

MM Cartridge의 실드 케이블 분석

이 치 환
위덕대학교 전자공학과

Analysis of Shielded Cable for MM Cartridge

Chi Hwan Lee
Dept. of Electronic Eng., Uiduk Univ.

Abstract

LP 레코더로 부터 음향신호를 검출하는 MM 카트리지와 포노 앰프의 연결 케이블의 기능을 분석하고 평탄 주파수 특성을 위한 최적 길이를 결정하였다. RG-58 동축 케이블이 MM카트리지 연결에 적합함을 보이고 OP-amp로 RIAA 필터를 구성하고 케이블 길이에 따른 음색 변화를 확인하였다.

1. 서론

1920년대 개발된 그라모폰 레코더는 에디슨의 실린더 레코더를 대체하고 21세기에서도 여전히 인기를 누리고 있다. CD의 우수한 특성에도 불구하고 LP 레코더의 소리를 선호하는 것도 사실이다. LP 레코더는 낮은 주파수는 압축하고, 높은 주파수는 신장시킨 신호를 기록하므로 음향신호 재생을 위해서는 반드시 RIAA 곡선을 따르는 저역통과 필터를 사용해야 한다. LP 레코더에서 신호를 검출하는 카트리지는 moving magnet(MM) 및 moving coil(MC) 가 주로 사용된다. MM은 MC보다 높은 수[mV] 출력전압을 제공하므로 많이 사용되며 MC는 보다 우수한 음향특성이 있다.

포노 앰프의 설계는 20세기에 완성된 기술로 매우 우수한 음향 특성을 가지는 기기들이 존재한다. 일반적으로 MC는 수100[uV] 출력으로 승압변압기를 거쳐 RIAA 곡선을 유지하는 MM 포노앰프에 연결된다. RIAA 곡선은 OP-amp와 R-C의 조합으로 완벽한 구현이 가능하다. LP 레코더의 음향 특성은 턴테이블, 카트리지 및 포노 앰프에 따라 변하며 디지털 음원에 비해 자연스러움을 가진다고 알려져 있다. MC는 코일이 움직이는 구조로 수[mH]의 인덕턴스를 가지며 접촉되는 공칭 부하저항 100[Ω]으로 연결선의 정전용량에 영향 받지 않는다. 반면, MM은 100~500[mH] 인덕턴스를 가지며 연결 케이블의 정전용량에 따라 특성이 쉽게 변화한다.

본 연구는 MM 카트리지의 비선형 특성을 분석하고 주파수 특성을 해석하여 20[kHz]까지 평탄한 대역을

확보하는 방법을 제시하였다. 카트리지와 포노 앰프 연결 케이블(RG-58)의 길이로 정전용량을 조절하여 왜곡없는 신호를 얻었다. OP-amp를 사용하여 RIAA 곡선을 만족시키고 아날로그 및 192[kHz] 샘플링 디지털 출력이 가능한 포노 앰프를 제작하였다.

2. MM 카트리지 등가회로

MM 카트리지는 코일과 철편 자기회로를 설치하고 자기회로 공극에서 자석이 움직이는 구조를 가진다. 그림 1과 같이 발생하는 기전력 V_m , 코일저항 R_m , 코일 인덕턴스 L_m 으로 MM 카트리지를 나타낼 수 있다. 카트리지 출력은 케이블을 통과하여 포노 앰프에 연결된다. 저항 R_p 는 포노 앰프의 입력저항이며 C_p 는 케이블 정전용량이 포함된 포노 앰프의 입력부 정전용량이다.

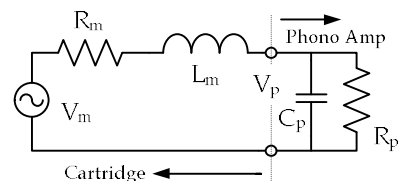


Fig. 1 Equivalent circuit of MM cartridges

카트리지에서 발생하는 전압 V_m 은 주파수가 20[Hz]~20[kHz] 범위이다. 등가저항 R_m 은 코일의 권선저항 및 자기회로의 손실을 포함한다. 주파수의 증가에 따라 R_m 은 커지고 L_m 은 작아지게 된다. 수[kHz]까지는 자기회로의 저항이 크게 변하지 않으므로 느린 변화를 보이지만 그 이상에서는 급격하게 변화한다. 주파수 1[kHz]에서 측정한 R_m , L_m 의 공칭값은 카트리지의 주파수 대역 해석에 실제적인 적용이 불가능하다. MM 카트리지의 공칭 부하저항은 47[kΩ]이다. 추천하는 C_p 는 100~400[pF]이며 포노 앰프와 연결케이블의 정전용량이 포함된 값이다.

그림 2는 주파수 변화에 따른 R_m , L_m 의 변화를 보인다. 카트리지 A의 공칭값은 360[Ω] 140[mH]이며 카트리지 B는

620[Ω] 340[mH]이다.

