

6-단자 위상 상관기를 이용한 PSK 반송파 신호 복원 회로 해석

Analysis of PSK Coherent Carrier Signal Recovery Circuit Using Six-Port Phase Correlator

김 영 완 · 신 추 연

Young Wan Kim · Choo Yeon Shin

요 약

본 논문에서는 6-단자 위상 상관기를 적용한 PSK 반송파 신호 복원 회로를 해석하고 구조를 제안한다. 하나의 전력 분배기와 3개의 hybrid branch line coupler로 구성되는 6-단자 위상 상관기와 변조 신호에 대응하는 반사 소자를 갖는 제안된 반송파 신호 복원 회로 구조는 간단하면서도 구현이 용이하다. 이위상편이 방식(BPSK) 신호와 직교 위상편이 방식(QPSK) 신호의 코히어런트 반송파 신호를 복원하며, 기본 구조를 사용하여 고차 모드 PSK 반송파 신호 복원 회로 구조가 가능하다. 모의 실험 결과, 직교 위상편이 방식 신호의 반송파 신호는 일정한 위상값(23.4°)을 갖는 지속파와 반사 소자 스위칭에 의해 발생하는 위상 편차가 ±0.8° 이내인 양호한 PSK 반송파 신호 특성을 나타내었다.

Abstract

The PSK carrier signal recovery circuit using a six-port phase correlator was analyzed and the circuit structure is proposed in this paper. The proposed carrier signal recovery circuit that is made of reflection element and six-port phase correlator, which is comprised of a power divider and three hybrid branch line couplers, give a simple structure and can be fabricated without no difficulty. The circuit recovers the carrier signal of BPSK and QPSK modulation signal. The proposed scheme can be utilized as a basis structure for high-mode PSK carrier signal recovery. By simulation results, the recovered signal by the proposed circuit shows a good carrier signal characteristic with CW signal of a constant phase(23.4°) and ±0.8° phase error due to glitch conditions.

Key words : PSK Carrier Signal Recovery, BPSK/QPSK Carrier Recovery Circuit, Six-Port Phase Correlator, RML

I. 서 론

디지털 위상 변조 방식은 위성 통신을 비롯한 무선통신 전송 방식으로 주로 사용되며, 디지털 위상 변조 신호의 복조에는 전송 반송파 신호의 주파수와 위상이 동기된 반송파 복원 신호가 사용되고 있다^{[1],[2]}. 이러한 반송파 신호 복원을 위하여 전송 신호

변조 차수와 같은 주파수 체배 회로와 협대역 필터 그리고 위상 동기 회로(PLL)로 구성되는 체배 방식, Costas 회로 방식 등이 사용된다^{[2],[3]}.

반송파 신호 복원 회로에는 반송파 신호원으로 사용되는 전압 제어 발진기(VCO) 회로가 사용되며, 전압 제어 발진기는 전송 반송파 신호와 같은 주파수 영역에서 동작된다. 낮은 주파수 영역에서는 전

「이 논문은 2007학년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-D00271).」
군산대학교 전자정보공학부(School of Electronic and Information Engineering, Kunsan National University)

· 논문 번호 : 20080728-098

· 수정완료일자 : 2008년 9월 29일

압 제어 발진기 회로 구성이 용이하나, 높은 주파수 영역에서는 고가의 회로로 구성되거나, 복잡한 주파수 체배 회로로 구성된다^[4].

전송 신호의 광대역화와 전송 링크 주파수의 포화에 따라 사용 주파수는 초고주파(Ku/Ka) 대역으로 증가하고 있다. 이러한 초고주파 대역의 반송파 복원 회로의 신호원은 일정한 크기의 회로가 필요하며, 구현의 어려움이 증가된다. 또한, 주파수 체배 회로의 사용으로 위상 잡음이 증가하여 전송 성능의 열화를 가져올 수 있다. 이에, 수신 복조 구조의 간단함과 복원 신호의 위상이 안정된 반송파 복원 회로 구성이 요구되고 있다^[5].

