

가청주파수 궤도회로의 진단 및 시험 장비 개선에 대한 연구

(A Study on the Improvement of Test and Diagnosis Device for
Audio Frequency Track Circuit)

강장규* · 김재철**

(Jang-Kyu Kang · Jae-Chul Kim)

Abstract

We studied on performance improvement of TTM(TI21 Test Meter) that is test and diagnosis devices for jointless audio frequency track circuit on Korean electric railway TI21 standard. Upgraded devices is AD-TTM(Advanced TI21 Test Meter). This can measure alternating frequency USB(Upper signal band) and LSB(Lower signal band). In the audio frequency track circuit, ± 17 [Hz] of nominal frequency are demodulated and supplied to track relay through AND gate. It is important that measurement function which is error between USB and LSB. Need of AD-TTM will stand out in the electric railway system because this is simple and accurate rather than the former device.

Key Words : Jointless Audio Frequency track circuit, TTM(TI21 Test Meter),
AD-TTM(Advanced TI21 Test Meter)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

우리나라 철도시스템에서 열차의 안전운행을 확보하기 위하여 선로를 일정 구간별로 구분하고 각 구간에 하나의 열차만 진입을 허용함으로써 열차의 충돌을 방지하는 폐색구간 방식이 사용되고 있다. 궤도회

로는 직류궤도회로, 교류궤도회로, 정류궤도회로, AF 궤도회로, 코드궤도회로 등 여러 방식이 있으나 현재 대표적인 궤도회로는 역 구내에는 유절연 방식의 임펄스 궤도회로(HVI : High Voltage Impulse)와 역간에는 무절연 가청주파수(AF)궤도회로가 적용되고 있다[1-3]. 최근 ATC(Automatic Train Control), ATO(Automatic Train Operation), ATP(Automatic Train Protection)등의 적용을 위하여 전 구간을 AF(Audio Frequency)궤도회로로 변경하고 있는 실정이다. 표 1은 한국철도구간의 AF궤도회로의 적용 누적개소 수를 연도별로 표시하였다.

* 주저자 : 대한전기학원 원장
** 교신저자 : 송실대학교 전기공학부 교수
Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
접수일자 : 2010년 8월 4일
1차심사 : 2010년 8월 11일
2차심사 : 2010년 10월 12일
심사완료 : 2010년 12월 10일

표 1. AF궤도회로의 증가 추이
Table 1. The basic configuration of AF track circuit

구분	2007년	2008년	2009년	2010년 (현재계획 포함)
AF궤도회로	2,925	3,133	3,434	4,265
임펄스 궤도회로	10,793	10,543	10,879	10,048

[참조 : 한국철도공사 신호제어 설비 시설물 현황]

AF궤도회로는 설치나 기능 측면에서 매우 유리하므로 한국철도의 경영합리화 측면에서 적용이 확대되고 있다. 따라서 AF궤도회로의 진단 및 시험장비의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 현재 주로 사용되는 장비는 멀티테스터, FLUKE 87III, TTM 등이 있다. 이들 중에서 TTM은 가장 정확하고 편리하지만 전량 수입에 의존하고 고가이다. TTM은 궤도회로를 거쳐 수신부로 들어오는 공칭주파수의 $\pm 17[\text{Hz}]$ 복조부의 USB와 LSB를 구별하여 측정할 수 없는 문제점이 있으므로 어느 쪽의 에러인지 판단할 수 없다. 본 논문은 이러한 문제점들을 연구하고자 한다.

1.2 연구의 목적 및 방법

한국철도구간에 적용되고 있는 AF궤도회로는 증가 추세에 있으며 AF궤도회로의 설치와 점검 및 USB와 LSB에 장애 발생 시 측정할 수 있는 장비가 필수적이다. 일반적인 측정 장비인 멀티테스터, FLUKE 87III 등은 정확도와 편리성 및 기능의 한계로 AF궤도회로의 측정에는 적합하지 않으며, TTM은 성능은 좋으나 전량 수입에 의존하고 고가이며 보급 수량이 적은 실정이다. 따라서 현장의 엔지니어가 손쉽게 사용할 수 있는 확실한 전용장비가 필요하다. TTM은 AF궤도회로의 USB와 LSB를 구별하여 측정할 수 없기 때문에 송신기 측의 오류발생시 검출이 곤란한 단점이다.

