

광 SCM을 이용한 영상 및 디지털 신호 전송에 관한 연구

* 박 양 하*, 김 관 호*, 이 원 태*, 이 영 철* *
한국전기연구소*, 경남 대학교* *

Study on the Image and Digital Signal Transmission using Optical SCM

* Yang-Ha Park*, Kwan-Ho Kim*
Won-Tae Lee*, Young-Chul Lee* *
K E R I*, Kyeng Nam University* *

Abstracts

In this paper, we develop a prototype of the Optical SCM transmission module. This module is possible to application to electric facilities for control and measurements. Transmission channel number is two channels, namely, image and digital signal. In the image transmission, modulation method is AM, baseband signal is NTSC video signal and demodulation use PLL. Modulation of digital signal is QPSK, 1.544Mbps and demodulation use PLL. First, we calculate theoretical analysis about RF and Optical link in the transmission. This calculation is well correspond with practical system and transmission experiment is excellent, but this is only two channel model. And now, we plan to multichannel transmission to measure intermodulation, frequency assignments and optimal channel numbers et al.

1. 서 론

전기는 생산 즉시 소비되는 특성을 가지고 있어 발전에서 소비되는 시스템까지 항상 실시간적인 감시제어에 의해 계통을 유지해야 한다. 또한 전력설비들은 대부분 원격지에 위치하기 때문에 이들을 감시제어 하기위한 원격 감시제어시스템의 개발이 필요하다. 지금까지의 원격감시제어용 통신시스템은 원격에 있는 단말에서 이진화된 데이터를 전송하는 통신망이 대부분이었으나 정보화의 발전으로 인하여 영상정보에 의한 실시간 감시제어 기능들이 추가되므로서 기존의 데이터 통신망이 점차 음성 및 화상정보를 포함한 통합통신망으로 지향되고 있다. 본 연구에서는 이러한 전기설비의 계측제어용 정보들을 영상을 포함한 광대역전송망구축을 위하여 다중화 방식중의 하나인 SCM(SubCarrier Multiplexing)방식을 이용한 영상 및 데이터전송에 관하여 논의 하였다.

따라서 본 연구에서는 광통신의 IM/DD방식을 이용한 광SCM방식을 제안하였으며 그에 따른 광SCM의 특성분석 및 기본 시스템의 설계를 하였으며 그 결과 AM 및 QPSK신호 전송시 SNR의 이론적 특성 결과를 얻을 수 있었다. 이론적 결과에 따른 각각의 Module제작후 전송시험 결과 양호한 특성을 얻을 수 있었다. 그림1은 IM/DD방식에 의한 광SCM전송방식 기본구성도를 나타내었다.

광SCM은 한개의 레이저에 의해 다중채널을 전송하는 것으로 광케이블의 효율성을 높이고 송수신 방식에서 기존의 소자들들을 이용하여 신호처리가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 광SCM방식은 최근 CATV링크, LAN, PCN통신, 위성용

M/W수신링크, 전력회사의 계측제어용 및 분포형 광 센서등의 응용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

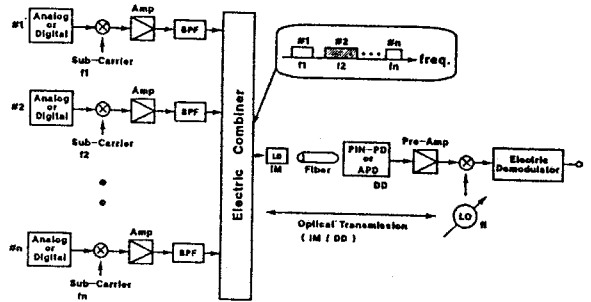


그림 1. IM/DD방식에 의한 광SCM전송

2. 광SCM 기본 시스템 설계

가. 광전송 링크이득

광전송링크의 RF 손실은 레이저의 양자효율, 광파이버 결합효율, 광섬유 손실, 포토다이오드의 응답성, 입출력 임피던스의 함수로 나타낸다. 아날로그 신호를 링크하기위해 선정된 시스템의 광송신용 레이저는 15% 결합계수로 레이저 자체의 변조응답계수가 0.3mW/mA이고, 변조이득은 0.04mW/mA를 갖도록 설계하였다. 이것은 임계전류 이상일때 레이저의 mA당 입력전류에 따라 0.04mAW의 광출력이 발생되는 것을 뜻한다. 광신호로 링크되어 전송되는 전기적신호의 크기는 입출력전류의 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$G_{db} = 10 \log \left(\frac{i_{out}^2 R_l}{i_{inp}^2 R_{inp}} \right) \tag{1}$$

여기서 RF신호와 정합을 위한 입력 임피던스를 50Ω으로 하면 식(1)은 다음과 같이 주어진다.

$$G_{db} = 20 \log \left(\frac{i_{out}}{i_{inp}} \right) \tag{2}$$

그림2는 아날로그 광전송 링크시스템을 등가적으로 표현하였다.