본 논문에서는 6-단자 위상 상관기를 사용하여 반송파 신호를 복원하는 회로를 해석하여 별도의 주파수 신호원이 요구되지 않는 반송파 복원 회로를 제안한다. 제안된 반송파 신호 복원 회로는 6-단자 위상 상관기와 변조 신호에 대응되는 반사 신호 발생 소자로 구성된다. 6-단자를 사용한 디지털 위상 변조 신호 발생 회로^[5]와 재 변조 방식을 사용하여 PSK 반송파 신호를 복원하며, 반송파 복원 회로는 별도의 주파수 발생 신호원이 필요하지 않는 간단한 구조를 갖는다. 전송 신호로부터 유도된 반송파 신호는 전송 신호의 주파수와 위상이 동기되며, 동일한 위상 잡음 특성을 갖는다. 반송파 복원 회로의 모의 성능 실험 결과, 전송 신호와 동일한 주파수에서 일정한 위상값(23.4°)을 갖는 동기된 반송파 신호를 복원하였으며, 재 변조에 의한 반사 소자 스위칭에 의해 발생하는 위상 편차가 ±0.8° 이내인 양호한 신호 특성을 나타내었다.

II. PSK 반송파 신호 복원 해석

2-1 PSK 전송 신호

디지털 위상 변조 신호는 전송 심볼에 따라 $2\pi/M$ (M : 전송 심볼 수)의 위상 간격을 갖는 반송파 신호가 전송된다^[3].

$$s(t) = \cos\left(\omega t + \frac{2\pi \cdot d(t)}{M}\right) \quad (1)$$

여기서, M 은 전송 심볼 수이며, 전송 비트 수 n 과의 관계는 $n = \log_2 M$ 이다. 또한, $d(t)$ 는 전송 심볼 지

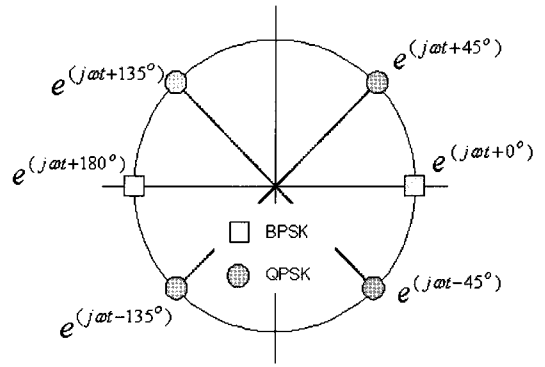


그림 1. 일반적인 PSK(BPSK/QPSK) 신호 성상도
Fig. 1. Typical constellation of PSK (BPSK/QPSK) signal.

속 기간(duration) 동안 전송되는 심볼이며, $0 \sim (M-1)$ 의 수를 갖는다.

그림 1과 같이 M -ary PSK 신호는 직교 반송파에 의해 동위상 채널(I-channel)과 직교 위상 채널(Q-channel)로 전송되며, 식 (1)과 같이 반송파 신호의 일정한 위상값이 I/Q 채널로 전송된다. BPSK인 경우, 0° 와 180° 위상 (180° 위상 간격)을 가지며, QPSK인 경우, 45° , 135° , 225° , 그리고 315° 등 90° 위상 간격을 갖는다^[3].

2-2 6-단자 위상 상관기에 의한 반송파 신호 복원 구조

6-단자 구조는 그림 2와 같이 하나의 전력 분배기와 3개의 90° 하이브리드 결합기(hybrid branch line coupler)로 구성되며, 식 (2)와 같은 산란 계수(S -파라미터)를 갖는다^{[6],[7]}.

$$[S] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & +j & +j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +j & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & +j \\ +j & +j & -1 & -1 & 0 & 0 \\ +j & -1 & +1 & +j & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)로부터 단자 5와 단자 6을 입력 단자로 그리고 단자 1, 단자 2, 단자 3, 그리고 단자 4를 출력 단자로 구성할 경우, 입력 단자를 기준으로 출력 단자

