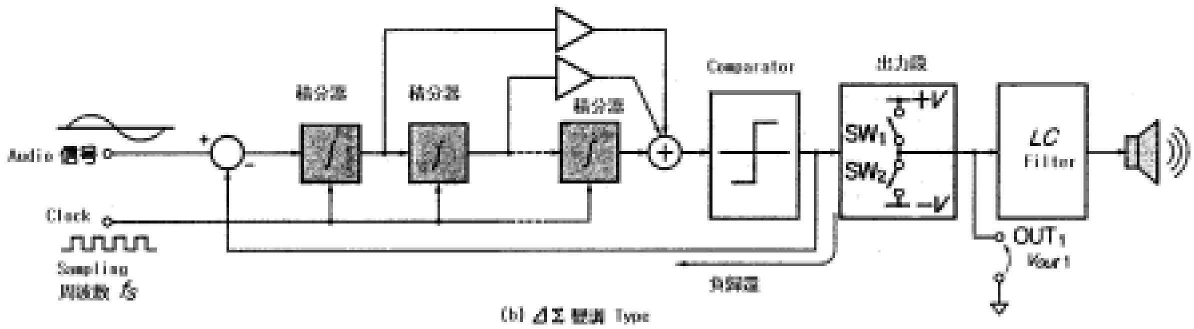
①PWM Type

<그림10(a)>의 V_{out}의 Spectrum분포를 <그림11(a)>에 나타내었다.불요성분은 다음의 두가지 성분이다.

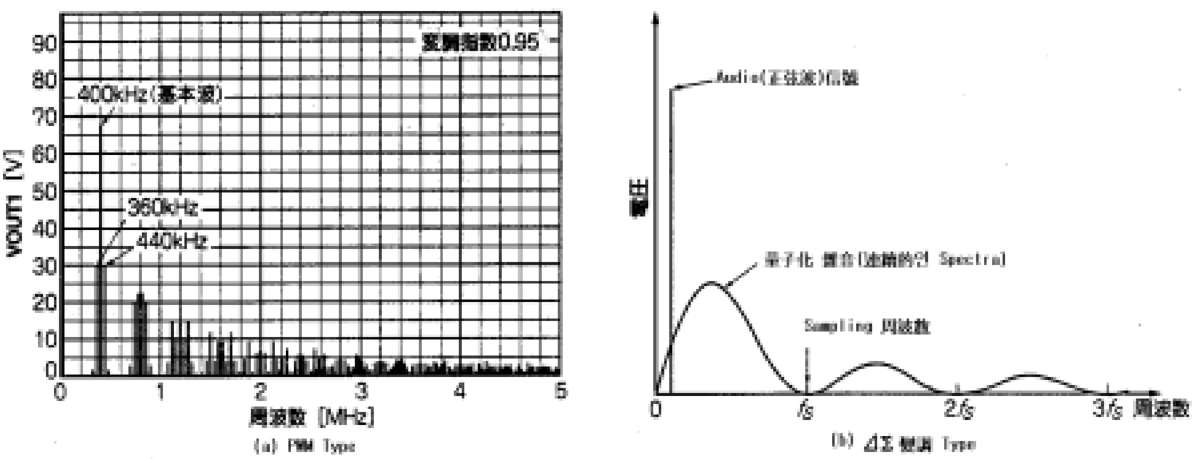
★반송파의 기본성분과 기수차 고조파 성분

<그림10>Digital AMP의 變調方式의 두 種類





<그림11>D級 出力段의 Pulse信號는 많은 高調波 成分을 包含하고 있다



★반송파와 Audio신호의 변조적(變調積)

반송파 주파수(Carrier)가 Audio대역 주파수의 수십배 이상이면 LPF로 Audio성분과 불요성분을 쉽게 분리할 수 있다,.

②ΔΣ변조

<그림10(b)>의 V_{OUT1}의 Spectrum분포의 개략을 <그림11(b)>에 나타내었다.불요성분은 Audio신호와 거의 상관이 없는 양자화 잡음이다.

Audio대역내에서 양자화 잡음을 억제하기 위해서는 적분기의 단수를 증가하던지 Sampling주파수 f_s를 올려야 한다.양자화 잡음의 Spectrum은 $f_s/2$에서 최대가 된다.

③출력 Filter의 필요성

PWM방식이던 ΔΣ변조방식이던 100MHz 이상에 이르는 고주파 잡음이 생기기 때문에 출력단 이후에 LPF를 삽입하여 이러한 고주파 잡음을 차단하여야 한다.차단하지 않으면 Speaker의 보이스 코일이 파손하던지 앰프와 Speaker에 연결된Cable에서 전자파가 방사되어진다.

PWM파의 Spectrum은 변조지수M에 의해 복잡하게 변화한다.변조지수는 삼각파 진폭에 대한 Audio 신호 진폭의 비이다.
<그림11(a)>는 변조지수 0.95의 경우이다.변조지수 M이 적을때의 잡음 Spectrum은 반송파의 기본성분과 기수차 고조파 성분이 대부분이다.
극단적인 이야기로 변조지수가 0이면(즉 Audio신호가 0) PWM신호는 반송파이기 때문에 그 기수차(반송파 주파수×3,5,7--)의 Spectrum이 된다.
변조지수와 관계없이 <그림11(a)>에서와 같이 가장 Level이 큰 불요성분은 반송파의 기본성분이다.

3-2:출력 Filter 설계시의 문제점

출력LPF에서 에너지가 소비되면 전력효율이 나빠지기 때문에 Digital 앰프에서 사용하는 LPF는 무손실 Filter인 LC Filter에 한정되어진다.

①LC Filter의 문제점

★Inductor는 실장면적이 넓고 고가이며 찌그러짐(Distortion)이 생긴다.

LC Filter의 Inductor는 실장면적 및 Cost를 증가시킨다.또한 Core(자심)가 들어가는 Inductor의 경우는 B-H(자속-자계) Curve의 비직선성 때문에 Distortion이 발생한다.

★반송주파수 와 전력효율의 이율배반

반송주파수를 높게 설정하면 LPF의 차단주파수를 높게 설정할 수 있으므로 Inductance가 적은 소형 Inductor를 사용할 수 있지만 반송주파수를 높이면 전력효율이 저하한다.

②LC Filter 설계시의 문제점

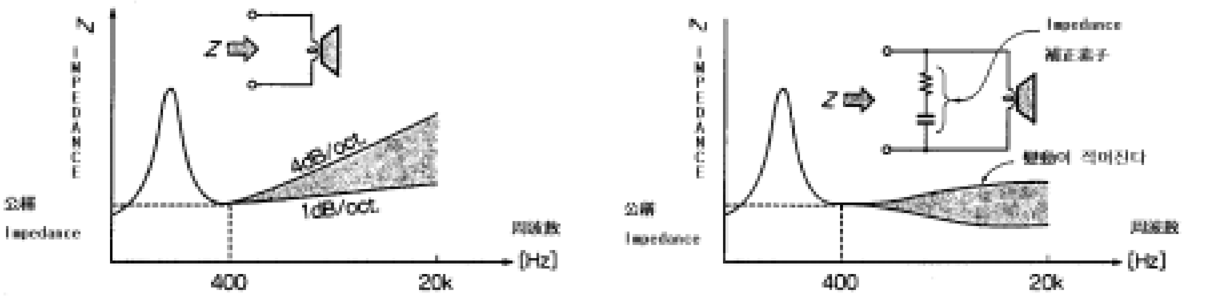
★Speaker의 임피던스 특성은 Audio 대역에서 크게 변동한다.

고주파 잡음을 억제하는데는 LC Filter의 차단주파수를 낮게 설정하는것이 좋지만 그 반면 Audio 대역의 주파수특성이 나빠진다.
전용 Speaker를 사용하면 Speaker의 임피던스에 적합한 최적의 LC Filter를 설계할 수 있으므로 주파수 특성의 악화를 최소화 할 수 있다.
Speaker의 기종이 특정되지 않는 경우 대부분의 Speaker의 평균적인 Impedance특성을 상정하여 그것에 맞는 Filter를 설계하게 된다.
그런데 곤란한 것이 Speaker의 임피던스 특성은 엄밀한 규정이 없다.
공칭 임피던스는 4Ω 혹은 8Ω이 많지만 실제의 임피던스는 <그림12(a)>와 같이 Audio 대역(20Hz~20KHz)에서 크게 변화한다.
특히 고역주파수에 대한 임피던스의 증가는 Filter의 특성에 크게 영향을 준다.

★출력 Filter에서 본 Speaker측의 임피던스를 Audio대역에서 일정하게 하는 방법의 연구

<그림12(b)>와 같이 임피던스 보정회로를 삽입하여 10KHz~100KHz에 대한 임피던스가 일정하게 되도록 보정한다

<그림12>Audio帶域에서 變動하는 Speaker의 Impedance를 補正한다



(a)Speaker의 高域 Impedance가 1-4dB/oct增加한다

(b)Impedance補正 素子를 追加하면 Speaker에 의한 Impedance의 變動幅을 抑制할 수 있다

그러나 Speaker의 임피던스 특성은 천차만별이기 때문에 보정하여도 임피던스를 순저항으로 하는것은 곤란하다.
설계시에 예측한 주파수특성과는 꽤 다르게 되는 경우가 보통이다.
차단주파수를 높게 설정하면 그 차이를 줄일수 있지만 그렇게 하면 잔류고주파잡음이증가한다는 이율배반이 있다.

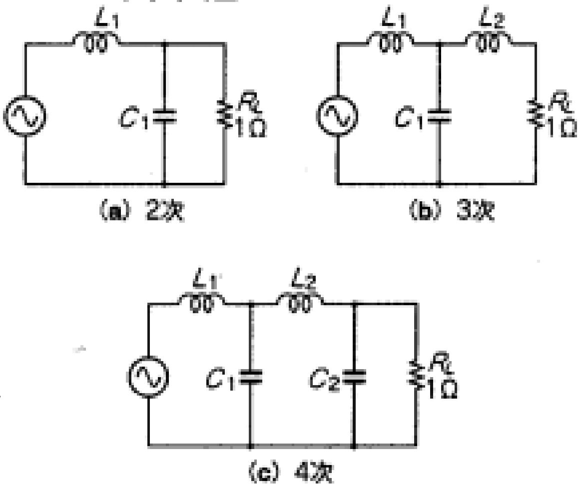
3-3:출력 Filter의 설계예

①LPF Type의 차수와 주파수 특성

★Butterworth(버터워스)혹은 Chebychev(체비세브)가 좋다.

Digital 앰프의 고주파 잡음은 광대역에 분포되어 있기 때문에 저지역의 주파수특성이 단조하게 감소하는 형태의 LPF가 적당하다.
대부분의 경우 Butterworth(버터워스)혹은 Chebychev(체비세브)특성의 Filter를 사용한다.

<그림13>出力Filter에 適合한 片側終端은 사닥다리型 Filter



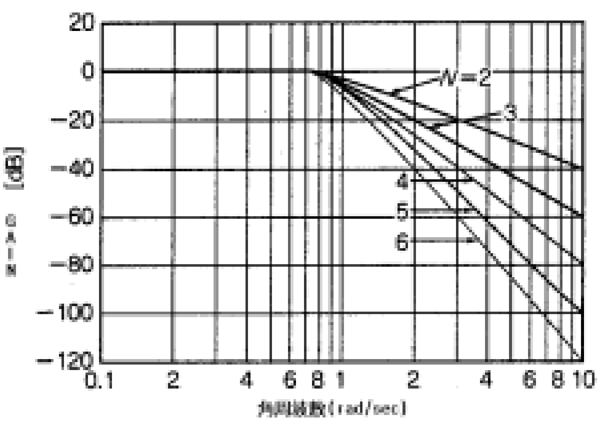
<그림13>는 차단주파수 1rad/s의 Butterworth특성의 사다리형 LPF 회로이다.정규화된 정수값은 <표1>에,주파수특성은 <그림14>과 같다.
차단주파수를 반송주파수의 1/10으로 정하였다고 가정하면 2차는 40dB,4차는 80dB,6차는 120dB가 되는것을 <그림14>에서 알 수 있다.따라서 실용상에는 2,4차 Butter worth특성의 LPF로 충분하다.
단 3차 LPF는 장점이 거의 없다.
왜냐 하면 3차에서도 4차와 같이 2개의 Inductor가 필요하기 때문이다.