등가회로에서의 출력전류는

$$i = \left(\frac{R_o}{R_o + R_l} \right) r \left(\frac{M}{L_{opt}} \right) i_{inp} \tag{3}$$

로 표시할 수 있다. 광신호의 손실을 dB로 표시하면

$$L_{db} = 10 \log L_{opt} \tag{4}$$

식(3),(4)를 사용하여 식(2)을 다시 표현하면

$$G = 20 \log \left(\frac{R_o r M}{R_o + R_i} \right) - 2L_{db} \quad (5)$$

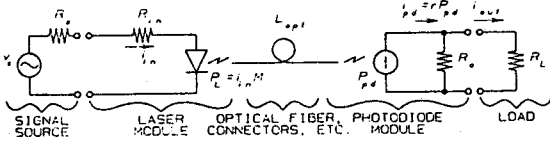


그림2. 광전송 시스템의 등가적 표현

이 된다. 여기서 입력력 부하저항값을 고려하면

$$G = 20 \log \left(\frac{R_o r M}{R_o + R_i} \right) - 2L_{db} + 10 \log \left(\frac{R_i}{R_{in}} \right) \quad (6)$$

이 된다. 본 연구에서 사용된 포토다이오드의 임피던스는 $1k\Omega$ 고 레이저 다이오드는 5Ω , 광케이블과 정상적인 결합시 $L_{db} = 0dB$ 이므로 $G = -17.3 dB$ 의 링크 손실값을 얻을 수 있다.

나. 상대 광세기잡음(RIN)의 등가입력 잡음(EIN) 변환

상대 광세기잡음은 레이저의 입력전류를 광출력으로 변환할 때 L-1특성곡선의 선형영역에서 변환배터인 변조이득 M은 상수로 나타내므로

$$RIN = \frac{\langle \Delta I^2 \rangle M^2(f)}{(I - I_{th})^2 M(0)} \quad (7)$$

로 된다. 여기서 $\langle \Delta I^2 \rangle$ 은 레이저 자체의 잡음을 배제한 입력전류 변동분의 평균 제곱값이다. $M(f) = M(0)$ 라 하면 $\langle \Delta I^2 \rangle$

$$RIN = \frac{\langle \Delta I^2 \rangle}{(I - I_{th})^2} \quad (8)$$

이 된다. 레이저 다이오드의 RF입력 회로의 입력임피던스가 R_i 일때 R_i 에 걸리는 전류 변동분은 레이저의 등가입력잡음으로서 링크시 입력잡음으로 영향을 준다.

$$EIN = \langle \Delta I^2 \rangle R_i \quad (9)$$

그러므로 입력 전류 변동분이 실제 전기적 잡음 형태로의 변환관계는

$$EIN = RIN (I - I_{th})^2 R_i \quad (10)$$

로 표시되며 변조대역내의 입력 잡음전력을 나타낸다.

다. 등가입력잡음(EIN)과 링크잡음

광링크 시스템의 총등가 입력잡음은 레이저잡음, 포토다이오드 산란잡음, 수신기 열잡음으로 생각 할 수 있으며 결과적으로 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$EIN = EIN_i + kTL + \frac{1}{2} erR_i R_{pd} I \quad (11)$$

여기서 $L = L_0 L_{opt}^2 \left(\frac{R_i}{R_i} \right)$ 이고 $EIN = RIN (I - I_{th})^2 R_i$ 를 식(11)에 대입하면

$$EIN = RIN (I - I_{th})^2 R_i + kTL_0 \left(\frac{R_i}{R_i} \right) L_{opt}^2 + \frac{1}{2} erR_i L_0 P L_{opt} \quad (12)$$

이 된다. 실제에 사용된 레이저 다이오드의 EIN 측정값은 그림3에 나타내었다.

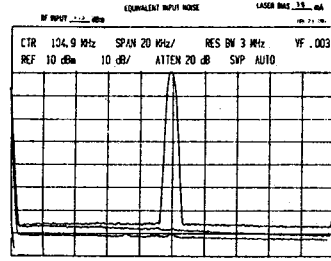


그림3. 레이저다이오드의 EIN

라. 다중채널 광전송링크 설계

광전송 링크 시스템을 설계하기 위한 조건은 다음과 같다.

- o 주파수 : 100MHz~1000MHz
- o 채널 잡음대역폭 : 30MHz
- o RF 입력 Pin=0dBm
- o RF 출력 Pout=-35dBm
- o SNRmin=40dB
- o 광케이블 길이 : 200m(광감쇄기 사용 10km중대시험)

이러한 광링크 조건시 실험용 광송수신 소자의 제원은 다음과 같다.