본 논문에서는 기존 TTM의 기능분석을 통하여 엔지니어가 간편하게 사용할 수 있는 정확한 측정 장비를 연구하였으며 특히 AF궤도회로 수신기의 동작기

준인 주파수대역($\pm 17[\text{Hz}]$ 교번)의 측정이 가능하도록 하였다.

2. 가청주파수(AF)궤도회로

2.1 AF궤도회로의 개요

AF궤도회로장치는 사람이 청각으로 들을 수 있는 16~20,000[Hz]대의 가청주파수를 사용한다. AC 및 DC 전철화 구간에서 차상신호전송이 용이하도록 되어 있으며 역 구내용 자동폐색용 및 중계용으로 분류할 수 있다.

AF궤도회로장치는 기능별로 그림 1과 같이 주파수 발생부인 송신부, 수신부, 튜닝부, 감시부와 전원부로 구성된다[4].

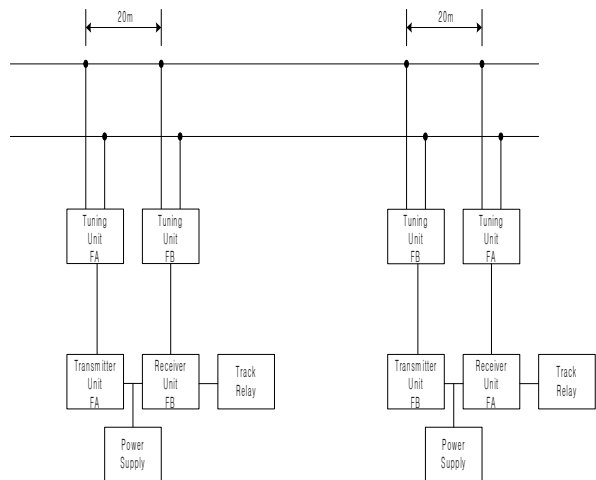


그림 1. AF 궤도회로 기본 구성도
Fig. 1. The basic configuration of AF track circuit

2.2 주파수 할당

국내에 주로 적용되고 있는 무절연 가청주파수(AF) 궤도회로는 Bombardier에서 개발된 궤도회로(TI21)로 AC 또는 DC 전철화 구간에서 모두 사용이 가능하다. 표 2와 같이 1,549~2,593[Hz]의 가청주파수(AF)를 A~H의 8종류의 AF궤도회로 주파수로 구분하고 A/B, C/D, E/F, G/H의 4조로 구성하여 사용한다[5].

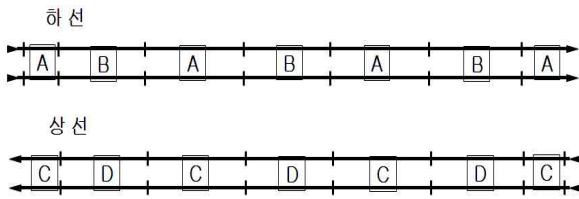


그림 2. 주파수 할당
Fig. 2. Frequency allocation

하나의 궤도에 주파수 2개를 1조로 하여 그림 2와 같이 A와 B, C와 D를 교대로 사용한다. 동일한 선로에는 2조의 주파수를 사용하지 않는다.

표 2. T121 AF궤도회로 주파수 배분표
Table 2. Residual properties of T121 AF track circuit frequencies

궤도	주파수 관련 문자	공칭 주파수 ([Hz])	실제 주파수([Hz])	
			저주파수 (+2 ~ -1)	고주파수 (+2 ~ -1)
1	A	1699	1682	1716
	B	2296	2279	2313
2	C	1996	1979	2013
	D	2593	2576	2610
3	E	1549	1532	1566
	F	2146	2129	2163
4	G	1848	1831	1865
	H	2445	2428	2462

[참조 : KRS-SG-0038-07(R) 무절연가청주파수 (AF)궤도회로 [표 15]] [5]

2.3 무절연 AF 궤도회로 송·수신기 블록선도

무절연 AF 궤도회로 송신기의 동작은 그림 3과 같이 멀티바이브레이터에서 4.8[Hz]의 구형파를 발진하면 발진기는 공칭주파수의 ±17[Hz]를 발진하여 모듈레이터를 거쳐 만들어진 FSK(Frequency Shift Keying Modulation)파형이 증폭기를 통해서 매칭트랜스와 필터 그리고 TU를 통하여 궤도에 보내진다.