<표1>정규화 Buterworth특성 LC Filter의 정수치(편측종단)

차수	L_1[H]	C_1[F]	L_2[H]	C_2[F]
2차	1.414214	0.707107	-	-
3차	1.500000	1.333333	0.500000	
6차	1.530734	1.577161	1.082392	0.382683

②4차 Butterworth특성 LPF 설계
차단주파수:25KHz,반송파:400KHz
Speaker:8Ω,Audio대역:20KHz
PWM 방식으로 가정하여 4차 Butterworth특성의 LPF를 설계하여보자

<그림14>N次 Butterworth特性 LPF의 周波數 特性



★감쇠량은 충분
N차 Butterworth특성 LPF의 감쇠량 A_t[dB]은 다음식과 같다.

$$A_t = 10\log\{1+(\frac{f}{f_c})^{2N}\} ----------(1)$$

단 f:주파수[Hz],f_C=3dB 차단주파수[Hz]이다.차단주파수를 25KHz로 정하면은 4차 Betterworth특성의 20KHz에 대한 감쇠량은 0.67dB이다.
한편 반송주파수 400KHz에 대한 감쇠량은 96.3dB이다.따라서 통과역의 감쇠량도 저지역의 감쇠량도 충분히 만족할 수 있는 값이다.
그러나 실질적으로는 f_C=25KHz는 너무 낮다. Speaker의 임피던스는 앞에서 기술하였듯이 변화하기 때문에 f_C=25KH로 설정하면 10K~20KHz부근의 Gain이 크게 변동한다.
가청한계에 가까운 주파수이므로 음질에 영향을 줄 가능성이 높다.

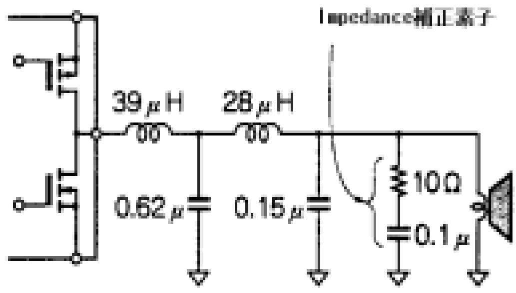
★차단주파수를 50KHz로 설정
차단주파수를 높게 하는데 고주파 잡음의 문제가 있기 때문에 한계가 있어 50KHz 설정한 경우의 실제 Filter의 소자치는
<표1>의 정규화한 정수치를 다음의(2),(3)식에 곱하여 실제의 소차치를 계산할 수 있다.

$$L_{1\alpha} = \frac{R_L}{2\pi f_C} L_1, L_{2\alpha} = \frac{R_L}{2\pi f_C} L_2 -----------(2)$$

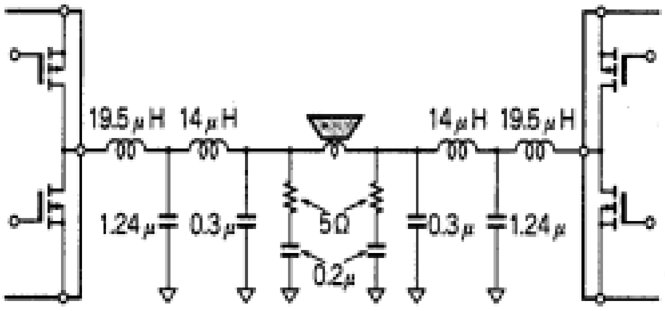
$$C_{1\alpha} = \frac{C_1}{2\pi f_C R_L}, C_{2\alpha} = \frac{C_2}{2\pi f_C R_L} -----------(3)$$

단 f_C:3dB 차단주파수[Hz],R_L:부하저항(Speaker임피던스[Ω])이다.
상기식에 <표1>의 L_1,L_2,C_1,C_2를 대입하면
$L_{1\alpha}$=38.9798uH,$L_{2\alpha}$=27.5629uH $C_{1\alpha}$=0.627532uF,$C_{2\alpha}$=0.152265uF가 된다.
실용적인 값은 다음과 같다.
$L_{1\alpha}$=39uH,$L_{2\alpha}$=28uH $C_{1\alpha}$=0.62uF,$C_{2\alpha}$=0.15uF가 된다.
<그림15>가 최종의 출력 Filter회로이다.<표1>의 정수표에 의해 계산되는 소자치는 Half Bridge출력용의 소자치이다.
Full Bridge출력용 Filter의 소자치는 <그림16>과 같다.

<그림15>設計한Filter回路 (f_C = 50 kHz R_L = 8Ω, Half Bridge用)

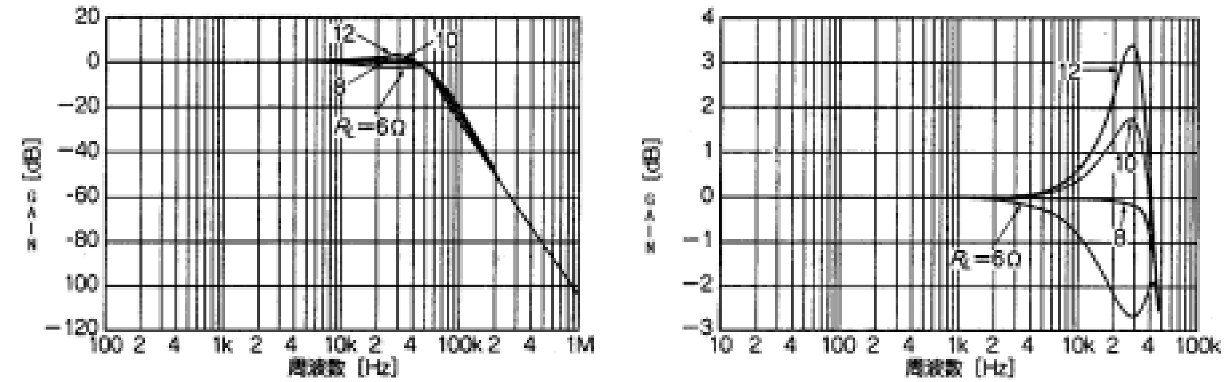


<그림16> D級 出力段이 Full Bridge경우의 出力Filter (f_C = 50 kHz, R_L = 8Ω)



Inductance는 1/2로 줄고 Capacitor의 용량은 2배로 증가한다.
실제의 소자치로서 설계한 출력Filter의 주파수 특성은 <그림17>과 같다.
부하저항이 6~12Ω 변화하였을때 20KHz의 Gain 편차는 약 ±2dB이다.
반송주파수 400KHz의 감쇠량은 약 72dB이다.

<그림17>實際의 定數로서 設計한 (그림15)의 周波數 特性



(a)全 周波數 特性 (10Hz~1MHz)　(b)通過域(10Hz~100kHz)의 周波數 特性

제4장:LPF용 Inductor의 제작

제3장에서 D급 출력단이 출력하는 V_{DD}에서 V_{SS}까지 진폭하는 PWM파에서 Analogue 신호를 복조하는 출력Filter의 설계법에 대해 설명하였다.
출력 Filter는 Capacitor와 Inductor의 조합인데 Capacitor는 표준품을 사용하면 되므로 대부분의 작업은 Inductor의 설계이다 .

4-1:이상적(理想的)인 Inductor의 요구 특성

Digital 앰프의 출력Filter용 Inductor로서 요구되는 성능은 다음과 같다.

①Inductance값이 안정할것

전류,주파수,주위온도,Inductor 자신의 온도상승등의 사용환경에 대해 Inductance치가 안정되고 선형성(Linearity)이 좋은것이 요구된다.

②찌그러짐(Distortion)발생이 적을것.

전류에 대한 Inductance치의 선형성이 좋고 Peak전류가 흘러도 Core가 포화하지 않는것이 요구된다.즉 자성체의 B-H Curve의 직선성이 요구된다.

D급 출력단에서 찌그러짐이 없는 PWM 방형파를 출력하여도 Inductor에서 찌그러짐이 발생하면 의미가 없다.

③손실이 적을것.

손실에는 철손과 동손의 2종류가 있는데 철손은 자성체(Core)에 발생하는 손실이다. 교류에서 사용할 경우의 철손은 자성체의 B-H Curve특성에 기인하는 히스테리시스(Hysteresis) 손실과 와전류(Eddy Current)에 의해 발생하는 와전류손,잔류손(Residual Loss)으로 구성되는데 고주파에 사용할 경우에는 와전류손(Eddy Current Loss)이 지배적이다.동손은 권선의 저항에 의해 발생하는 손실로서 동선의 직류저항뿐만 아니라 고주파에 사용할 경우에는 표피효과(Skin Effect)에 의한 저항증가의 대책이 더욱 중요하다.

④불요복사 Noise가 적을것

Inductor에는 D급 출력단에서 출력하는 PWM신호의 고주파전류가 흐르기 때문에 방사 Noise가 밖으로 누출된다.방사 Noise가 외부 기기에 악영향을 주기 때문에 Noise가 방사되지 않도록 하는것이 중요하다.특히 AM 라디오에는 심각한 방해를 준다.

⑤소형(小型)이면서 가격이 저렴하여야 한다.

현시점에서는 출력Filter의 Inductor는 Digital 앰프를 구성하는 부품중에서는 큰 실장(實裝)면적을 점유하고 있다.소형 경량화하기 위해서는 소형화 하는것이 요구되어진다.또 Digital 앰프를 구성하는 부품중에서 Inductor는 높은 코스트를 점유하고 있다.따라서 코스트 다운이 요구되어진다.

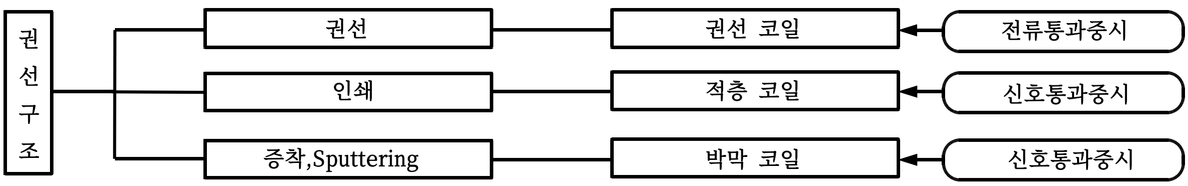
상기의 요구특성을 전부 완벽하게 만족하는 자성체 재질 및 자성체 형상은 불가능하기 때문에 최적의 자성체와 형상을 연구할 필요가 있다.

이에 Korea Coil Engineering과 Pulsus가 공동으로 개발한 자성체(Core) 및 Inductor가 EPS Core 및 EPS 시리즈이다.

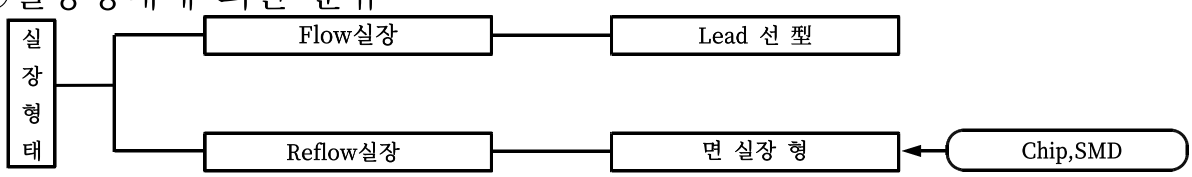
4-2:Inductor의 종류

Inductor는 여러 가지 이름 즉 코일,쵸크 코일등과 같이 불려지기도 하고 칩 코일(Chip Coil)등 형상으로 부르기도 하여 등장하는 장면에 따라 여러가지 이름을 사용하기 때문에 혼동이 되는 경우가 있다. 여기서는 Inductor의 분류에 대해 간단히 기술한다.

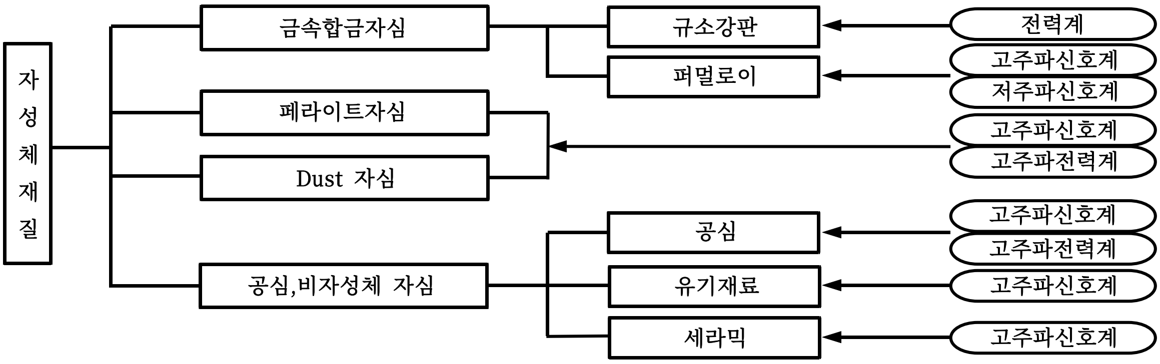
①권선 구조에 의한 분류



②실장형태에 의한 분류



③자성체재질에 의한 분류



Inductor 종류에 대해 상기에 간단히 정리하였는데 사용용도에 따라서 다른 명칭을 사용하기도 한다.
예를 들어 Capacitor와 조합으로 공진회로,Filter회로를 구성한다던지 전기 에너지를 축적하는 용도에는 일반적으로 코일이라 하고, 교류를 저지하는 경우는 쵸크,Common Mode Noise를 제거하는것은 Line Filter라고 하고 있다.
또한 자성체 형상을 개방형[Open Type:개회로],차폐형[Shield Type:폐회로] 등으로도 구분하기도 한다. 여러 가지 이름을 혼용하고 있다.

