

# 무절연 궤도회로의 ESJ설계에 대한 연구 ( A Study on the Design of ESJ of Jointless Track Circuit)

김정열\*      신석균\*\*      정용운\*\*      이기서\*\*\*      이길영\*\*\*\*  
Kim Joung-Youl    Shin Seok-kyun    Joung Youg-Hoon    Lee Key-Seo    Lee Gil-Young

---

## ABSTRACT

In this paper propose the new method on desig ESJ(Electrical Separation Joint) of Jointless Track Circuit . ESJ has a capability to separate track signal electrically but enable conected a track section physically. So It is more proper to high-speed line. Because that demand a critical traveling safety and convient taking a train. In spite of existing ESJ of Jointless Track Circuit, UM71, S-bond, According to new pole-zero placement and desgining tuining-unit, It is possible to prove a independence of track-section and track-signal in new ESJ design of this paper

---

### 1. 서론

일반적인 궤도회로에서는 궤도구간과 궤도신호의 독립성의 보장을 위해 임피던스 본드와 궤도 절연물을 사용하여 전기적,물리적으로 궤도구간을 나누는 유절연식 궤도회로가 사용되고 있다.이런 유절연식 궤도회로와 더불어 궤도구간과 궤도신호의 독립성의 보장이 가능한 무절연식 궤도회로 방식이 존재한다. 무절연식 궤도회로는 전기적으로 인접 궤도구간과 분리가 되어 있으나 물리적으로는 인접 궤도구간과 연결이 되어 있다. 그러므로 열차의 고속화에 따른 열차의 주행 안정성과 승차감을 위해 유절연식 궤도회로보다는 무절연식 궤도회로방식이 적절하다.이런 특성을 가지기 위해 무절연식 궤도회로는 ESJ(Electrical Separation Joint)를 사용한다. ESJ의 역할은 각각의 궤도구간의 고유 궤도신호가 인접구간의 궤도구간으로 넘어가지 않게하며, 자신의 궤도구간의 고유 궤도신호가 다른 구간으로 넘어가지 않게 한다.

그러므로 ESJ는 특정 궤도주파수에 대해 pole과zero의 특성을 가져야 한다. 그리고 열차진입시, 귀선전류의 영향에 의한 발생 할지 모르는 불평형에 의한 궤도신호의 감쇠를 방지 해야 한다. 또한 상호 궤도구간의 중첩이 가능하도록 ESJ를 설계하여 열차의 연속적인 검지가 가능하도록 해야한다. 기존의 무절연식 궤도회로의 ESJ는 UM71과 S본드등이 있어 위에서 제기한 문제들을 만족하였으나, 본 논문에서는 pole과 zero 의 새로운 배치에 따른 tuining-unit 설계와 이에 대한 시뮬레이션을 통해 새로운 구조와 특성을 가진 ESJ를 설계 하였다.

---

\* 비회원, 광운대학교 석사과정

\*\* 비회원, 광운대학교 박사과정

\*\*\* 정회원, 광운대학교 제어계측공학과 정교수

\*\*\*\* 정회원, 한국철도대학

- 
- \* 비회원, 광운대학교 석사과정
  - \*\* 비회원, 광운대학교 박사과정
  - \*\*\* 정회원, 광운대학교 제어계측공학과 정교수

## 2. 기존의 ESJ의 구조.

그림1.은 UM71의 구조와 각 궤도신호와 tuing-unit의 pole과 zero의 관계를 나타낸 것이다. 즉, tuing-unit는 ACI(Air-Core-Inductor)과 더불어 pole과zero를 형성하여 궤도신호가 상호 인접 궤도구간과 중첩을 가능케 하고 궤도신호의 독립성을 보장한다.

그림2. 는 각각의 궤도구간의 궤도신호 F1과 F2의 ESJ에서의 신호 흐름을 나타낸 것이다.