수신기의 동작은 그림 4와 같이 궤도를 통하여 전달된 신호를 TU를 통하여 받고 입력트랜스를 거쳐 공칭

주파수의 ±17[Hz]가 각각 필터와 증폭기 그리고 필터를 거쳐 복조를 통하여 AND gate를 거쳐서 궤도계전기에 공급한다. 궤도계전기는 동작전류가 목표 값 이상인 경우에 동작한다.

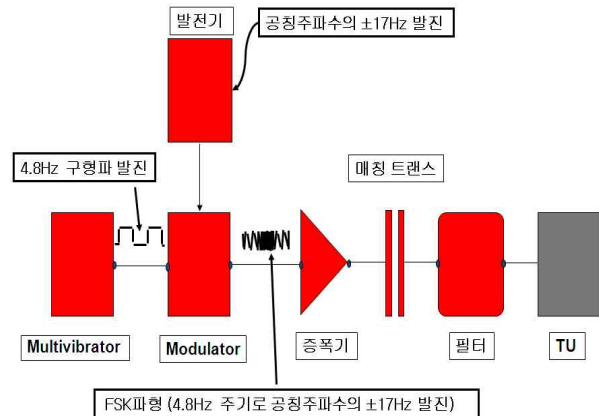


그림 3. 송신기 동작 원리
Fig. 3. Transmitter operating principle

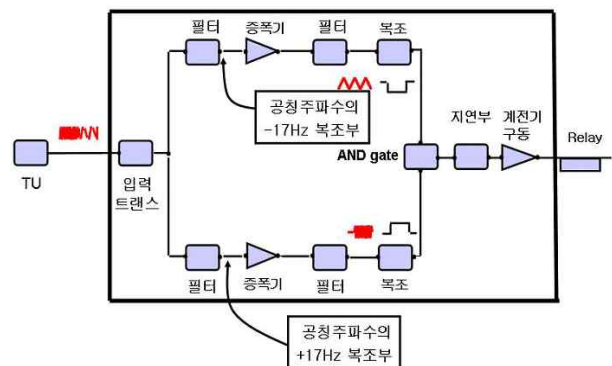


그림 4. 수신기 동작 원리
Fig. 4. Receiver operating principle

3. 가청주파수(AF)궤도회로에 TTM 측정

현재의 TTM 장비는 AF궤도회로의 송신기의 배선 확인, 전원모듈의 전압이 DC 24[V]임을 확인, 공급전압에 따른 출력 전압 확인을 설정 주파수 채널별로 측정, 수신기에서 배선확인, 전원모듈의 전압이 DC 24[V]임을 확인, 수신감도, 궤도계전기 출력전압을 채널별로 구별하여 측정할 수 있으므로 이 중 일부문제 발생 시 휴대용으로 간편하게 현장 측정이 가능하다. 그

리고 정기적인 점검에 사용하고 있다. AF케도회로에서는 주파수별로 A-H까지 송수신기가 동작하도록 되어 있으나 일반적인 오실로스코프 및 멀티미터와 같은 장비로는 실효값 등만 측정하도록 되어 있어 각 주파수별 분리가 불가능하다. 그러므로 AF케도회로의 중요한 A, B, C, D 등 각 케도의 적용 주파수별 송수신기의 동작 유무를 확인하기 위하여 TTM이 필수적으로 적용된다.

TTM은 주파수별 전압을 A타입에서 H타입까지 8개를 측정할 수 있도록 되어 있다. 각각의 타입에는 20[mV], 200[mV], 2[V], 20[V], 200[V]까지의 전압 및 전류를 측정할 수 있도록 되어 있다. 또한 250[V]까지의 AC, DC전압계로서 실효값을 측정하도록 되어 있으며, 송신기와 수신기의 ON상태에서 적용이 가능하다. TTM의 측정은 크게 송신부측의 측정과 수신부측의 측정 그리고 전원부의 확인으로 나누어질 수 있다.