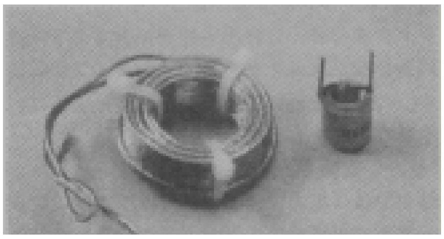
4-3:Inductor의 형상(形狀)비교.

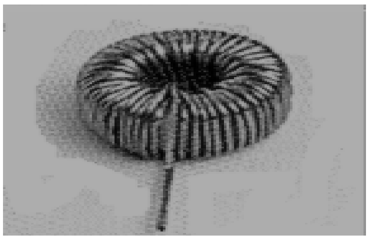
<그림17>에 여러 가지 형상을,<표2>에 형상에 따른 특징을 나타내었다.
페라이트 Core는 도자기 만드는 기법으로 생산하기 때문에 다양한 형상 (예:EE,EI,EER,EP,EFD,EPC등)이 있으나 여기서는 Digital 앰프에 사용되어지고 있거나 사용 가능성이 높은 형상만 정리한 것이다.

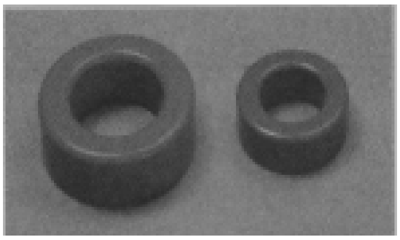
	Solenoid	EI,EE	EPS	Drum+Pot	Toroidal
L치의 안전성	좋음	좋음 Air Gap의존	좋음 Air Gap의존	좋음 Air Gap의존	Core재질특성에 의함
불요Noise	많다	많다	적다	적다	적다
크기	크다	**보통(주1)**	**보통(주1)**	보통	조금 크다
찌그러짐	적다	좋음 Air Gap의존	좋음 Air Gap의존	좋음 Air Gap의존	Core재질특성에 의함
Cost	싸다	싸다	싸다	싸다	비싸다
손실	동손증가	보통	보통	보통	Core재질특성에 의함
Paired Inductor의 제작	어렵다	가능	가능	어렵다	어렵다

<표2>출력Filter용 Inductor의 형상과 그 특징

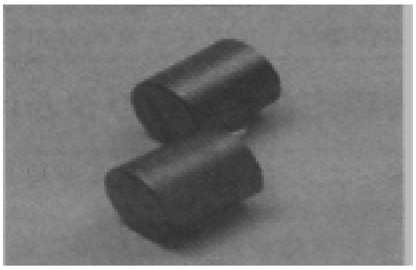
(주1)EPS,EI,EE형의 경우는 Bobbin설계에 의해 Paired Inductor가능하여 2개의 Inductor가 한개의 Inductor로 대치되므로 전체적인 실장면적에서 큰 장점이 있다.

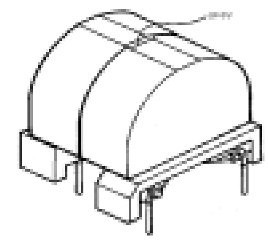




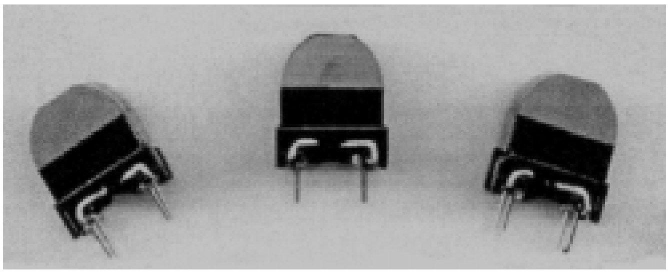


(a)Solenoid형 Inductor (b)Toroidal Inductor (c)Toroidal Core





(d)Drum+Pot형 Inductor (g)EPS Core조립모습 (e)Drum형 Inductor



(f)EPS 형 Inductor

<그림18>여러가지 형상

①Toroidal형

Toroidal Core의 형상은 폐 루프를 형성(차폐형;Shield Type)하는 가장 간단한 형상이다.오래전부터 Digital Audio 앰프에 사용되어 지고 있다. Toroidal은 도너츠 형상의 회전 대칭형이기 때문에 Core의 단면적은 어느곳에서나 동일하여 기하학적으로 평균되게 권선을 하면 누설자속이 거의 생기지 않는다. 또한 자속의 계산은 자로의 치수와 투자율을 알면 쉽게 계산 할 수가 있어 Inductor의 설계가 매우 쉽다.

일반적으로 Digital앰프용은 출력에 따른 큰 전류를 흘리기 때문에 찌그러짐과 L치의 선형성을 유지하기 위하여는 Air Gap이 설계되어야 하기 때문에 금속을 분체화하여 절연하고 가압성형한 Dust Core를 사용하고 있다.

이러한 Dust Core는 Air Gap이 전 자로에 걸쳐 균등하다.

이러한 Dust Core는 고포화 자속밀도의 특성과 온도특성,주파수 특성이 매우좋지만 금속분말을 절연하여 사용하기 때문에 투자율이 매우 낮다.

카보닐-철 Dust Core의 경우는 비투자율u가 5~80정도이므로 일정한 Inductance의 Inductor를 만들기 위해서는 권선수가 늘어나고 사이즈가 커지는 문제점이 있다.투자율을 개선한 것으로서

Sen-Dust(Tokin),Hi-Dust(Hitachi),Kool-u(Magnetics),MPP Core등이 있으나 이들은 투자율이 증가하고 온도특성등은 개선되지만 그것에 반비례하여 포화자속 밀도가 낮아지고 Core의 가격이 비싸지므로 적용하기가 적합하지 않다. 또한 가장 큰 단점은 권선을 하기 위해서는 전용 권선기를 사용하여야 하는데 생산성 대비 투자성이 없어 대부분 인력을 이용한 수작업을 하여야 하는 점과 PCB(Printed Circuit Board)에 조립할 때는 특별한 권취용의 Base를 사용하지 않으면 조립성이 매우 나쁘다.
이러한 단점에도 불구하고 현재까지 가장 많이 사용되어진것은 Noise방사 특성이 좋고 쉽게 요구되는 특성의 Inductor를 설계할 수 있으며 동선이 외부에 Open되어 있어 열의 방산 특성이 좋기 때문이다.
그러나 Digital 앰프가 보편화되어 Inductor의 수요가 증가하면 사용이 현저하게 줄어들것으로 판단되고 있다.

②Solenoid 형

<그림18(a)>와 같이 가장 간단한 공심상의 형상이다.
동일한 Inductance를 얻기 위해서는 다른 형에 비해 자심(core)이 공기이기 때문에 투자율이 낮아 권선수가 많이 증가한다. 따라서 Digital 앰프의 장점에 어울리지 않는 크기의 Inductor가 될 가능성이 있고 누설자속이 매우 크기 때문에 Noise 방사에 문제가 있는 제품에는 사용이 어렵다.
이것을 개선한 것이 <그림18(e)>의 Drum형 Inductor이다.
Drum형의 페라이트 Core를 자성체로 사용한 것으로 이것도 공심Iductor와 마찬가지로 개회로(Open Type)이기 때문에 방사 Noise가 문제가 되는 제품에는 사용할 수가 없다.그러나 3장의 <그림13>의 Filter의 고차측(L_2)에는 채용되어진 예가 있다.
Drum형 Inductor의 Noise방사를 개선한 것이<그림18(d)>의 Drum+Pot형이다.이는 폐회로로 하기 위하여 Drum형 Inductor에 차폐용 Pot Core를 같이 사용한것으로 폐회로이므로 Noise의 방사도 개선이 되고 Inductor의 AL-Value(권선 1Ts당의 L값)가 증가하여 Drum형에 비해 동일한 Inductance의 경우 권선수가 줄어 들어 Inductor의 동손은 줄어든다.
지금까지 설명한 형상은 Single Inductor로서는 사용할 수 가 있지만 Full Bridge출력단과 같이 두개의 Inductor를 사용하는 경우 하나의 Core에 두개의 Inductor를 설계하여 두개의 Inductor기능을 하는 Paired Inductor의 제작은 어렵다.

③EI,EE형

페라이트 Core형상중에 가격이 저렴하고 보편화되어 있는 형상이다.
적절한 Bobbin을 설계하므로 Paired Inductor를 설계할 수 있으나 누설자속이 있기 때문에 Digital 앰프용으로 사용하기에는 적절하지 않다.

④EPS형

4-1의 Digital 앰프용 Inductor의 요구특성에 가장 적합하도록 개발한 Core

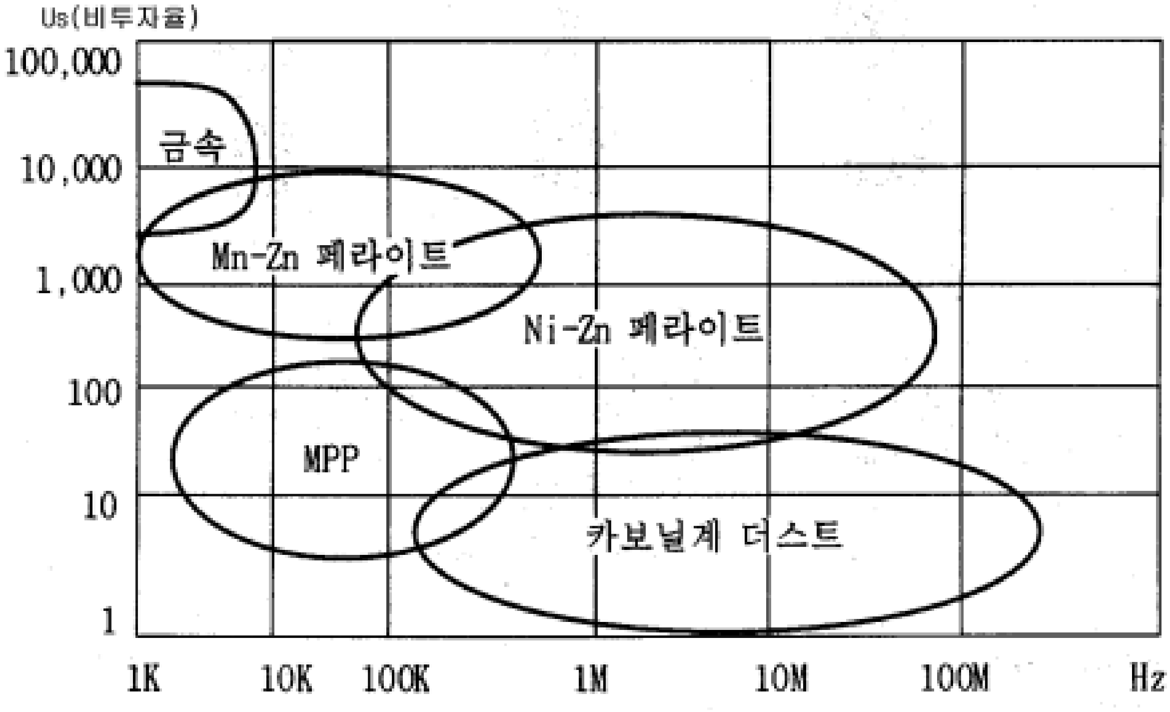
형상으로 상세내용은 뒤에 기술한다.

4-4:자성체(Core)의 재질 비교

자성체는 크게 금속자심,산화물자심(페라이트),압분자심(Dust)으로 크게 구분한다.<표3>에 자심재료의 종류 및 특성을,<그림19>에 자심재의 손실과 주파수 관계를 개략적으로 나타 내었다.Digital 앰프용으로 사용이 가능한 압분자심(Dust Core)과 페라이트에 대해 간단히 기술한다.