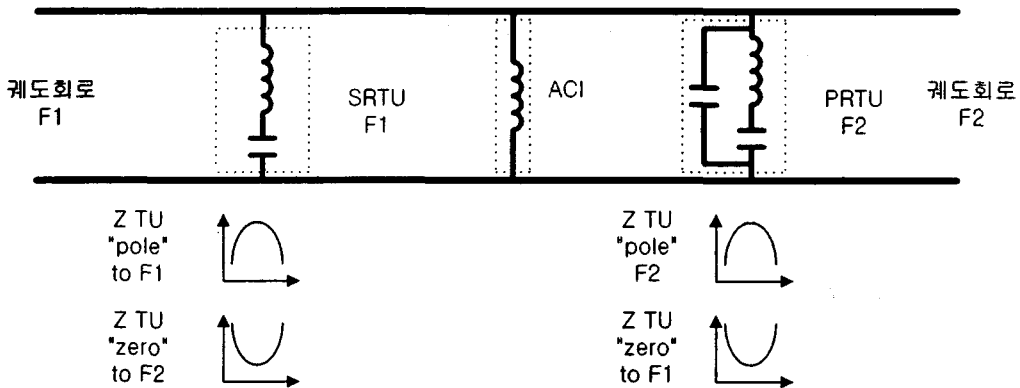


그림1. ESJ의 회로도

무절연 AF 궤도회로는 궤도구간을 전기적으로 구분한다. 이를 위하여 ESJ를 사용한다. ESJ는 궤도구간의 전기적인 구분을 위하여 일종의 LC 공진회로로서 동작한다. ESJ는 2 개의 튜닝 유니트(Tuning Unit)와 그 사이의 공심 인덕터(Air Core Inductor)로 구성되어 있다. 2 개의 튜닝 유니트는 각각 직렬 공진회로(SRTU)와 병렬 공진회로(PRTU)이다. 따라서 인접한 궤도구간의 궤도신호는 ESJ에서 서로 중첩되므로 열차점지의 연속성을 보장받을 수 있다. 그림1 은 ESJ를 나타낸 것이다.

그림1.에서 ESJ는 인접한 궤도회로의 궤도주파수 F1에 대하여 직렬공진 튜닝 유니트는 극점으로 동작하고, 병렬공진 튜닝 유니트는 영점으로 동작하는 공진회로가 된다. 그리고 반대편 궤도회로의 궤도주파수 F2에 대하여 병렬공진 튜닝 유니트가 극점으로 동작하고, 직렬공진 튜닝 유니트는 영점으로 동작한다. 따라서 주파수 F1의 궤도신호는 직렬공진 튜닝 유니트에는 전류가 거의 흐르지 않고 병렬공진 튜닝 유니트와 공심 인덕터를 거쳐 귀환한다. 마찬가지로 주파수 F2의 궤도신

호는 병렬공진 튜닝 유니트에는 전류가 거의 흐르지 않고 직렬공진 튜닝 유니트와 공심 인덕터를 거쳐 귀환한다. 그림2는 공진회로의 기능을 하는 ESJ의 전기적 등가회로를 나타낸 것이다.

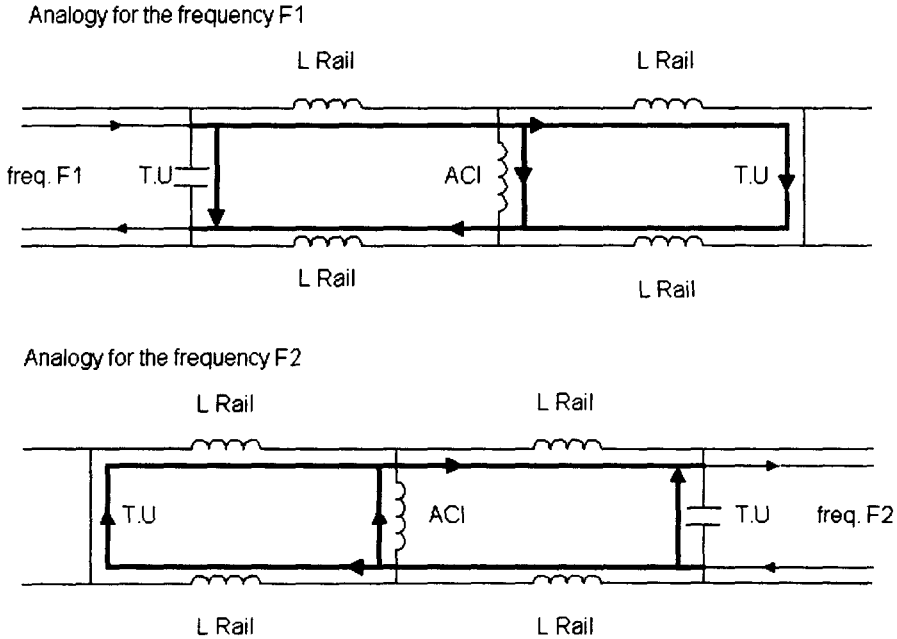


그림2. ESJ의 등가회로.