- o 레이저 다이오드의 변조지수 : $M = 0.04W/A$
- o 포토다이오드 응답특성 : $\tau = 0.6A/W$
- o 상대 세기잡음 : $RIN = -140dB/Hz$

이러한 조건이 주어질때 광손실을 계산하면 $L_o = 38.4dB$,

$I - I_{th} = 40mA$, $R_i = 50\Omega$, $P_i = 1.6mW$, $T = 296K$ 의 링크시 $EIN_i = -127dBm/Hz$ 이다. 채널당 총등가 입력잡음은

$EIN_i = -121dBm/Hz + 10 \log(30 \times 106) = -46.2dBm$ 이다. 그래서 최소의 SNR을 40dB 유지하려면 채널당 $Pin_{min} = -6.2dBm$ 이상이어야 하며 4채널일 경우 $Pin_{min} = 0dBm$ 이 필요하다.

총 링크 손실은 $L = L_{opt}^2$, $L_o = 50.4dB$, 이때 출력 신호의 크기는 $P_{out} = 0dBm - 50.4 = -50.4dBm$ 이므로 최소 15dB의 이득을 가지는 증폭기를 사용하여야 함을 알 수가 있다.

3. 광SCM 전송시스템 설계

전기설비용 예측제어 정보에 영상을 포함한 정보를 통합하는 광전송 방식으로 아날로그 및 디지털정보의 광SCM전송에 대한 기본적인 모듈설계 및 시험을 하였다. 영상정보의 전송은 AM방식을 선택하였으며 디지털 방식은 QPSK방식을 이용하여 전송장치를 구성하였다.

AM-VSB의 영상다중채널방식은 최소한 40dB이상의 SNR이 요구되기 때문에 레이저의 RIN과 수신단의 선형성이 엄격히 적용되어야 한다. AM신호는 높은 CNR을 유지하기 위하여 충분한 큰 OMI가 필요하지만 레이저의 비선형성의 증가로 인하여 제한을 받게된다. AM-VSB를 설계하기 위해서는 CNR과 SNR의 관계를 알 필요가 있다. 그에 대한 해석은 다음과 같다.

$$(CNR) = \frac{\text{Carrier Power} + \text{Sideband Power}}{\text{Rms Noise Power}} \quad (13)$$

$$P_{car} = \frac{V^2}{R} = \frac{(V_c + V_{sb})^2}{R} = \frac{(2V_{sb} + V_{sb})^2}{R} = 9P_{sb}$$

여기서 V_c = Carrier Voltage
 P_{car} = Carrier Power
 V_{sb} = Sideband Voltage Level
 P_{sb} = Sideband Power

위와 같은 이론적인 결과를 바탕으로 하여 영상과 디지털 2 채널 전송을 위한 기본적인 전송시험시스템을 설계 구성하였다. 그림4는 광SCM전송 시스템 설계구성도를 나타내었다.

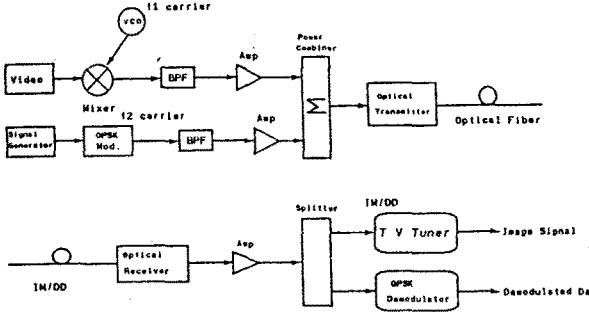


그림4. 광SCM 전송 구성도

신호의 종류는 영상신호는 NTSC영상신호이며, 변조방식은 AM방식이고, 주파수 대역은 481~488MHz(채널16기준)을 선택하였으며 복조형태는 TV튜너를 이용하였다. 디지털 신호는 QPSK변조방식이고 주파수 대역은 800MHz, 전송속도는 1.544MHz이며 PLL을 이용하여 복조를 하였다.

가. 영상신호 전송시험

영상신호의 전송은 AM방식을 이용하였으며 이 방식은 기존의 전송장비를 이용하면 쉽게 구현할 수가 있으므로 VCO에 의한 반송 주파수의 선택만 이루어진다면 쉽게 구현될 수 있는 장점을 가지고 있다. 영상입력 신호는 Mixer에 의해서 VCO신호와 AM변조를 한다. 이때 VCO의 출력을 조정하면 부반송파 신호의 가변이 가능하며 여기에서는 NTSC영상신호를 TV채널에 동조시키는 방식으로 하였다. 입력단의 Mixer출력을 그림5에 나타내었다.