분류	자심재 종류	주요 원자재	자심재의 질						특징
			초기 투자율 μ_i	포화 자속밀도 KGAUSS	큐리 온도 ℃	고유 저항 ohm-Cm	μ_i * Q at 1KHz	사용 주파수	
금속 자심	퍼멀로이	니켈 철합금	1,200-100,000	8 - 11	450	$55*10^{-6}$	8,000-12,000	1KHz-75KHz	(초)고투자율
	규소강 (UN-ORIENTED)	철 규소	500	20	740	$50*10^{-6}$		60Hz-1KHz	고자속밀도 가격이 싸다
산화물 자심	Mn-Zn계 페라이트	망간 아연	750-15,000	3 - 5	100-300	10-100	100,000 - 50,000	10KHz-2MHz	고투자율,저손실, 저주파
	Ni-Zn계 페라이트	니켈 아연	10-1,500	3 - 5	150-450	10^{6}	30,000	200KHz - 100MHz	고주파에서 저손실 투자율이 낮다
압분 자심	카보닐철 더스트	철	5-80	10	770	10^{4}	2,000-30,000	100KHz - 100MHz	고자속밀도 고주파에서 저손실 투자율일정
	몰리브덴 퍼멀로이	몰리브덴 니켈,철	14-500	3	450	1	10,000	10KHz-200KHz	투자율 일정 온도보상이 쉽다

<표3> 자심재의 종류 및 특성표



<그림19> 자심재의 손실과 주파수

①압분자심(Dust Core)

압분자심(Dust Core)은 와전류손에 의한 손실을 적게하기 위하여 금속을 분체화 하여 절연하고 가압 성형한것으로서 비교적 투자율이 낮은 반면 강자계중에서도 사용할 수 있는 특징이 있다.

사용하는 합금의 종류에 따라 카보닐 철 Dust, Sendust,퍼멀로이 Dust로 크게 분류된다.

★카보닐 철 Dust

철 카보닐[$Fe(Co)_5$]을 가열,분해에 의해 소립자화 하여 바인드라고 부르는 절연 접착제를 가하여 가압성형한 것이다.

자성체가 입자상으로 절연되어 있기 때문에 고주파에서의 와전류손이 적다.

투자율은 높지 않지만 포화자속밀도가 높아 사용환경이 변화하여도 Inductance는 안정된다.따라서 찌그러짐이 적은 Inductor가 가능하지만 소형화에는 기여가 않된다.

★Sendust

규소,Al,철 합금을 이용한 Dust 자심이다.투자율은 카보닐 철 보다는 높지만 가격이 비싸진다.

★퍼멀로이 Dust

퍼멀로이(Fe-Ni)합금을 원료를 하여 만드는 Dust 자심이다

투자율이 매우 높고 온도특성이 매우 좋다.통신용 기기등에 많이 사용된다.

가격이 비싸 Digital 앰프에서의 채택은 어렵다.

②산화물자심(페라이트)

페라이트는 MFe_2O_4로 표시되고,M은 2가 금속 산화물로서 산화망간,산화니켈,산화아연등이다.실질적으로 페라이트는 화합물이 복합된 다결정의 소결체이다.

산화물자심은 크게 분류하여 Mn-Zn계와 Ni-Zn계로 대별된다.

페라이트의 특징은 고유저항이 금속자심에 비해 매우 높은것이다.

실용되는 페라이트의 고유저항은 $10 \sim 10^7 \Omega$-㎝이므로 와전류손은 무시할 수가 있어 금속 자심보다 높은 주파수에서 높은 투자율을 유지한다.

또한 페라이트는 금속자심 및 Dust Core(압분자심)와는 달리 도자기 제조기술로 생산하기 때문에 여러가지 모양(EI,EE,EER,POT등)을 만들 수 있다.

★Mn-Zn 페라이트

Mn-Zn 페라이트는 고유저항이 10~수백Ω-㎝정도의 도전성이 있다.

고주파에서의 와전류손을 무시할 수가 없기 때문에 저손실의 자심(Core)으로는 수백 Khz의 사용이 한계이다.그러나 다른 페라이트계 보다는 높은 투자율과 고포화자속밀도의 자심을 만들 수가 있다.모든 자성재질은 장,단점이 있기 때문에 적절한 재질의 선정이 필요한데 Digital 앰프용 Inductor의 사용에는 무리가 없는 재질로 판단되고 있다.

★Ni-Zn

Ni-Zn 페라이트는 고유저항이 $10^5 \Omega$-㎝이상으로 매우 높아 와전류손은 무시

할 수가 있어 수백 MHz대까지 사용할 수가 있다. 그러나 투자율이 높은 자심을 만들수가 없고 포화자속밀도도 낮고 가격이 Mn-Zn계보다 비싸다.
Inductor용 Core재질과 그 특징에 대해 간단하게 정리한 표가 <표4>이다.

	규소강판	아몰퍼스	퍼멀로이	카보닐-철	Sendust	Ferrite
L치안정성	×	×	△	○	○	△
소형화	△	○	△	×	×	△
찌그러짐	×	×	△	◎	○	△
Cost	○	×	△	×	△	○
손실	×	○	○	◎	○	○
실장성	○	×	×	×	×	◎

<표4>Inductor Core 재질과 그 특징

상기표에서 아몰포스,퍼멀로이,카보닐철,Sendust는 특수 형상의 자심도 가능은 하지만 제조의 어려움이 있어 거의 대부분의 형상이 Toroidal이다.
페라이트의 경우는 L치 안정성과 찌그러짐이 조금 열등하나 이것은 자로의 Air Gap설계로 개선이 된다. 또, 소형화의 문제는 Paired Inductor로 설계하므로 2개의 Inductor를 사용하느것에 비해 실질적으로는 더 소형화 된다.
지금까지 형상,재질의 특성에 대해 설명을 하였는데 여러 가지 측면에서 판단하여 보면 적절한 형상으로 설계된 페라이트 재질이 가장 적합한 것으로 판단되어진다.

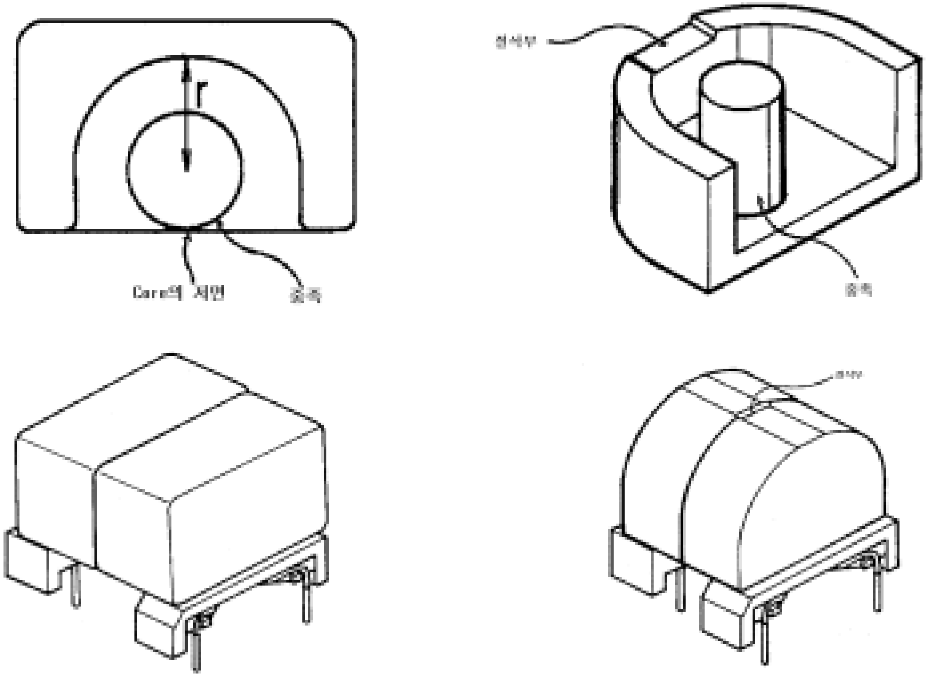
4-5:EPS 시리즈 Inductor.

EPS형 자심(Core)는 Full Bridge용 Digital 앰프 전용(Paired Inductor)으로 개발한 것이다.
Half Bridge용 Inductor의 경우에도 EPS Core를 사용할 수 있지만 Cost적인 측면을 강하게 고려한다면 <그림18(d)>의 Drum+Pot형 Inductor가 적합하다
Half Bridge용 Single Inductor 전용으로 고전적인 형상의 Drum+Pot형의 단점을 개선한 Inductor가 CPS 시리즈이다.

①EPS시리즈 Inductor의 개발 목적

★L치의 안정성과 찌그러짐이 적게하기 위한 대 전류용(고 Bm,저손실재 채택)
★Noise 방사가 적은 폐회로형상(Core 형상)
★실장성 과 Less Space(Paired Inductor)
★Low DCR(Paired Inductor의 Mutural Inductance효과)
★Low Cost(Core 형상)

상기의 개발목표에 적합하도록 개발하는데 있어 자심의 재질은 페라이트의 Mn-Zn재질이 가장 적합하다고 판단하였으며 Core의 형상은 음성주파 Transformer에 적합하도록 Design되어진 EP Type Core를 기본으로 하여 최적으로 개발한 것이다.



(a)EP (a)EPS

<그림20>EP,EPS 자심의 형상 및 조립형상

<그림20>은 EP,EPS Core의 형상 및 조립형상이다.EP Core는 음성주파 Transformer에 적합하도록 개발되었기 때문에 소 신호의 전송효율등은 충분히 고려 되어 있다.

그러나★Digital 앰프용은 대전류를 흘려야 하기 때문에 Air Gap을 설계하여야 한다. EP Core에 Air Gap을 설계할려면 Core의 중족을 중심으로 하여 4면이 막혀 있기 때문에 가공비가 상당히 증가하여 부적합하다.

또한 자계를 발생하는 중족의 위치가 저면에 있기 때문에 ★Noise 방사의 대책이 충분하지 않다.또한 외형을 사각으로 하고, 중족에서 발생하는 자속을 수속하는 면은 유효자속의 효율성을 위하여 원형으로 되어 있기 때문에 ★페라이트의 소재의 사용량이 불필요하게 많아 원가 상승요인이 된다.

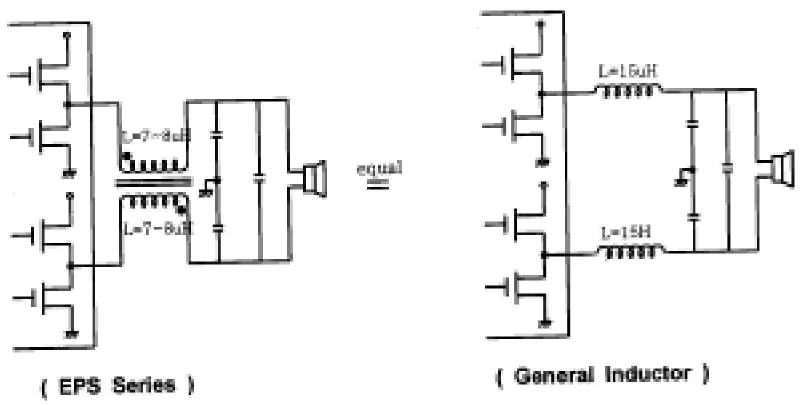
이러한 결점을 개선하기 위하여 EPS는 ★절삭부를 미리 설계하여 Gap 가공시 일반적인 EE형과 같이 벨트식 가공이 가능하도록 하였고★중족의 위치를 저면에서 중앙에 가깝게 위치시키므로 Noise방사 문제를 해결하였으며 페라이트 소재의 사용량을 줄이기 위하여 외형도 원형에 가깝게 하므로서, EPS13의 경우 EP13보다 중량이 25% 감소되고, EPS17은 EP17보다 47%의 중량이 감소된다.

②EPS 시리즈 Inductor의 실용상의 장점

EPS 시리즈를 실질적으로 Digital 앰프에 적용하면 장점이 크다.

Single Inductor 두개를 한개로 대체가 되므로 실장면적을 줄일수 있고,

상호 Inductance(Mutural Inductance)의 특성을 이용하므로서 요구되는 L치를 Single Inductor의 반으로 할 수 있어, 권선수를 줄일 수 있다.
자심(Core)의 기자력(Fm=N×I)은 권선수(N)와 전류(I)에 비례하므로 대전류를 흘릴 수 있으며 권선수가 줄어 들어 동손을 줄일 수 있어 열의 발생도 저감시킨다.
차단 주파수:30KHz
대역:20KHz
반송파(Carrier 주파수):384KHz
Speaker임피던스:4Ω
의 조건으로 Full Bridge 출력방식의 2차 Butterworth특성 Filter를 제3장의 (2),(3)공식과 <표1>을 이용하여 설계하면
C=938nF,L=15uH가 된다.이 소자치를 Full Bridge 방식에 적용한 것이 <그림21>과 같다.