Fig1. Fig2.에서 알 수 있는바와 같이 ESJ에서의 pole과 zero의 배치에 의한 궤도신호의 흐름을 결정하는 것은 매우 중요하다. 또한 이를 구현하기 위해서는 궤도주파수의 대한 tuning-unit의 설계가 이루어져야 한다.

### 3. 새로운 ESJ의 구현.

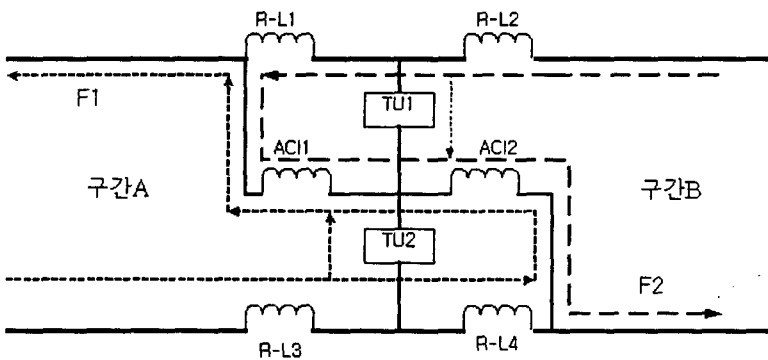


그림3. 새로운 구조의 ESJ

위의 그림3.은 AF무절연 궤도에 적용되는 새로운 구조의 ESJ를 나타낸 것이다

- F1:구간A의 궤도신호                      R-L1,2,3,4:ESJ구간의 Rail Inductor
- F2:구간B의 궤도신호                      ACI1,2: Air-Core-Inductor
- TU1:상부tuining-unit
- TU2:하부tuining-unit

위의 구조는 인접한 두 궤도구간이 동시에 열차를 검지하기 위해서 ESJ구간을 상,하 절반으로 나누었다. 그리고 궤도신호 F1과F2의 pole과zero의 특성을 만족하기 위한 구조는 TU1,TU2와 Rail Inductor, Air-Core-Inductor 가 함께 상호 작용하여 가능케 하였다.

그러므로 ESJ구간의 결정은 TU1,TU2와 Rail Inductor, Air-Core-Inductor의 수치에 의해 결정 된다. 또한 궤도상에 발생하는 불평형의 해소와 귀선 전류의 추출을 위하여 Air-Core-Inductor를 설치하였다.

**4. tuining-unit의 설계.**

그림4, 그림5.는 궤도주파수 F1과 F2에 대한 pole과 zero를 담당하는 부분들에 대한 그림이다.

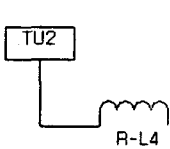


그림4a. 주파수F2에 대한 pole

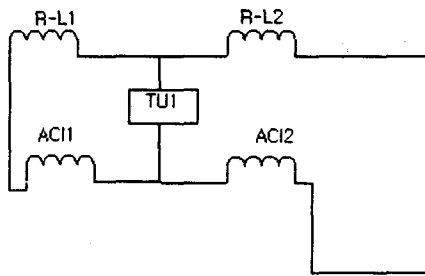


그림4b.주파수 F2에 대한zero

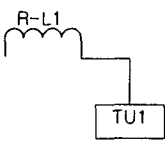


그림5a. 주파수F1에 대한 pole

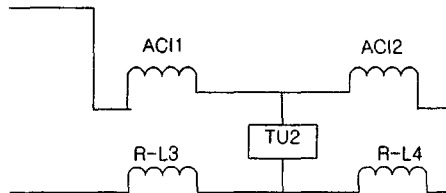
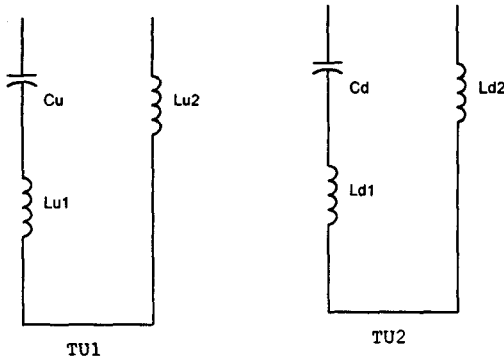