3.1 송신부

표 3. 공급전압에 따른 송신부 출력전압
Table 3. Output voltage of transmitter according to the supply voltage

주파수 유형	송신모듈 공급전압	
	DC22.5[V](±0.1[V])	DC30.5[V](±0.1[V])
A	9.4[V]~11.0[V]	8.5[V]~10.8[V]
B	9.5[V]~11.1[V]	9.0[V]~10.9[V]
C	9.4[V]~11.0[V]	8.4[V]~10.8[V]
D	9.0[V]~10.9[V]	8.5[V]~10.7[V]
E	9.4[V]~10.9[V]	9.3[V]~10.7[V]
F	9.1[V]~10.7[V]	8.2[V]~10.5[V]
G	9.3[V]~10.7[V]	8.4[V]~10.5[V]
H	9.1[V]~10.6[V]	8.3[V]~10.4[V]

[참조 : KRS-SG-0038-07(R) 무절연가청주파수 (AF)케도회로 [표 12] [5]

- 송신부에서 TTM을 통하여 확인하는 내용
- 1) 정확한 배선 확인
 - 2) 전원모듈의 전압이 DC 24[V]임을 확인

- 3) 공급전압에 따른 주파수별 출력전압
- 4) LSB(Lower signal band)와 USB(Upper signal band)가 4.8[Hz]로 교번하는지 확인

3.2 전원부

케도회로의 점검에서 전원부의 이상유무의 점검은 중요한 부분으로 AC와 DC에 대하여 각각 측정하도록 한다.

- 1) AC입력전압 : AC 110/220[V]
- 2) DC출력전압 : DC 24(±2)[V]

3.3 수신부

수신부에서 TTM을 통하여 점검하는 내용

- 1) 정확한 배선 확인
- 2) 전원모듈의 전압이 DC 24[V]임을 확인
- 3) 표 4와 같은 수신감도 확인
- 4) 케도계전기 출력전압 : DC 24±2[V]

표 4. 수신 입력전류
Table 4. Input current of receiving

수신감도	입력전류
1	172[mA] 이상
2	86[mA] 이상
3	57[mA] 이상
6	28[mA] 이상
9	19[mA] 이상
13	14[mA] 이상

[참조 : KRS-SG-0038-07(R) 무절연가청주파수 (AF)케도회로 [표 14] [5]

3.4 현재 사용되는 TTM의 문제점

그림 5는 A타입 TI21 교번 주파수 파형을 표현한 것으로 4.8[Hz]로 교번됨을 보여준다.

수신부에서 USB 및 LSB가 복조를 거쳐 AND gate를 통하여 케도계전기가 동작하는데 송신기 측의 고장으로 인하여 LSB나 USB 한 쪽만 전달될 경우 케도

계전기가 동작하지 않아 열차가 점유된 것으로 파악되는 문제점이 발생한다. 그러나 현재 사용되고 있는 TTM에서는 LSB와 USB의 출력구분이 명확하게 되지 않는다. 그러므로 송신기 측의 고장이 발생하여도 정상적인 동작으로 측정이 되어 고장 유무를 파악하기 어려운 실정이다. 또한 현장 엔지니어는 측정값을 예측하여 레인지를 선택한 후 측정해야 한다. 그러나 자동조절 방식에 익숙한 엔지니어가 레인지의 선택을 잘못하여 고가의 TTM장비가 손상되거나 부정확한 측정값을 얻을 수 있는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 기능이 향상된 AD-TTM을 연구하고자 한다. 그림 6은 송신기에서 실제 출력되는 파형(FSK)을 오실로스코프로 측정한 것이다.

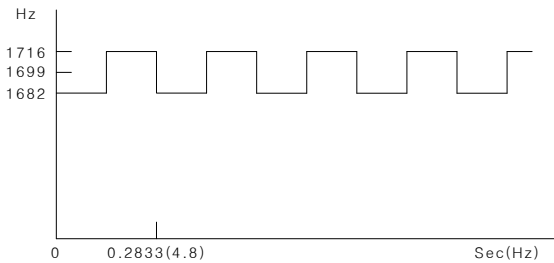


그림 5. TI21의 A형 교번 주파수 파형
Fig. 5. A-type alternating frequency waveform of TI21

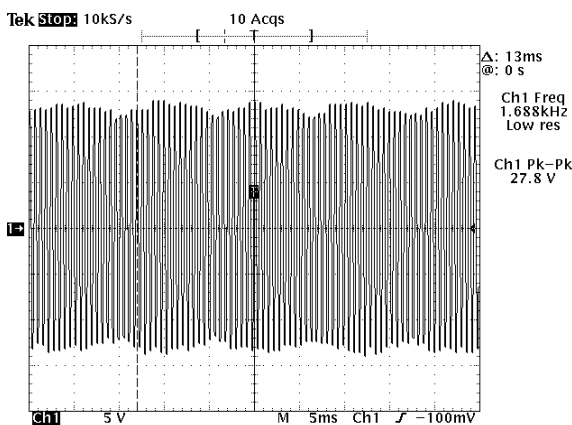


그림 6. 송신기 출력파형
Fig. 6. Transmitter output waveform

그림 7은 그림 6의 송신기 파형에서 LSB만 나타난 것이며 그림 8은 USB만 나타난 것이다.