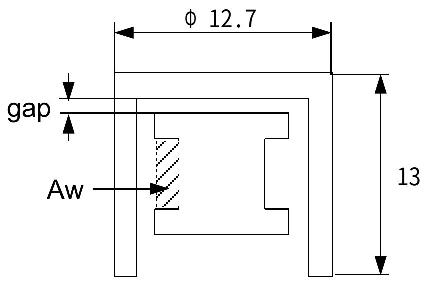


<그림21>EPS 시리즈 Inductor의 효과

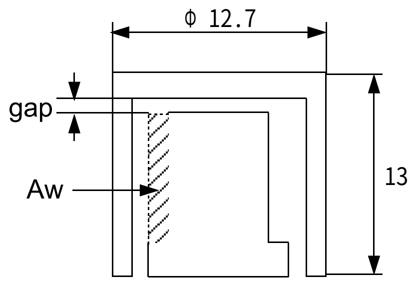
그림에서 알 수 있듯이 고전적인 Single Inductor(General Type)의 경우는 15uH의 Inductor를 2개 사용하여야 한다.
그러나 EPS Inductor를 사용하면 편측 7.5uH의 Inductor로 대치된다.
그림에서의 Inductor의 점(●:Dot)은 권선의 시작을 의미한다.
Audio출력이 크고, 고급 제품의 경우는 EPS Core를 이용한 Single Inductor도 가능하다.
Half Bridge의 경우는 Inductor를 2차 Filter일 경우 1개만 사용하면 되므로 Cost적인 측면에서 EPS 시리즈가 적합하지 않다.
따라서 Half Bridge용으로 개발된것이 CPS 시리즈이다.

4-6:CPS 시리즈 Inductor.

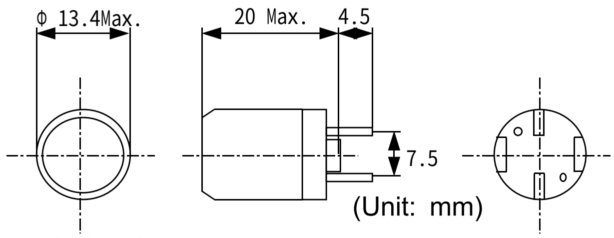
Half Bridge출력단의 경우, 2차 LPF 를 구성하면 Inductor가 1개만 있으면 된다.Cost적인 측면만 고려한다면 EPS보다는 <그림17(d)>의 Drum+Pot형 Inductor가 적합하다.
<그림22>에 General Type(Drum+Pot형)과 CPS Type에 대해 나타내었다.
외관은 동일하게 보이지만 내부구조가 다르다.



(a)GENERAL TYPE의 내부구조도



(b)CPS TYPE의 내부구조도



(c)외관 및 치수

<그림22>General Type과 CPS Type

General Type는 고전적인 차폐형(Shield Type) Inductor이다.
이 형의 내부 Core는 Drum형으므로 금형에서 성형이 불가능하여 막대 Core를 성형하여 절삭가공을 하여야 하므로 절삭가공의 공수가 소요되고 절삭된 페라이트 재료의 손실이 발생한다.내부 구조상 기자력이 적어 고 출력 Audio용의 Inductor로서는 충분하지 못하다.
이러한 결점을 개선한 것이 CPS 형이다.
CPS는 한쪽만 Flange(차양)가 있으므로 금형에서 그대로 성형이 된다.
또한 권선가능 창면적이 39% 증가하고 기자력은 59%가 향상된다.
<표5>는 Core의 정수를 비교한 것이다.

	WINDING AREA OF CORE. Aw(㎟)	ELECTROMAGNETIC[1] FORCE Fm(AT)	AL-VALUE (NH/N^2)	DCR/Ts (mΩ)
NEW CPS	10.88	162.3	52.1	2.12
GENERAL TYPE	7.95	102.0	57.8	1.94
MERITS & DEMERITS	39% UP	59% UP	10% DOWN	9.3% DOWN

<표5>Magnet core Ass,y Parameter.

앞에서도 설명하였지만 요구되는 모든 특성이 다 만족되는 재질 및 형상은 불가능하기 때문에 CPS 의 경우도 창면적 및 기자력은 현저히 증가하지만 AL-Value는 10%,1Ts당의 직류저항(DCR/Ts)은 9.3%정도 열화된다.
열화되는 특성도 개선하고자 할 경우에는 3가지의 방법이 있다.
<표6>는 개선방법과 개선후의 전기적인 특성을 나타낸것이다.

	COIL	Ts	INDUCTANCE (uH)	AL-VALUE (NH/N^2)	DCR (Ω)	Fm (AT)
GENERAL TYPE	**Φ0.5**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**45.4**	**101.7**
CPS TYPE	**Φ0.5**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**52.4**	**161.7**
EXAMPLE 1	**Φ0.55**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**44.6**	**161.7**

(a)Use a little thick of wire

	GAP (mm)	**Ts**	**INDUCTANCE (uH)**	**AL-VALUE (NH/N^2)**	**DCR (Ω)**	**Fm (AT)**
GENERAL TYPE	**0.75**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**45.4**	**101.7**
EXAMPLE 1	**0.60**	**23.5**	**29.8**	**54.0**	**50.5**	**145.7**
EXAMPLE 2	**0.47**	**23.5**	**31.0**	**56.1**	**50.2**	**136.3**
EXAMPLE 3	**0.25**	**21.5**	**31.0**	**67.1**	**45.8**	**114.0**

(b)Shorten a little gap distance of core

	COIL	Ts	INDUCTANCE (uH)	AL-VALUE (NH/N^2)	DCR (Ω)	Fm (AT)
GENERAL TYPE	**Φ0.5**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**45.4**	**101.7**
CPS TYPE(Ni)	**Φ0.5**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**52.4**	**161.7**
EXAMPLE 1(Ni)	**Φ0.55**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**44.6**	**161.7**
CPS TYPE(Mn)	**Φ0.5**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**49.7**	**185.7**
EXAMPLE 1(Mn)	**Φ0.55**	**23.5**	**31.4**	**56.9**	**42.4**	**185.7**

(c)Change material of the magnetic core(Ni--->Mn)

<표6>개선방법 개선후의 전기적 특성

개선방법은

①동선을 조금 굵은것을 선정하는 방법이다.창면적이 39%정도 크기 때문에 Core에 권선하는데는 문제가 없으며 표피효과에 미치는 영향도 미미하다. <표6(a)>가 개선후의 전기적 특성이다. General Type이 0.5mm의 동선을 사용할 경우에 CPS는 0.55mm의 동선을 사용하면 DCR도 같은 수준이고 기자력은 59%가 증가한다.

②내부 Core의 Air Gap을 줄이는 방법이다.
<표6(b)>와 같이 Air Gap을 0.25mm로 하면 General Type과 DCR은 동일하여지고 기자력은 12 %증가한다.그러나 이 방법의 실질적인 실현은 불가능하다.Core 제조공정상 0.25mm는 공차범위내에 있기 때문에 치수관리가 불가능하기 때문이다.

③내부 Core의 재질을 변경하는 방법이다.
<표6(c)>는 내부 Core의 재질을 Ni에서 Mn계로 변경한 것이다.
Mn Core로 변경하면 열화된 특성 항목이 개선되고 기자력도 83%정도 더 증가되어 고출력용 Inductor의 제작이 가능하다.
단 Mn계 Core는 Ni계 Core에 비해 고유저항이 낮기 때문에 절연체로 볼 수가 없어 Core에 직접 권선을 할 수가 없기 때문에 절연 Coating을 하여야 한다.절연 Coating의 비용이 증가하지만 Ni계 보다는 Mn계가 원료비가 싸기

때문에 고출력용 Audio의 Half Bridge 방식의 LPF Filter용 Inductor로는 적합한 것으로 판단된다.

지금까지 CPS Inductor에 대해 간략하게 설명을 하였는데 권선 작업에 의한 특성 열화등의 문제를 개선하기 위하여 권선 Jig등의 연구도 필요하다.상세의 내용은 Korea Coil Engineering co., Ltd에 연락하시면 제공이 가능하다.

제5장:EPS,CPS시리즈 Catalogue(첨부참조)

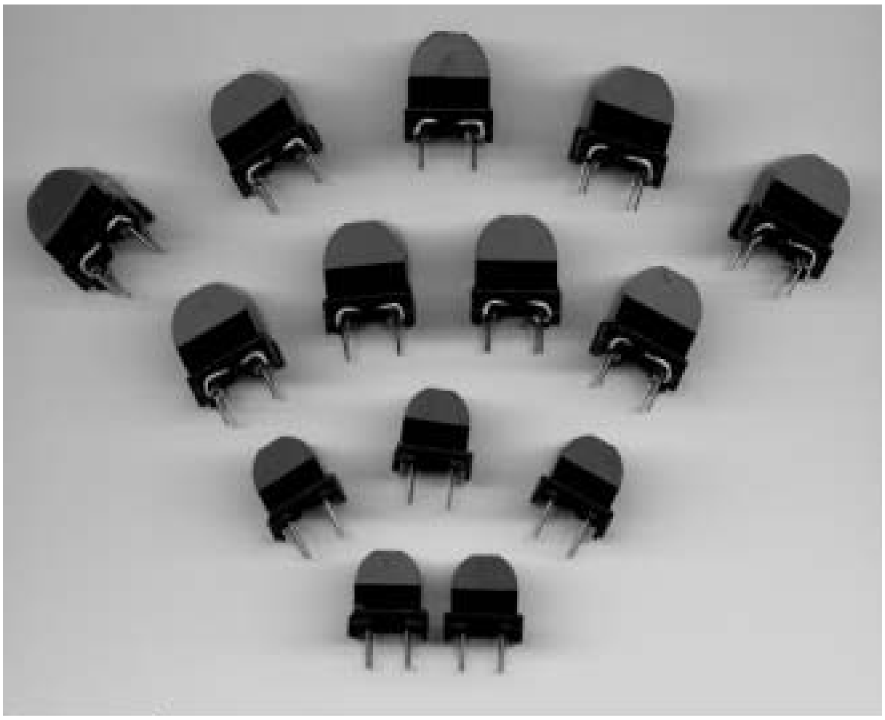
※참고문헌

1)TR 기술 2003년 8월,10월
2)Toroidal Core 활용백과(CQ출판사)
3)SMPS Transformer 설계개론(Korea Coil Engineering)
4)자성부품 설계의 기초(Korea Coil Engineering)
5)TR기술 1999년4월호 별책부록 용어사전

--이상-

2003년 9월 26일

Inductor for Digital Audio (EPS Inductor)



KCE
코리아코일엔지니어링(주)
Korea Coil Engineering Co.,Ltd.
TEL) 82-2-974-7034
FAX) 82-2-974-7345

Inductor for Digital Audio
(EPS Inductor)

CONTENTS

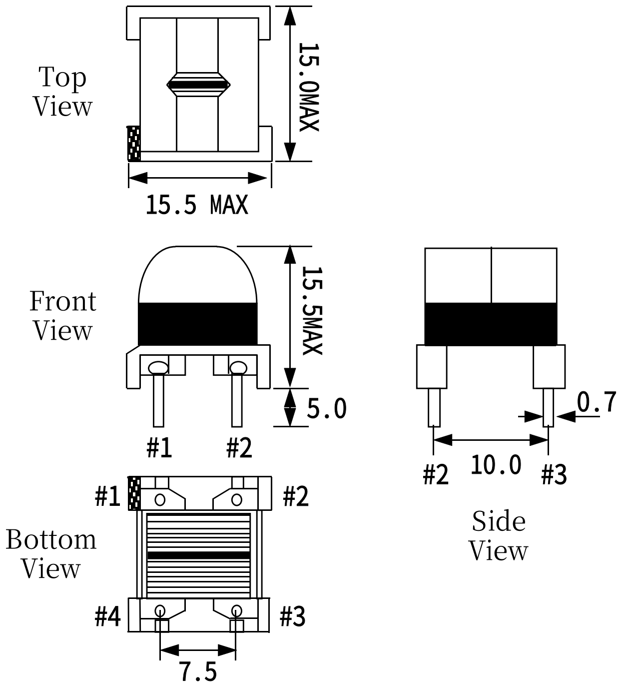
EPS 13 SERIES

1. PART CODE

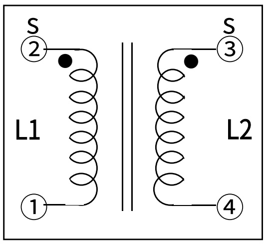
EPS 13 - 10 P

- P — Paired Type
- 10 — Inductance Value(uH)
- 13 — Core Size
- EPS — Core Type

2. DIMENSION (Unit:mm)



3. CONNECTION



4. FEATURES

1) The EPS series are characterized by low resistance, compact size, Light weight, and high current handling capacities.
2) The EPS series are magnetically shield by special core shapes. Can be used in high-density mounting configurations.
3) Suitable for Digital Amplifier LPF.
4) There is a series of many types for various kind of Digital Audio output.