그림5b.주파수 F1에 대한zero

위의 그림에서 나타내는 바와 같이 주파수 F1과 F2의 pole와zero의 수행은 tuining-unit만 가지고 행하여지는 것이 아니라 ESJ구간의 Rail Inductor와 Air-Core-Inductor가 함께 작용하는 것이다. 그러므로 전체구간의 등가회로를 만들어 tuining-unit의 L과 C값을 구하여야 한다.

tuining-unit의 구조는 다음과 같다.



TU1과 TU2의 구성은 기본적으로 동일하다. 각각의 tuning-unit의 구성의 결정은 궤도 신호 주파수에 따라 결정되어야 하며, 그림6의 구조는 FSK의 원활한 변조와 증폭과 F1의 주파수 2760Hz와 F2의 주파수 2040Hz의 특성을 감안한 결과이다.

그림6. tuning-unit1,2의 구조

위의 과정에 의해 TU1과 TU2의 L과C값을 구하는 과정은 다음과 같다.

$$F1(2760): \left[ \left( \frac{TUP1 \times (0.5ACI + R_L)}{TUP1 + (0.5ACI + R_L)} + 0.5ACI + R_L \right) \right] \text{ (zero 작용)}$$

$$[TUP2 + R_L] \text{ (pole 작용)}$$

$$F2(2040): \left[ \frac{TUP2 \times (0.5ACI + R_L)}{TUP2 + (0.5ACI + R_L)} + 0.5ACI + R_L \right] \text{ (zero 작용)}$$

$$[TUP1 + R_L] \text{ (pole 작용)}$$

ACI=에어 코어 인덕터의 리액턴스,  $R_L$ =본드구간의 레일 리액턴스

각각의 궤도 신호 주파수 F1과 F2에 대해 네 개의 식이 도출이 가능하다. 이 네 개의 식중에서 각각 TUP1과 TUP2의 관한 2가지의 식으로 나눌수 있게 된다. 그래서 궤도 신호 주파수 F1과 F2와 TUP1과 TUP2의 pole, zero 특성을 만족하는 연립방정식은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$\frac{(jL_u \omega_1 + \frac{1}{j\omega_1 C_u}) \times jL_m \omega_1}{jL_u \omega_1 + \frac{1}{j\omega_1 C_u} + jL_m \omega_1} = -21.04 \times 10^{-6} j\omega$$

$$jL_u \omega_2 + \frac{1}{j\omega_2 C_u} + jL_m \omega_2 = 0$$

식1] TU1에 대한 연립 방정식.

$$\frac{(jL_d \omega_2 + \frac{1}{j\omega_2 C_d}) \times jL_d \omega_2}{jL_d \omega_2 + \frac{1}{j\omega_2 C_d} + jL_d \omega_2} = -21.04 \times 10^{-6} j\omega$$

$$jL_d \omega_1 + \frac{1}{j\omega_1 C_d} + jL_d \omega_1 = 0$$

식2] TU2에 대한 연립 방정식.

$$\begin{aligned} * \omega_1^2 &= (2 \times 2760 \times \pi)^2 & ACI &= 33\text{uh} \\ \omega_2^2 &= (2 \times 2040 \times \pi)^2 & R-L_{1,2,3,4} &= 25.58\text{uh} \end{aligned}$$

위의식은 앞에서 언급했던 바와 같이 FSK의 원활한 변조와 증폭과 F1와 F2의 주파수 특성에 의해 tuning-unit의 구조가 바뀌면 동시에 바뀌게 된다.