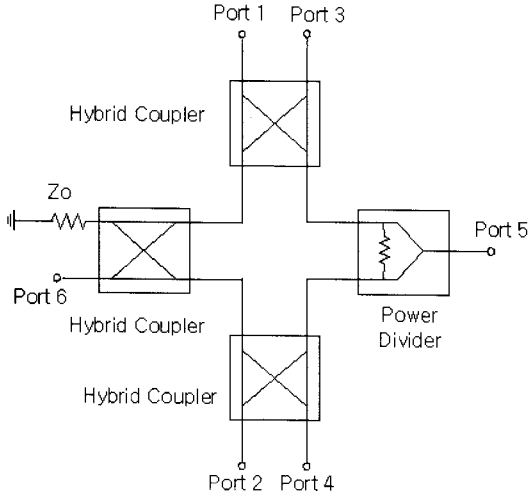


그림 2. 6-단자 위상 상관기 구조도
Fig. 2. Block diagram of six-port phase correlator.

간 위상차는 동위상 또는 90° 그리고 180° 관계를 갖는다.

그림 2에서 출력 단자 1과 단자 3 그리고 출력 단자 2와 단자 4에 반사 소자를 연결할 경우, 각각의 출력 단자에서 반사된 신호는 단자 5와 단자 6으로 출력된다.

여기서, 단자 5에 신호가 입력되면, 반사 소자에 의한 단자 6의 출력 신호는 다음 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{6(1,2,3,4)} = -\frac{1}{4} p_{in} \Gamma_{l_1} e^{j\phi_1} - \frac{j}{4} p_{in} \Gamma_{l_2} e^{j\phi_2} - \frac{1}{4} p_{in} \Gamma_{l_3} e^{j\phi_3} - \frac{j}{4} p_{in} \Gamma_{l_4} e^{j\phi_4} \quad (3)$$

여기서, P_{in} 은 단자 5에 입력되는 신호이며, $\Gamma_{l_n} e^{j\phi_n}$ 은 단자 n 의 반사계수이다.

그림 3과 같이 단자 1과 단자 3, 그리고 단자 2와 단자 4에 각각 동일한 반사가 발생하는 소자를 연결하면, 식 (3)으로부터 각각의 반사 소자에 의한 단자 6의 출력 신호는 다음 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$P_{6(1,3)} = -\frac{1}{2} p_{in} \Gamma_{l_{1,3}} e^{j\phi_{1,3}}$$

$$P_{6(2,4)} = -\frac{j}{2} p_{in} \Gamma_{l_{2,4}} e^{j\phi_{2,4}} \quad (4)$$

여기서, $P_{6(1,3)}$ 과 $P_{6(2,4)}$ 는 단자 1과 단자 3, 그리고 단자 2와 단자 4로부터 반사되어 단자 6으로 출

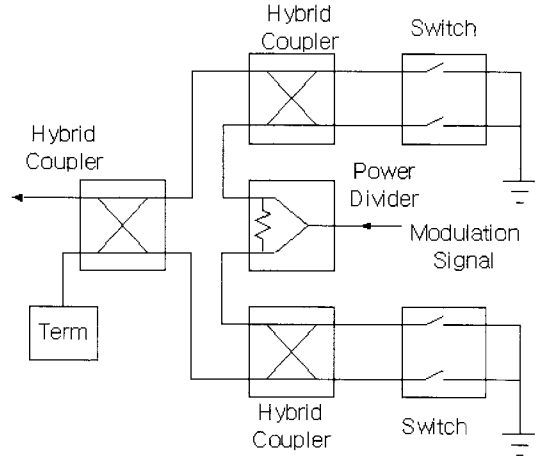


그림 3. 제안된 6-단자 소자를 사용한 디지털 위상 변조 신호의 반송파 신호 복원 회로 구성도
Fig. 3. Block diagram of proposed PSK carrier recovery circuit using 6-port phase correlator.