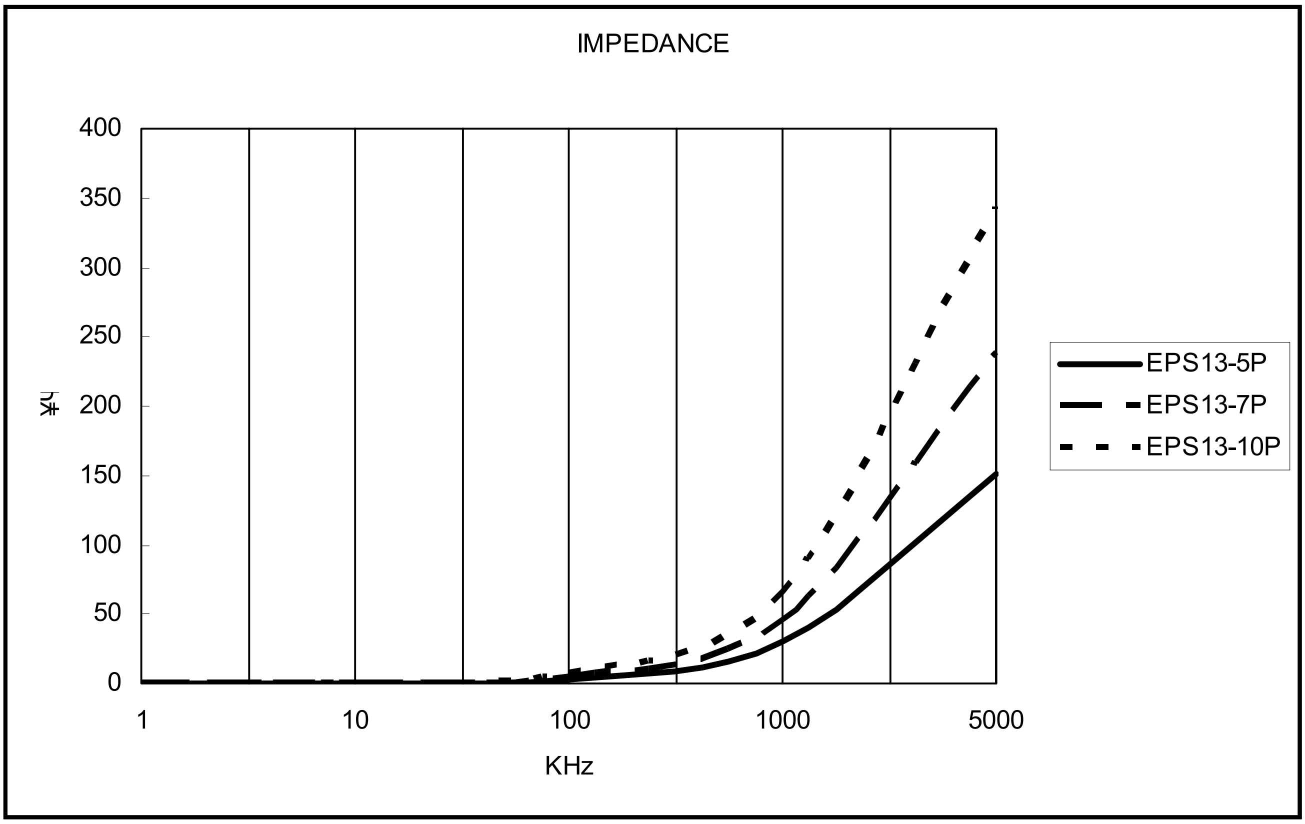
5. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

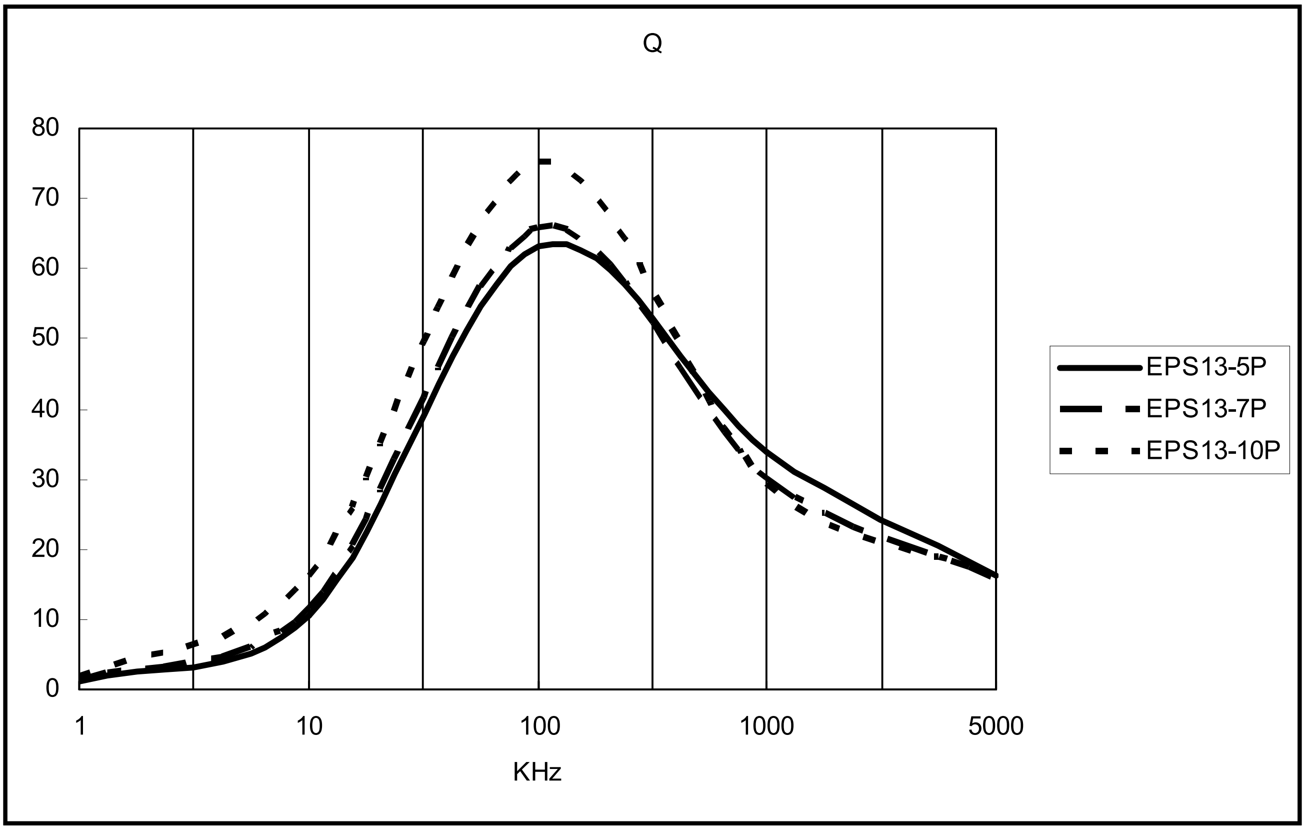
Part Code	inductance[(1)] L (uH)	Tolerance (%)	DC Resistance[(2)] (mΩ) max.	Rated DC Current[(3)] (A) max
EPS13-5P	4.7×2	±20	65.0	5.00
EPS13-7P	6.8×2	±20	78.0	4.10
EPS13-10P	10.0×2	±20	95.0	3.60

※ (2),(3) be measured at the pin ① - ③ shorted.

(1) Inductance is measured with a LCR meter **AG-4304(ANDO)** or equivalent. Test frequency at 1KHz.
(2) DC resistance is measured with a **HIOKI 3540 mΩ HiTESTER** or equivalent.
(3) Maximum allowable DC current is that which causes a 10% inductance reduction from the initial value.

6. IMPEDANCE & Q CHARACTERISTICS





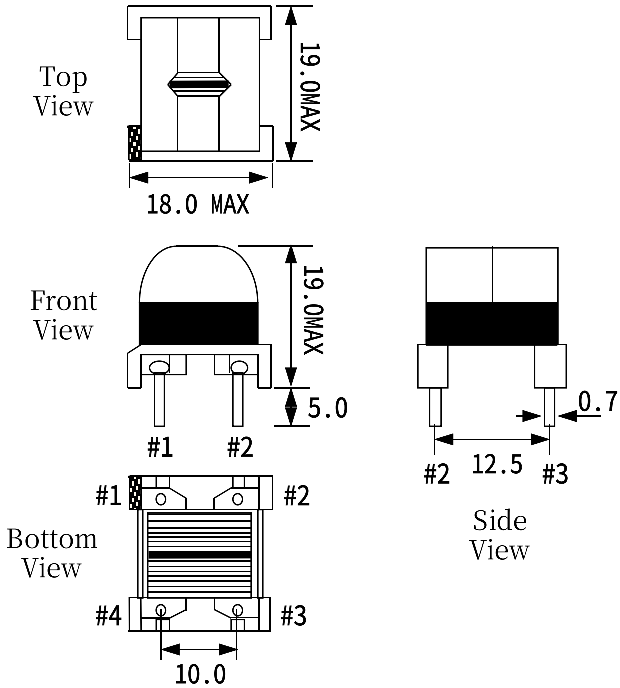
EPS 17 SERIES

1. PART CODE

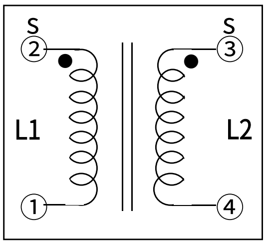
EPS 17 - 10 P

- P — Paired Type
- 10 — Inductance Value(uH)
- 17 — Core Size
- EPS — Core Type

2. DIMENSION (Unit:mm)



3. CONNECTION



4. FEATURES

1) The EPS series are characterized by low resistance, compact size, Light weight, and high current handling capacities.
2) The EPS series are magnetically shield by special core shapes. Can be used in high-density mounting configurations.
3) Suitable for Digital Amplifier LPF.
4) There is a series of many types for various kind of Digital Audio output.

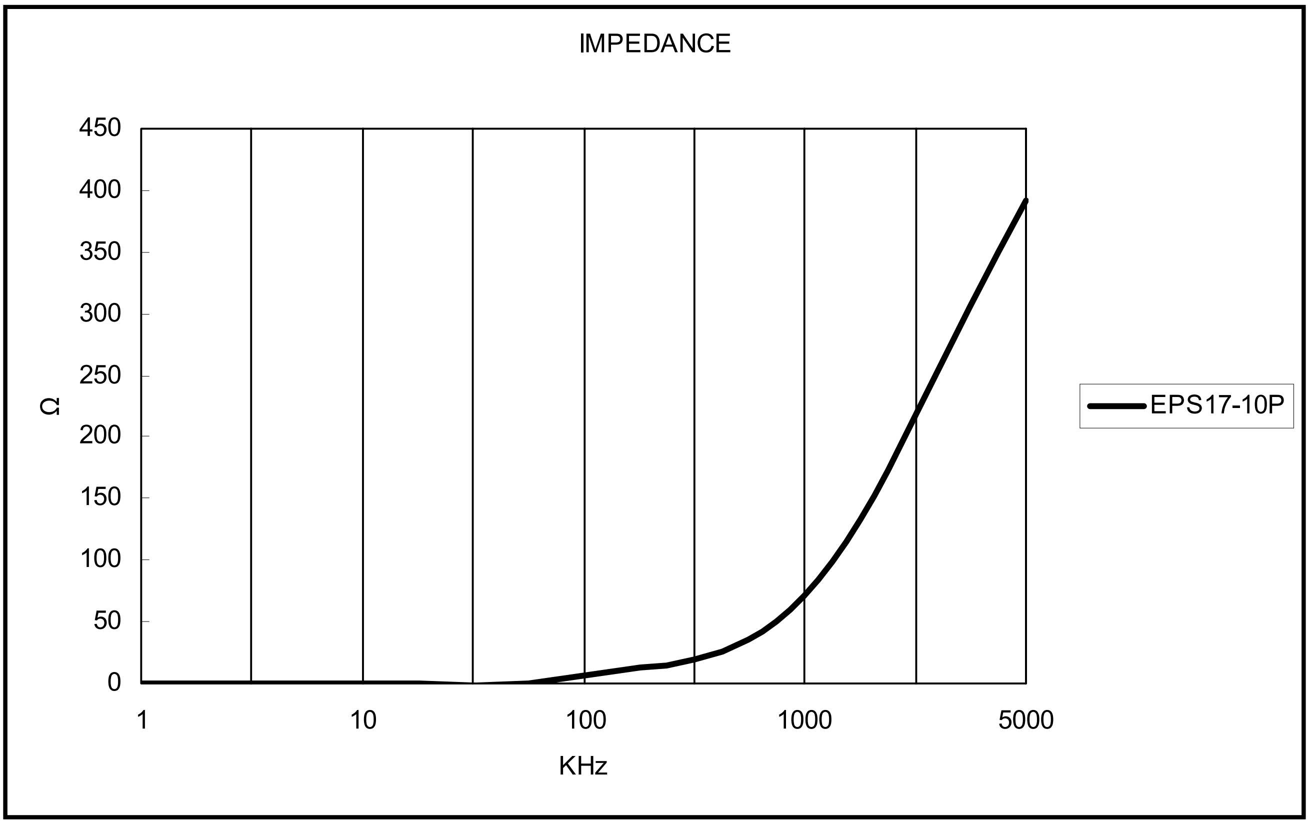
5. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