### 5. 설계 결과.

위에서 도출한 식을 이용하여 직접 PSpice를 이용하여 다음의 결과를 얻었다.

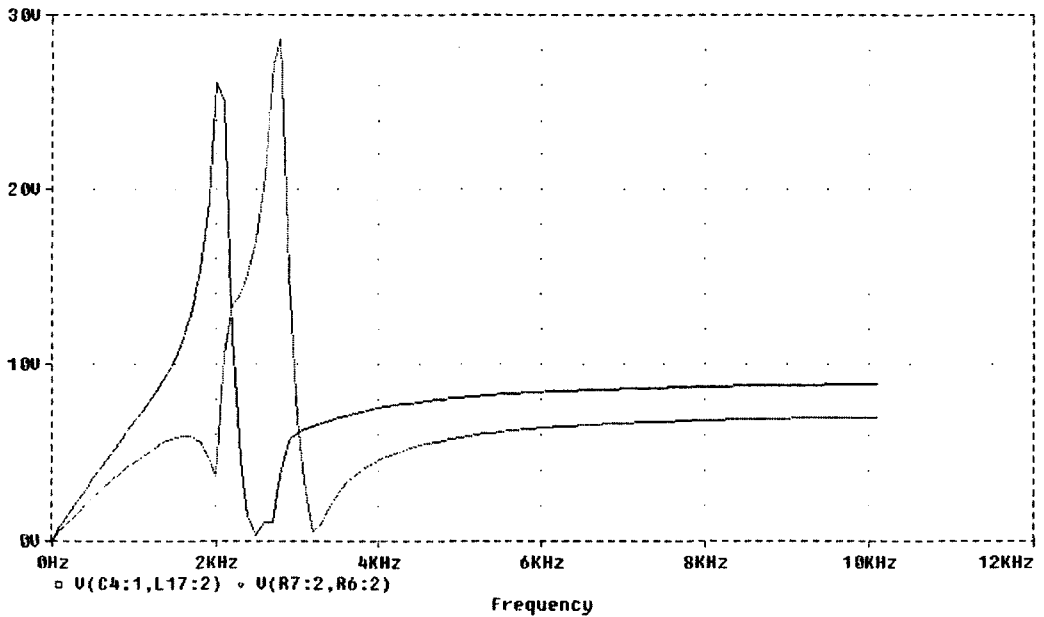


그림7. 시뮬레이션 결과

이 결과에서 알 수 있듯이 인접 채널 주파수를 blocking하고 자신의 채널 주파수만을 pass하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 그림3.에서 구간A와 구간B의 채널 신호 주파수를 성공적으로 분리함

을 볼 수 있다.

## 6. 결론.

본 논문에서는 새로운 구조의 ESJ의 개념과 설계를 제시 하였다.

기존의 ESJ와는 전혀 다른 구조와 특성을 가지며 직접 ESJ구간에서 귀선전류의 추출이 가능하다. 그래서 외국기술의 도입 없이 순수한 국내 기술로 ESJ의 개발이 가능함을 보였다.

그러나 실제 현장에서 ESJ를 설치하는 경우 레일 특성과 궤도 구간 특성에 따라 주파수의 응답 특성이 다르게 나타날 수 있으므로 각 tuning-unit의 L과C값의 10%범위 내에서 조정을 하여 현장 상황에 맞추어야 한다. 그리고, 궤도 주파수의 특성과 전송방식에 따라 tuning-unit부만 교환이 가능하여 다양한 방식의 무절연 궤도회로에서 사용이 가능하다

### 참고문헌

1. O.S. NOCK (1980년), "Railway Signaling", A&C Black . London
2. H.Yoshimura, S.Yoshikoshi (1983), "RAILWAY SIGNAL", JASI
3. 정용운(1997), "Heaviside 조건을 이용한 레일 보상에 관한 연구", 광운대학교 제어계측공학과 석사 학위 논문
4. 한승진, 정용운, 천기하, 이기서, 박영수, 유광균(1996), "궤도 회로의 전기적 특성에 관한 연구", 대한전기 학회 하계 학술대회
5. R.J.Hill, D.C.Carpenter, "Rail track distributed transmission line impedance and admittance: theoretical modeling and experiment result", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 42, no. 2, May 1993