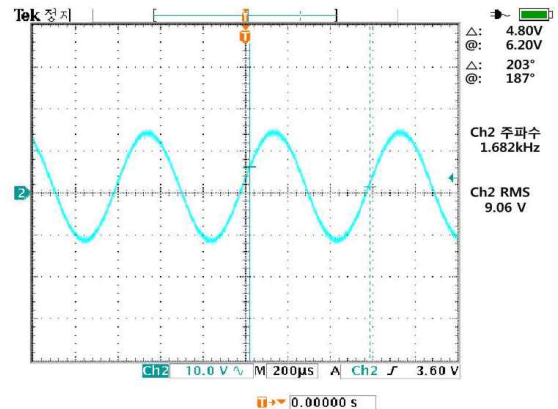


그림 7. 저주파수의 출력파형
Fig. 7. Low-frequency output waveform

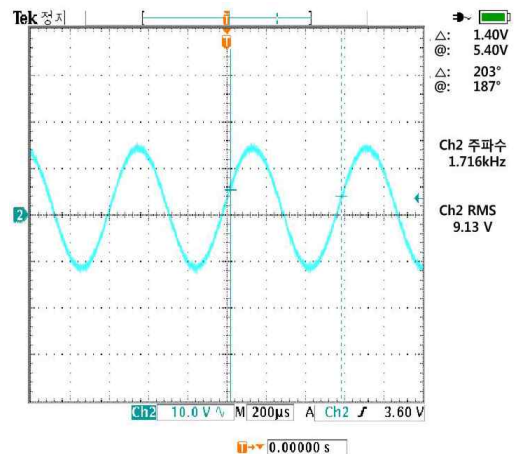


그림 8. 고주파수의 출력파형
Fig. 8. High-frequency output waveform

4. AD-TTM

AD-TTM은 기존 TTM의 문제점인 LSB와 USB를 구별하여 측정하도록 개선되었다. 이를 위하여 주파수분석을 실시하였으며 일반적인 FIR(Finite Impulse Response)필터를 적용하지 않고 성능의 우수함이 검증된 Hamming window와 Blackman window를 적용하여 주파수 분석을 수행하였다. Hamming window는 연산처리가 적어 속도가 빠르며, Blackman window는 연산처리속도는 느리나 정밀도가 높다. 이 중 Blackman window를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

레인지의 선택오류로 인한 고가의 TTM장비의 손상과 부정확한 측정값을 얻을 수 있는 문제점을 해결하기 위하여 Auto-Range의 기능을 부가하였다.

4.1 적용 주파수 시물레이션

AD-TTM의 주파수 분석은 Blackman window를 MATLAB으로 시물레이션을 수행하였다.

Blackman window의 수식은 다음과 같다.

$$w(n) = 0.42 - 0.5\cos\left(2\pi\frac{n}{N}\right) + 0.08\cos\left(4\pi\frac{n}{N}\right),$$

$$0 \leq n \leq N$$

여기에서,

그림 9는 시물레이션에 사용된 MATLAB프로그램의 내장 함수를 이용하여 샘플링 주파수를 1,739[Hz]로 하였으며 FC를 1,550[Hz]에서 1,850[Hz]까지로 하였다. 샘플링 주파수의 경우 하드웨어적인 A/D 컨버트의 비트수를 적용한 것이다.