력되는 정규화된 전력이며, $\Gamma_{l_{1,3}} e^{j\phi_{1,3}}$ 및 $\Gamma_{l_{2,4}} e^{j\phi_{2,4}}$ 는 단자 1과 단자 3, 그리고 단자 2와 단자 4에서의 반사 계수이다.

즉, 단자 5로 입력되는 신호는 각각의 반사 소자의 반사계수에 따라 식 (5)와 같은 형태로 단자 6에 출력된다.

$$P_{6(5)} = -\frac{1}{2} p_{in} (\Gamma_{l_{1,3}} e^{j\phi_{1,3}} + j p_{in} \Gamma_{l_{2,4}} e^{j\phi_{2,4}}) \quad (5)$$

식 (5)로부터 반사 소자가 개방 및 단락일 경우, 단자 6 출력 위상값은 위상 변조 신호의 위상값을 나타낼 수 있다. 따라서, 출력 위상값이 그림 4와 같은 관계를 갖도록 반사 소자를 설정하면 입력 신호의 위상 변위값을 보상하여 일정한 위상값을 갖는 반송파 신호를 재생한다.

그림 4의 위상 변조 보정 원리와 제안된 그림 3의 PSK 반송파 신호 복원 구조는 M-ary PSK 전송 신호의 반송파 신호 복원에 적용할 수 있다.

III. 모의 실험 및 성능 분석

제안된 PSK 반송파 신호 복원 회로의 반송파 신호 복원 및 성능 분석을 위하여, QPSK 방식을 적용하여 ADS에서 그림 5와 같이 구성하고 수행한다.

그림 5(a)는 QPSK 신호 발생 및 수신 회로 구성도

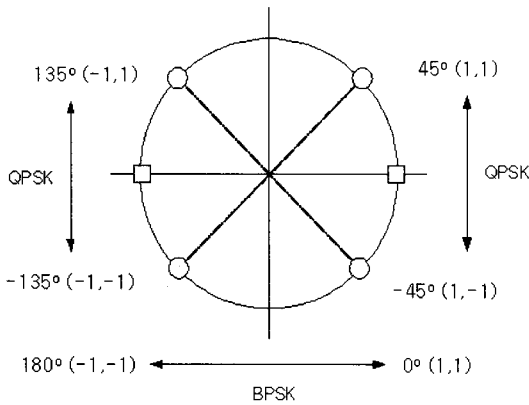
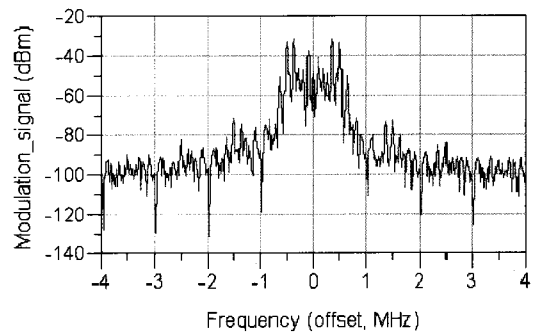
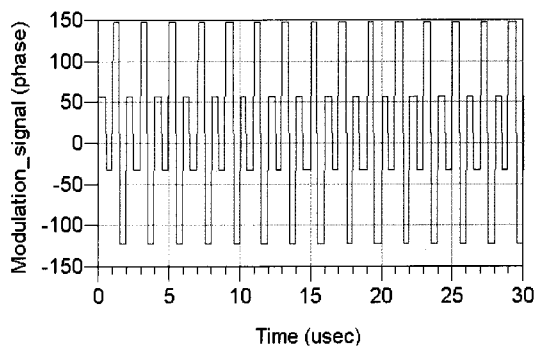


그림 4. 입력 변조 신호의 위상값과 요구 반사 신호의 위상값 관계
 Fig. 4. Phase relation between input modulation signal and required reference signals.