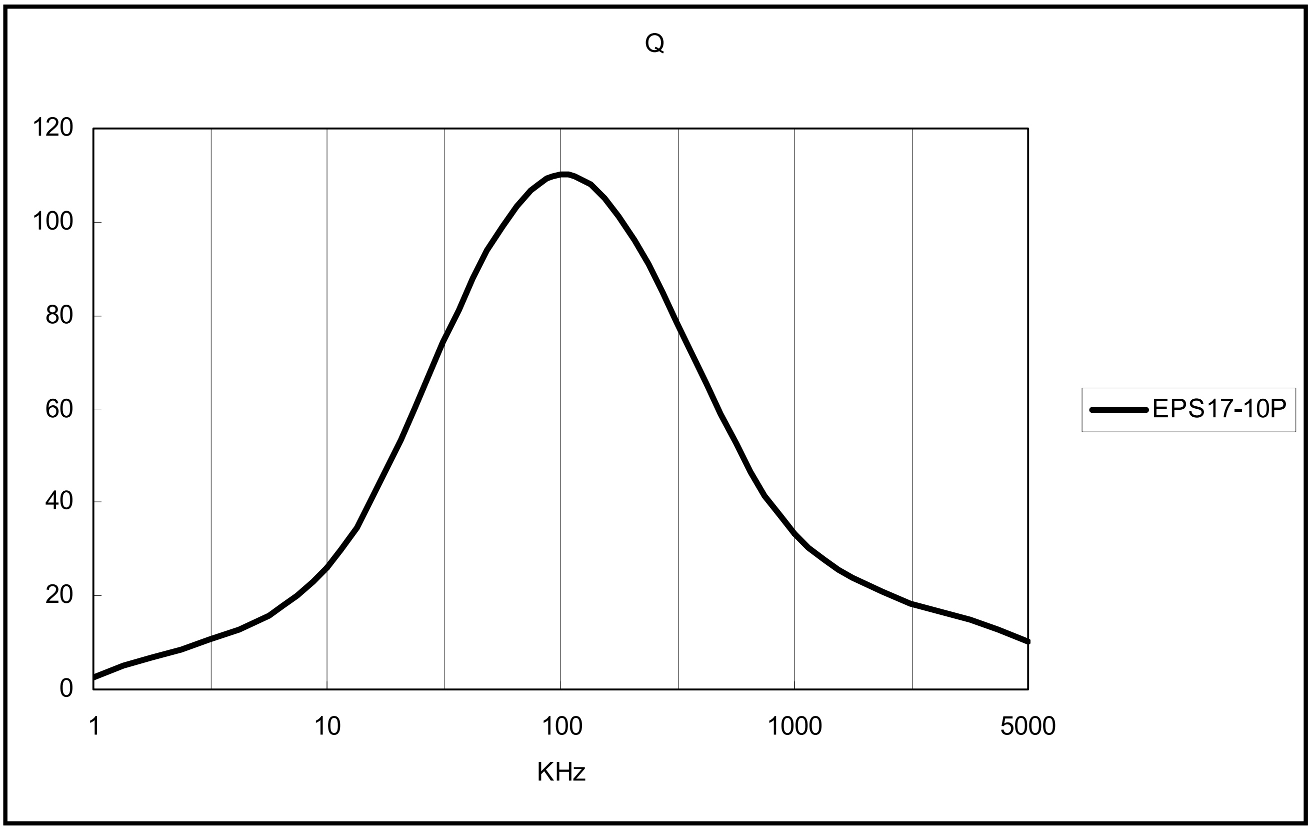
Part Code	inductance(1) L (uH)	Tolerance (%)	DC Resistance(2) (mΩ) max.	Rated DC Current(3) (A) max
EPS17-10P	11.0×2	±20	54.0	4.00

※ (2),(3) be measured at the pin ① - ③ shorted.

(1) Inductance is measured with a LCR meter **AG-4304(ANDO)** or equivalent. Test frequency at 1KHz.
(2) DC resistance is measured with a **HIOKI 3540 mΩ HiTESTER** or equivalent.
(3) Maximum allowable DC current is that which causes a 10% inductance reduction from the initial value.

6. IMPEDANCE & Q CHARACTERISTICS





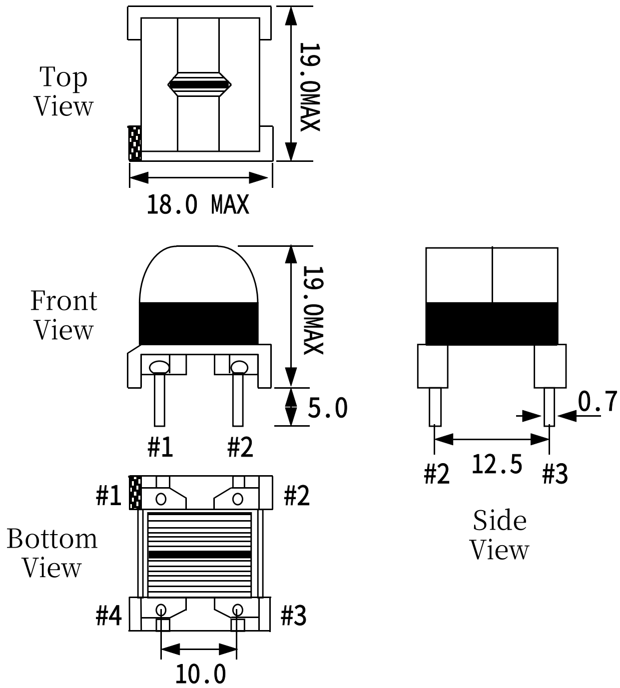
EPS 17A SERIES

1. PART CODE

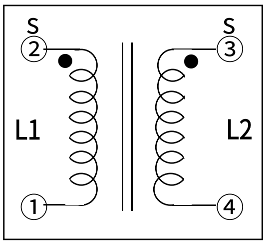
EPS 17 - A8.2 O

- S:Single Type
- P:Paired Type
- Inductance Value(uH)
- Core Size
- Core Type

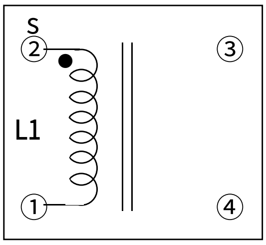
2. DIMENSION (Unit:mm)



3. CONNECTION



<Paired type>



<Single type>

4. FEATURES

1) The EPS series are characterized by low resistance, compact size, Light weight, and high current handling capacities.
2) The EPS series are magnetically shield by special core shapes. Can be used in high-density mounting configurations.
3) Suitable for Digital Amplifier LPF.
4) There is a series of many types for various kind of Digital Audio output.

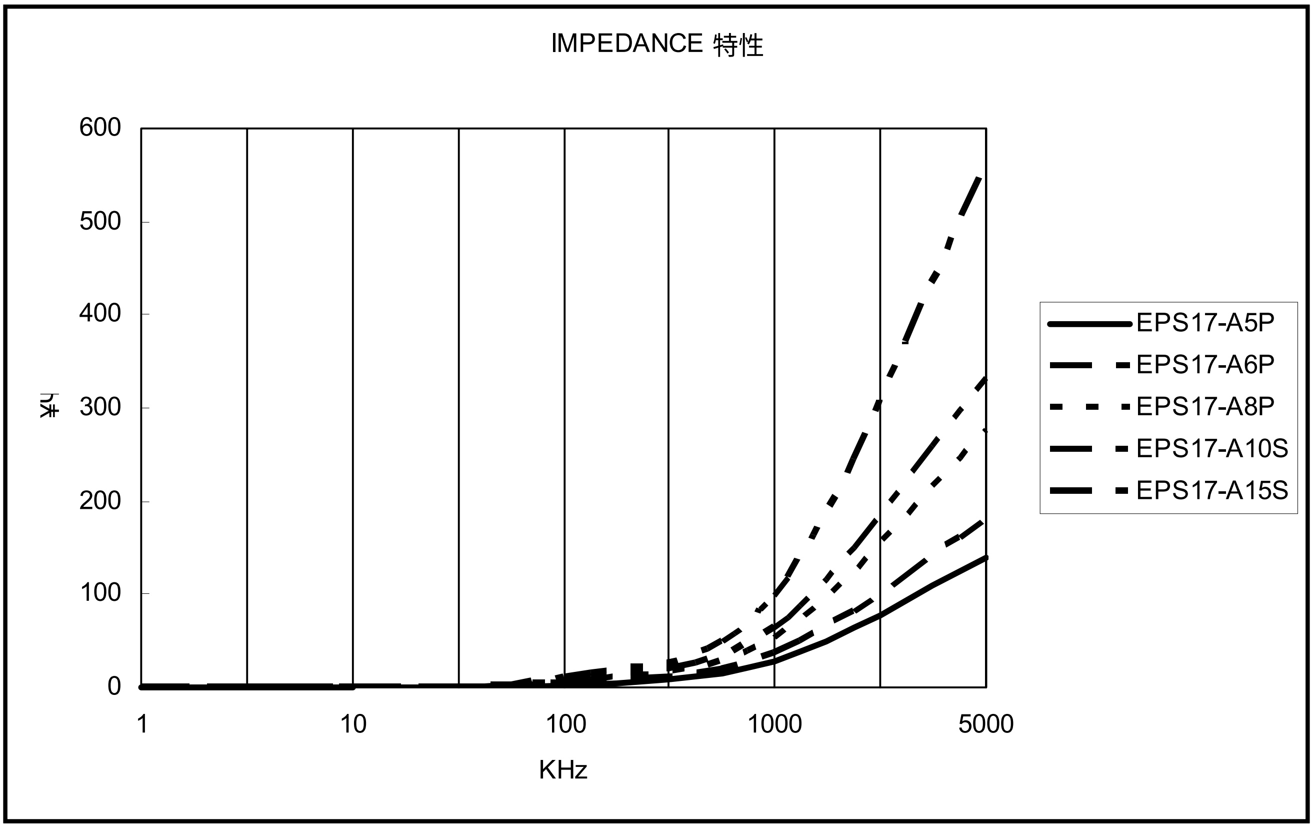
5. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