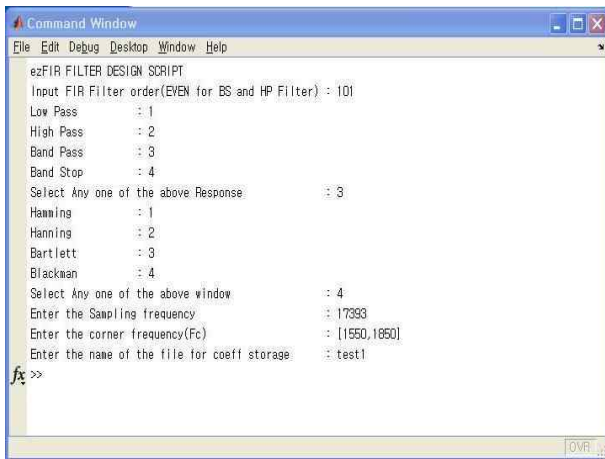


그림 9. MATLAB 프로그램
Fig. 9. MATLAB program

그림 10은 그림 9의 적용 값에 의한 시물레이션 결과이다. 그림의 결과와 같이 측정하고자하는 주파수 대역만 표현되고 그 외는 모두 필터링 되었다. LSB와 USB를 분리하여 측정하기 위하여 적용한 디지털 필터이다.

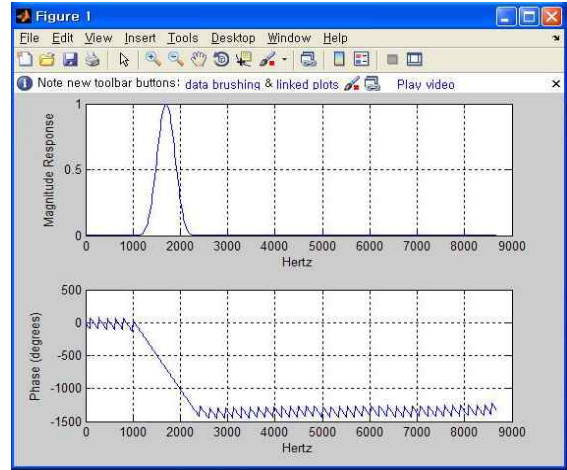


그림 10. Blackman window를 적용한 필터
Fig. 10. Filter applied Blackman window

5. AD-TTM(ADvanced TI21 Test Meter)의 특징

AD-TTM은 LSB와 USB를 구별하기 위하여 Blackman window의 디지털필터를 적용하였으며 TMS-320 DSP로 동작하도록 구현하였다. Auto-Range를 적용하기 위하여 별도의 CPU를 활용하였다.

5.1 AD-TTM의 향상된 기능

기존 TTM에 대한 향상된 기능은 첫 번째로 변조 주파수를 측정(AF)하여 변조상태를 숫자로 확인할 수 있도록 하였다. 두 번째로 Auto-Range의 기능을 부가하여 편리성과 사용자의 실수로부터 기기를 보호할 수 있도록 하였고 또한 도통시험을 수행할 수 있도록 하여 50[Ω] 미만일 경우 line 저항 값을 표시하도록 하였다.

5.2 AD-TTM의 주요 부분

AD-TTM의 주요 부분은 DSP(CPU)부분, 전원관리부분, 전원제어부분, 표시부분, 회로 단락검사부분으로 나눌 수 있으며, 첫 번째 DSP부분은 그림 11에 나타내었다.

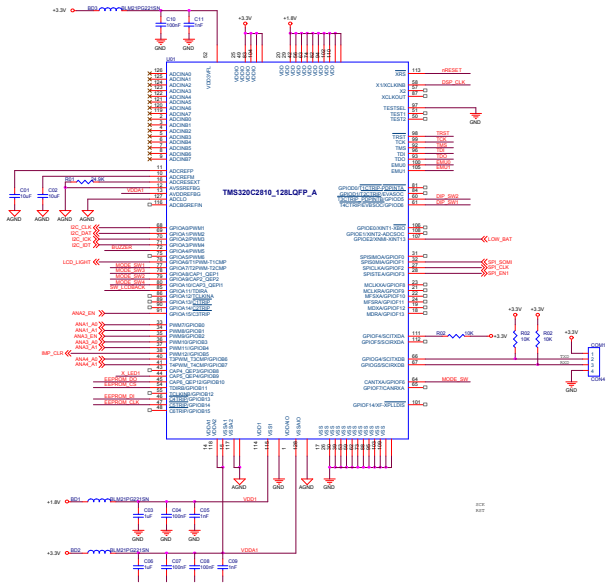


그림 11. AD-TTM의 DSP 부분
Fig. 11. DSP part of AD-TTM

전원관리부는 저전력 CPU인 ATtiny 13A를 적용하여 전원의 불필요한 사용을 억제하였으며, 전원 저하로 인한 측정의 오차를 최소화하였다. 그림 12는 적용된 전원관리부를 나타내었다.