(a) QPSK 스펙트럼
 (a) QPSK spectrum



(b) QPSK 위상
 (b) QPSK phase

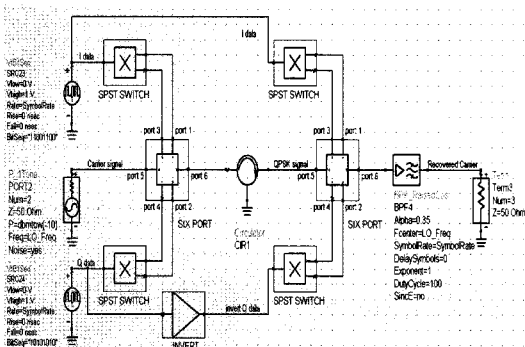
그림 6. 발생된 QPSK 신호 특성
 Fig. 6. Characteristics of generated QPSK signal.

로 1 Mbps 전송율을 갖는 변조 신호를 발생한다. 발생된 QPSK 신호는 그림 5(b)의 반송파 신호 복원 회로에 입력되고, 입력 전송 신호의 반송파와 동기된 신호를 복원한다.

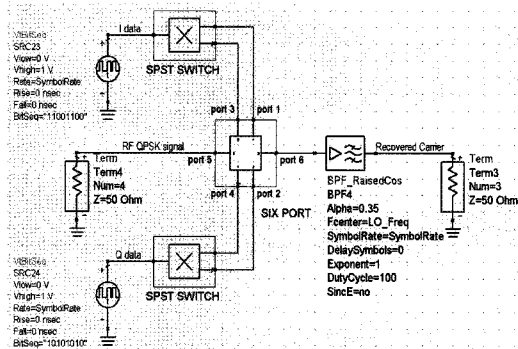
그림 6은 QPSK 변조 신호의 발생 결과를 보여준다. 발생된 QPSK 변조 신호는 55°, 145°, -123°, 그리고 -32° 위상 값을 가지며, 그림 1로부터 약 10° 위상 값이 변위되어 나타나고 있다. 그러나, 전송 신호간 위상값이 90° 간격을 가지며, 약 3° 이내의 위상 편차를 갖는 양호한 변조 신호가 발생한다.

그림 7은 제안된 회로 구조에 의해 복원된 반송파 신호를 나타내고 있다. 모의 실험용 송신부 반송파 신호(그림 7(a))는 이상적인 신호대 잡음비를 가지나, 복원된 반송파 신호는 약 65 dBc 이상의 신호대 잡음비 특성을 보여준다.