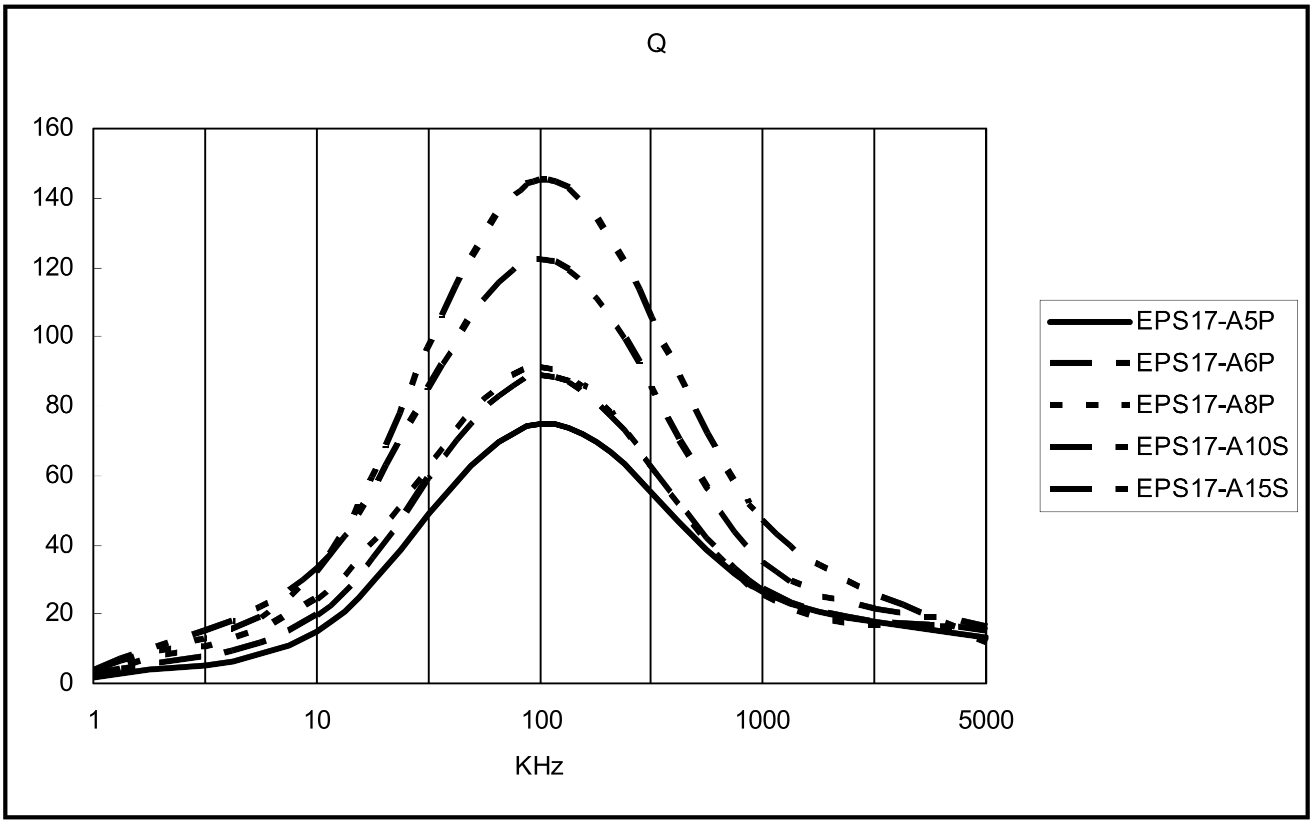
Part Code	inductance[1] L (uH)	Tolerance (%)	DC Resistance[2] (mΩ) max.	Rated DC Current[3] (A) max
EPS17-A5P	4.7×2	±20	38.0	9.00
EPS17-A6P	5.5×2	±20	43.0	8.20
EPS17-A8P	8.2×2	±20	50.0	7.10
EPS17-A10S	10.0×1	±20	23.0	10.5
EPS17-A15S	15.0×1	±20	28.0	9.30

※ (2),(3) be measured at the pin ① - ③ shorted.

(1) Inductance is measured with a LCR meter **AG-4304(ANDO)** or equivalent. Test frequency at 1KHz.
(2) DC resistance is measured with a **HIOKI 3540 mΩ HiTESTER** or equivalent.
(3) Maximum allowable DC current is that which causes a 10% inductance reduction from the initial value.

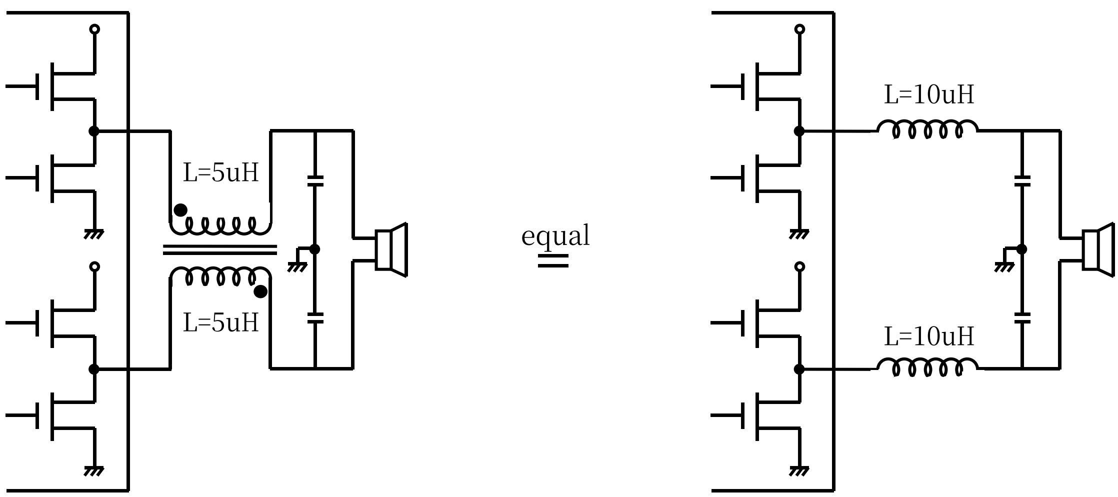
6. IMPEDANCE & Q CHARACTERISTICS





APPLICATIONS

1. The effect of Mutual Inductance (BTL Connections)



2. EPS series for various kind of digital audio output.

NO	PART NO	I_{dc}(A)		Audio output (W, THD : 1%)		
		Each Inductor	Paired Inductor	Speaker Impedance		
				8ohm	6ohm	4ohm
1	EPS13-5P	-	5.0	70	50	-
2	EPS13-7P	-	4.1	45	25	-
3	EPS13-10P	-	3.6	40	20	-
4	EPS17-10P	-	4.0	50	35	-
5	EPS17-A5P	-	9.0	140	120	100
6	EPS17-A6P	-	8.2	120	105	90
7	EPS17-A8P	-	7.1	100	90	80
8	EPS17-A10S	10.5	-	200	170	120
9	EPS17-A15S	9.3	-	160	135	90

Korea Coil Engineering Co.,Ltd. http://www.coiltrans.com

HEAD OFFICE :

RM 601, JUNGGYE-1st-COMPLEX, 511-2, JUNGGYE-3DONG, NOWON-GU, SEOUL, KOREA

TEL:[82]-2-974-7034 FAX:[82]-2-974-7345

TOKYO OFFICE :

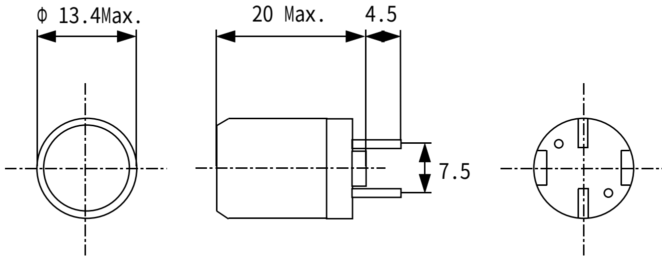
2619, KOZUKUE, KOHOKU-KU, YOKOHAMA-SI 222-0036

TEL/FAX:[81]-45-472-2482

NEW Fixed Inductor CPS SERIES

PATENT PENDING

DIMENSION(mm)



(Unit: mm)

FEATURES

1. **Suitable for digital amplifier low pass filter (LPF) and high current DC-DC circuit in all types of electronic instruments.**
2. **High current handling Capacities and Low cost by special patented core shapes.**
3. **Closed magnetic circuit construction and low leakage flux type.**

SPECIFICATIONS

Part Code	Inductance L (uH)	Tolerance (%)	DC Resistance (mΩ) max.	Inductance decrease Current(1) (A) max
CPS 01-220	22.0	±15	44.0	6.4
CPS 02-220	22.0	±15	42.0	9.0
CPS 01-270	27.0	±15	50.0	6.0
CPS 02-270	27.0	±15	47.0	8.3
CPS 01-330	33.0	±15	55.0	5.5
CPS 02-330	33.0	±15	51.0	7.6

※ **(1) Maximum allowable DC current is that which cause a 10% Inductance reduction from the initial value.**

PART CODE SYSTEM

CPS 01 - 220

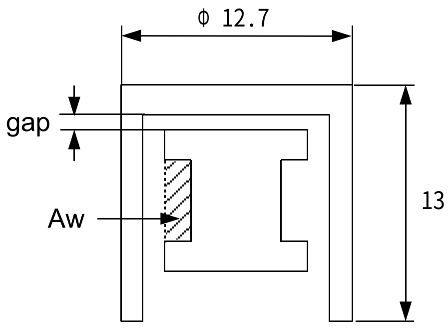
- 220: Inductance(22×10^0)
- 01: Core Material code(01:Ni , 02:Mn)
- CPS: KCE Type Name

KCE
KOREA COIL ENGINEERING CO.,LTD.
TEL) 82-2-974-7034
FAX) 82-2-974-7345

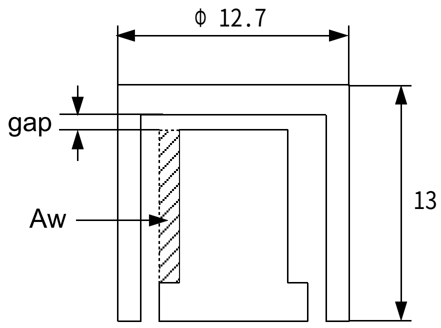
GET CO.,LTD.
TEL) 82-54-461-0701~5
FAX) 82-54-461-8036

NEW Fixed Inductor CPS SERIES TECHNICAL REPORT

1. DIMENSION & INTERNAL CONSTRUCTION



GENERAL TYPE



NEW CPS TYPE

2. MAGNETIC CORE ASS'Y PARAMETER

	WINDING AREA OF CORE. Aw(mm^2)	ELECTROMAGNETIC[1] FORCE Fm(AT)	AL-VALUE (NH/N^2)	DCR/Ts (mΩ)
NEW CPS	**10.88**	**162.3**	**52.1**	**2.12**
GENERAL TYPE	**7.95**	**102.0**	**57.8**	**1.94**
MERITS & DEMERITS	**39% UP**	**59% UP**	**10% DOWN**	**9.3% DOWN**

※ (1) Fm is that which causes a 15% inductance reduction from the initial value.

3. IMPROVEMENT METHOD OF DEMERITS

(1) Use a little thick of Magnetic wire.

	COIL	Ts	INDUCTANCE (uH)	AL-VALUE (NH/N^2)	DCR (mΩ)	Fm (AT)
GENERAL TYPE	**Φ0.5**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**45.4**	**101.7**
NEW CPS TYPE	**Φ0.5**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**52.4**	**161.7**
EXAMPLE 1	**Φ0.55**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**44.6**	**161.7**

(2) Shorten a little gap distance.

	GAP (mm)	Ts	INDUCTANCE (uH)	AL-VALUE (NH/N^2)	DCR (mΩ)	Fm (AT)
GENERAL TYPE	**0.75**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**45.4**	**101.7**
EXAMPLE 1	**0.60**	**23.5**	**29.8**	**54.0**	**50.5**	**145.7**
EXAMPLE 2	**0.47**	**23.5**	**31.0**	**56.1**	**50.2**	**136.3**
EXAMPLE 3	**0.25**	**21.5**	**31.0**	**67.1**	**45.8**	**114.0**

(3) Change Material of the Magnetic core (Ni → Mn)

	COIL	Ts	INDUCTANCE (uH)	AL-VALUE (NH/N^2)	DCR (mΩ)	Fm (AT)
GENERAL TYPE	**Φ0.5**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**45.4**	**101.7**
NEW CPS TYPE(Ni)	**Φ0.5**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**52.4**	**161.7**
EXAMPLE 1(Ni)	**Φ0.55**	**24.5**	**30.5**	**50.8**	**44.6**	**161.7**
NEW CPS TYPE(Mn)	**Φ0.5**	**23.5**	**31.1**	**56.3**	**49.7**	**185.7**
EXAMPLE 1(Mn)	**Φ0.55**	**23.5**	**31.4**	**56.9**	**42.4**	**185.7**

KCE
KOREA COIL ENGINEERING CO.,LTD.
TEL) 82-2-974-7034
FAX) 82-2-974-7345

GET CO.,LTD.
TEL) 82-54-461-0701~5
FAX) 82-54-461-8036

Digital 앰프와 LPF용 Inductor EPS시리즈
(Digital Audio전용 Low Pass Filter Inductor)

발행인:구 진욱
편집인:김 성규
발행처:코리아 코일 엔지니어링(주)

139-865
서울특별시 노원구 중계3동 511-2 중계제1공단 601호
Tel:+82-2-974-7034
Fax:+82-2-974-7345

인쇄처:코리아 코일 엔지니어링(주)