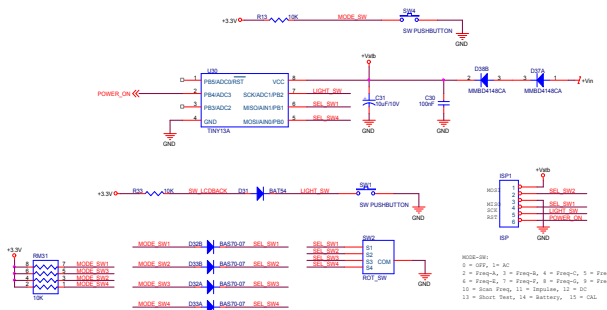


그림 12. 전원 관리부
Fig. 12. Power management

회로단락검사부분은 그림 13에 적용된 것과 같이 Q150에 전압을 가해 내부 배터리전원을 인가한 후 (+) 입력단자와 (-)입력단자 사이의 전압을 OP-AMP를 이용하여 측정하도록 설계하였다.

$$V_{in} = I \times R_{in}$$

V_{in} : (+)입력단자와 (-)입력단자 사이의 전압

I : V_{bat} 와 V_{in} 차에 의해 R152에 가해진 전압에 의해 계산

여기서 $R_{in} = \frac{V_{in}}{I}$ 가 되며,

$$I = \frac{(V_{bat} - V_{in} - V_{diode} - V_{fet})}{R_{152}} \text{ 가 된다.}$$

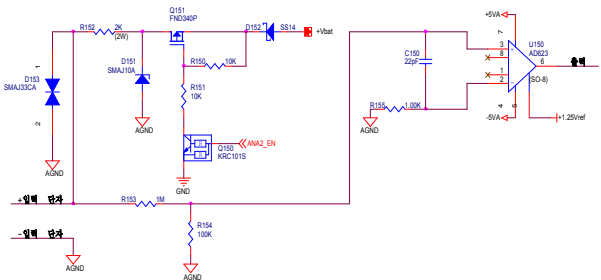


그림 13. 회로 단락 검사부
Fig. 13. Short-circuit inspection

5.3 AD-TTM의 실험

실험시스템은 Bombardier의 TI21 Receiver Test Rig과 TI21 Transmitter Test Rig으로 측정하였다. 시험장비는 무절연 AF케도회로 장치의 송·수신기를 시험할 때 사용하는 실제 측정 장비로 AF케도회로 제품 출하 시 사용되는 장비이다. 그림 14는 TTM의 측정 상황을 보여준다.



그림 14. TTM 측정 시스템
Fig. 14. TTM measurement system

표 5는 송신기측을 측정한 결과를 나타낸 것으로 채널에서 A는 USB와 LSB 모두 정상적으로 출력을 보내는 것이며 H는 USB만의 경우이고 L은 LSB만 출력되는 것을 나타낸다.

표 5. 송신기측 측정값

Table 5. Transmitter measurement value

채널		출력 정격 전압 [V]	TTM [V]	FLUKE 87III [V]	AD-TTM [V]	상태
A	ALL	DC 30.5	10.32	10.50	10.30 ALL	정상
1716	H	DC 30.43	10.37	10.57	10.35 USB	LSB Error
		DC 22.45	10.48	10.56	10.36 USB	LSB Error
1682	L	DC 30.55	10.36	10.42	10.34 LSB	USB Error
		DC 22.42	10.36	10.49	10.34 LSB	USB Error

또한 기존 TTM에서 측정되는 값과 FLUKE 87III 그리고 AD-TTM의 측정결과를 보여준다. 표 5의 상태는 AD-TTM의 정상적인 동작 유무와 USB만 출력될 경우 그리고 LSB만 출력될 경우를 나타내었다. 표시된 결과는 실험실의 상황이므로 A, B, C, D등 주어진 신호만 정확하게 출력되므로 TTM의 측정값과 FLUKE 87III의 측정값이 유사하다. 그러나 현장에서는 노이즈 및 주파수의 중첩으로 인하여 FLUKE 87III의 측정값이 크게 나타난다. 표 6은 수신기측의 측정값을 나타낸다. 수신기측은 24[V]만 적용하여 실험하였으며 입력 전류값을 표시하였다.