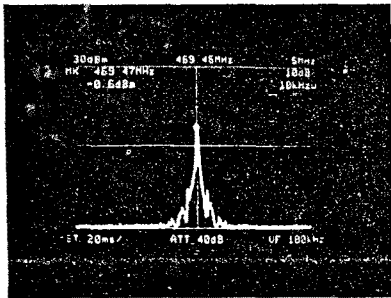


그림5. 영상변조 신호의 출력 파형

회로의 구성은 AM변조된 신호의 고조파성분들을 제거하기 위해 BPF를 이용하였으며 미약해진 신호를 증폭하기 위하여 전력증폭기를 사용하였다. 증폭된 신호는 Combiner에 디지털 신호와 함께 입력된다. 영상신호의 전송 구성도는 그림6에 나타내었다.

나. 디지털 신호전송 시험

디지털 신호의 전송은 2진 구형파를 데이터로 이용하였으며 변조방식은 QPSK방식으로 하였다. 그림7에 전송시험 구성도를 나타내었다.

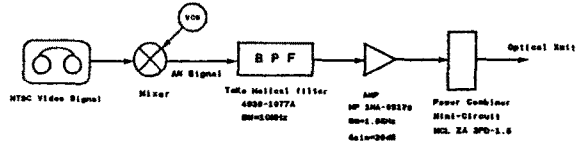


그림6. 영상신호 전송 구성도

회로의 구성은 부반송파는 VCO에 의해서 발생되어 변조기에 의해서 QPSK변조된다. 이 변조된 신호는 BPF와 전력증폭기에 의해서 고조파 성분 제거와 신호증폭을 하게 된다. 이 변조된 신호는 Combiner에 의해서 영상신호와 결합을 하게 된다. 설계를 위한 실험에서는 부반송파의 주파수배치를 100MHz~1.2GHz에 가변 배치하여 두주파수간의 특성을 고찰하였다. 그림8은 광송신기에 입력되는 두신호성분의 전력스펙트럼을 나타내었다.

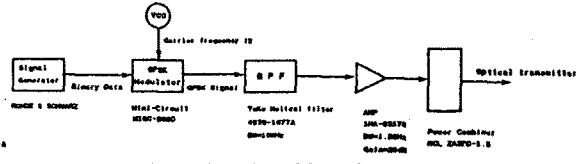


그림7. 디지털 신호 전송 구성도

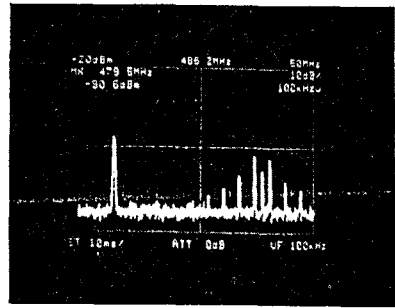


그림8. 두신호성분의 스펙트럼

다. 수신신호 처리

IM/DD방식에 의해 수신된 광신호는 O/E변환되어 Splitter에 의해서 두 신호성분으로 나누어 진다. 이때 미약해진 수신신호는 복조를 위하여 영상신호는 40dB, 디지털 신호는 15dB 이상의 SNR을 확보하기 위해 후치증폭기(25dB증폭)를 사용하였다.

광SCM전송을 위한 광링크 시스템의 파라미터 계산과 특성을 측정 하였다. 측정 결과 1~3GHz의 신호 링크시 주파수 응답특성이 평탄하여 선형성있는 특성을 가졌다. 시스템 링크의 손실은 링크 설계값에 따라 후치 증폭기를 사용하였다. 아날로그 전송인 경우는 다채널 전송시 발생하는 주파수간의 상호변조 해결이 중요한 문제이므로 이의 해결을 위한 최적의 주파수 할당에 관한 연구가 필요하며 디지털 신호의 전송은 수신단에 Weighted SNR을 부가하여 신호의 복조는 하였으나 고속의 데이터 송수신을 위한 지터 문제의 해결 및 정밀한 회로의 설계가 필요함을 알 수가 있었다. 차후 다채널 및 GHz급 전송을 위한 설계 및 실험을 준비중에 있다.

4. 결론

전기설비의 제측재어 정보는 지금까지 대부분 데이터 정보에 의한 감시제어 시스템 구성이 이루어져 왔으나 최근의 발달된 영상정보의 활용을 위한 연구가 진행되고 있다. 그에 따라 본 연구에서는 제측재어에 필요한 영상 및 데이터 정보 전송을 위한 기본적인 시스템의 설계 및 전송시험을 하였다. 시험은 영상, 디지털 신호의 두채널만 하였으며 그결과 이론적인 설계치와 근사함을 알 수가 있었다. 추후 계속하여 다채널 전송 및 GHz급 전송을 위한 시스템의 설계 및 구성을 예정 하고 있다.