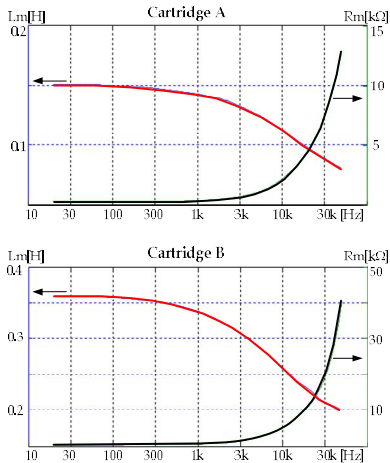


Fig. 2 Frequency characteristics of Rm and Lm

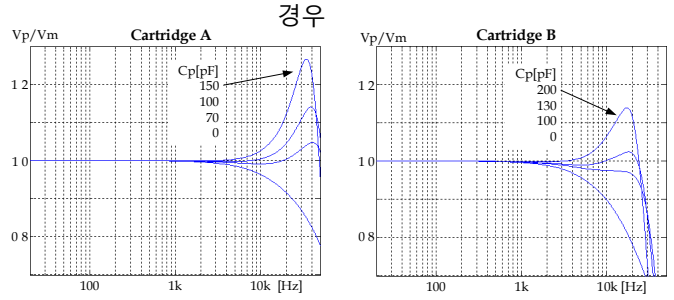
카트리지 A, B는 서로 다른 공칭값을 가지지만 주파수에 대한 변화는 유사하다. 주파수 1[kHz]에서 Rm의 증가가 시작된다. Lm은 300[Hz]에서 감소되기 시작한다. Lm은 주파수 30[kHz]에서 약 65[%]로 감소되지만 Rm은 250배 정도 증가한다. 그림 1의 Rp 양단 전압 Vp는 Cp=0 일때, 주파수 3[kHz]부터 감소하게 된다.

Table 1. Capacitances of shielded cables

Cable	pF/m
Audio cable	200
RG-58	100
RG-59	68

카트리지와 포노 앰프를 연결하는 실드 케이블은 종류에 따라 정전용량이 크게 변화한다. 카트리지와 포노 앰프 연결시 허용하는 400[pF]의 정전용량은 audio cable의 경우 최대 2[m]이다. 케이블의 길이에 따라 정전용량이 변하며 그림 1의 등가회로에서 보면, 정전용량 Cp와 Lm은 직렬공진하게 된다. 공진주파수에서 Cp 양단전압은 최대값을 나타내므로 공진회로의 Q가 주파수 특성에 영향을 미치게 된다.

LP 레코더의 재생특성을 평탄하게 만들기 위해서는 주파수 대역 20[Hz]~20[kHz]에서 전압 Vm이 전압 Vp로 평탄하게 전달되어야 한다. 카트리지의 Rm, Lm이 비선형이므로 수식 전개가 불가능하다. 그러므로 평탄 특성을 결정하는 Cp는 MATLAB으로 시뮬레이션하여 찾을 수 있다. 카트리지 A, B에 대해 Cp를 변화시켜 주파수 특성을 표시한 것이 그림 3이다. 상대적으로 작은 Lm을 가지는 카트리지 A는 70[pF]에서 최적값을 보이며, 카트리지 B는 100[pF]에서 얻어진다. Cp가 영인 경우는 고역 감쇄가 크게 나타난다. 일반 RCA 케이블이 길이 2[m]이며 필연적으로 고역이 크게 나타날 것이다. RG-58의



길이는 70[cm], 130[cm]로 각각 결정된다.

Fig. 3 Bandwidths of Vp/Vm

3. 포노 앰프

포노 앰프는 RIAA 필터이며 극점 50, 2200[Hz] 및 영점 450[Hz]를 가진다. 20~20000[Hz]에서 40[dB] 이득변화를 가지는 저역통과 필터의 특수한 형태이다. OP-amp를

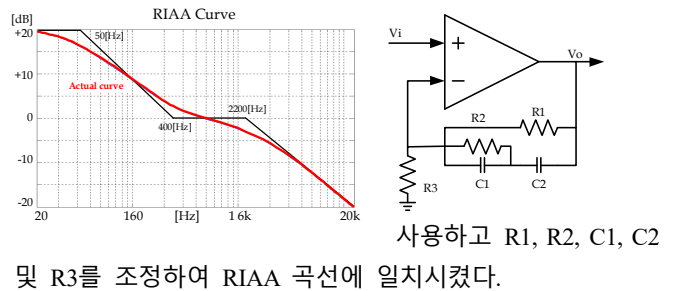


Fig. 4 RIAA filter

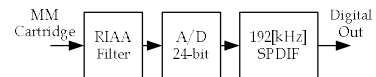


Fig. 5 MM phono amplifier

4. 결론

MM 카트리지와 포노 앰프를 연결하는 케이블의 작용을 해석하고 케이블 길이에 따라 주파수 특성이 변하고, 케이블 길이의 최적값을 결정하였다. RIAA 곡선은 OP-amp 필터로 구현하고 SPDIF 디지털 출력이 부가된 포노 앰프를 제작하여 제시된 케이블 길이가 최적임을 확인하였다.

Reference

[1] Douglas Self, Small Signal Audio Design, Focal Press, 2010
 [2] Douglas Self, Audio Engineering: Know It All, Newnes, 2008.