표 6. 수신기측 측정값

Table 6. Receiver measurement value

채널		전압 [V]	TTM [mA]	FLUKE [mA]	AD-TTM [mA]	상태
A	ALL	24	55.1	30.5	55.0	
1716	H	24	54.0	30.6	53.9 USB	LSB Error
1682	L	24	53.8	29.87	53.6 LSB	USB Error

표 7의 채널A는 주파수유형B로 장비를 설정해 놓은 상태에서 주파수유형을 A로 변경하였을 때의 상태를

나타낸다. 채널B는 주파수유형B로 장비를 설정해 놓은 상태에서 주파수유형B를 LSB와 USB 모두 측정할 경우와 LSB 또는 USB 단독 신호를 보낼 경우의 결과를 보여준다.

표 7. 채널변경시의 측정값

Table 7. Measurement value to change the channel

채널		전압 [V]	TTM [mA]	FLUKE 87III [mA]	AD-TTM [mA]	상태
A	ALL	24	0	30.4	0	
	H	24	0	30.13	0	
	L	24	0	29.94	0	
B	ALL	24	55.8	31.0	55.7	
	H	24	56.1	31.1	56.1 USB	LSB Error
	L	24	56.1	31.06	56.0 LSB	USB Error

표 8은 코레일에 실제 설치작업을 수행하는 과정에서 강원지역본부의 1개역을 모델로 기존의 TTM과 본 논문에서 연구된 AD-TTM으로 측정된 값을 비교하였다.

표 8. 강원지역본부 실제 측정값

Table 8. The actual measurement value in Gangwon Province Headquarters

채널		TTM	AD-TTM
A 51AT	송신	1.5[V]	1.49[V]
	수신	95[mA]	94[mA]
B 51BT	송신	0.93[V]	0.94[V]
	수신	37.4[mA]	37.4[mA]

송신기측은 TU의 출력전압을 측정하였으며 수신기의 입력전류는 1[Ω]의 단락 전류값을 측정하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 국내의 TI21규격의 AF케도회로의

측정에 사용되고 있는 TTM의 문제점을 해결하고 기능을 향상시켰다. 주파수별 전압 외에 공칭주파수의 $\pm 17[\text{Hz}]$ 복조부의 USB(Upper signal band)와 LSB(Lower signal band)를 각각 측정하여 송신기 측의 고장으로 인하여 LSB나 USB 한 쪽만 전달될 경우 궤도계전기가 동작하지 않아 열차가 점유된 것으로 나타나는 문제점을 해결할 수 있으며 Auto-Range 및 AF 궤도회로의 도통시험을 수행할 수 있다. 전량 수입에 의존하고 있는 현장 필수장비를 국산화가 가능하도록 하였으며, 향후 더욱 복잡하게 될 전철망에서 AD-TTM은 AF궤도회로 설치 및 유지보수에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구 과제로는 현재 코레일 정부선의 경우는 역 구내에는 임펄스궤도회로, 역간에는 AF궤도회로로 구성되어 있다. 하나의 장비로 임펄스궤도회로의 측정과 AF궤도회로의 측정 및 진단이 가능한 장비가 개발된다면 현장의 엔지니어가 휴대용으로 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] KIM Yong-Kyu, BAEK Jong-Hyun, RYU Chang-Keun, "A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1397~1399, 2004.
- [2] N.Nedelchev, "Jointless track circuit length", IEE Proc., Electr. Power Appl, Vol. 146, Issue 1, p.69 - 74, January 1999.
- [3] Kim min-cheol, Jang Dong-Uk, Lee jang-moo, Han moon-seob, Heo nam-yeong, Shin myung-cheol "Study for an estimation of conducted noise between electric train and track circuit by analyzing harmonics" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.2360~2362, 2005.
- [4] 김영태, "철도신호제어시스템", 테크미디어, p40~46, 2006.
- [5] 한국철도표준규격, "KRS-SG-0038-07(R) 무절연가청주파수(AF)궤도회로", p1~2, p10~15, 2006.

◇ 저자소개 ◇



강장규(姜章珪)

1955년 1월 21일생. 1984년 광운대 전기공학과 졸업. 1986년 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 숭실대학교 대학원 전기공학과 수료(박사). 2000년~현재 대한전기학회 회장.

E-mail : jea50225@hanmail.net



김재철(金載哲)

1955년 7월 22일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 숭실대 전기공학과 교수. 본 학회 감사.

E-mail : jckim@ssu.ac.kr