또한, 약 40 dBc 정도의 측대파 신호가 발생하나,

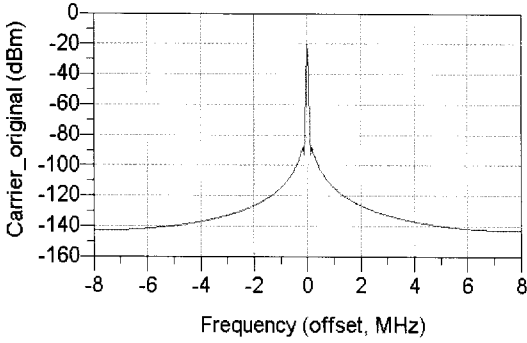


(a) QPSK 신호 발생 모의 구성도
 (a) Simulation diagram for QPSK signal generation

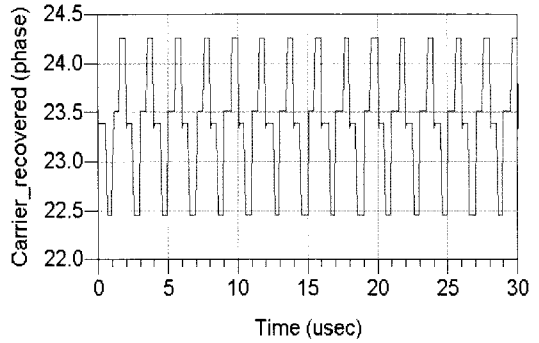


(b) QPSK 반송파 신호 복원 회로 모의 구성도
 (b) Simulation diagram of QPSK carrier recovery

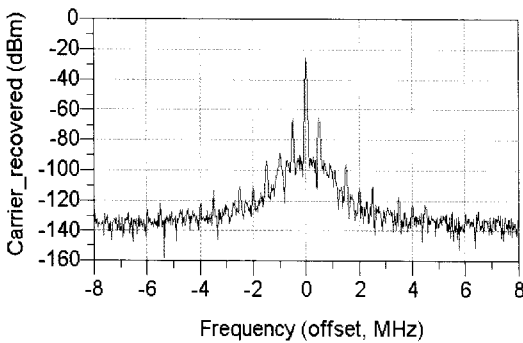
그림 5. QPSK 반송파 복원 회로 모의 구성도
 Fig. 5. Simulation layout of QPSK carrier recovery circuit.



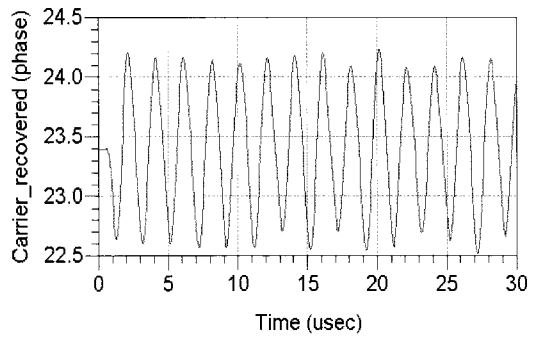
(a) 송신 반송파 신호
(a) Tx carrier signal



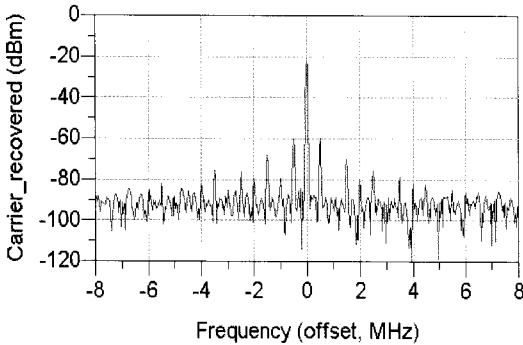
(a) 필터 전단의 신호
(a) Signal before filter



(b) 필터 출력단의 복원 반송파 신호
(b) Recovered carrier signal after filter



(b) 필터 출력단의 신호
(b) Signal after filter



(c) 필터 전단의 복원 반송파 신호
(c) Recovered carrier signal before filter

그림 7. 복원된 반송파 신호 특성
Fig. 7. Recovered carrier signal characteristics.

비교적 양호한 반송파 신호를 복원하고 있음을 알 수 있다. 그리고 재 변조에 의한 반사 소자 스위칭에 의해 발생하는 위상 편차는 그림 8에 나타나 있다.

그림 8로부터 복원된 반송파 신호는 일정한 위상 값(23.4°)을 갖는 지속파(CW)임을 알 수 있으며, 반

그림 8. 반사 소자 스위칭에 의한 반송파 신호 위상 특성

Fig. 8. Recovered carrier signal characteristics due to glitch.

사 소자 스위칭에 의해 발생하는 위상 편차가 $\pm 0.8^\circ$ 이내인 양호한 복원 반송파 신호를 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 6-단자 위상 상관기와 재 변조 방식을 사용한 PSK 반송파 신호 복원 구조를 해석하여 디지털 위상 변조 반송파 신호 복원 회로를 제안하였다. 제안된 반송파 신호 복원 회로는 주파수 신호원(전압 제어 발진기)을 필요로 하지 않는 간단하고 저가 구현이 가능한 구조로, 다양한 PSK 전송 모드의 반송파 신호를 복원할 수 있다.

제안된 회로 구조에 의해 복원된 반송파 신호는 일정한 위상값을 갖는 지속파(CW)를 재생하며, 재 변조를 위한 반사 소자 스위칭에 의해 발생하는 위

상 편차가 $\pm 0.8^\circ$ 이내인 양호한 반송파 복원 신호 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] E. Casini, R. De Gaudenzi, and A. Ginesi, "DVB-S2 modem algorithms design and performance over typical satellite channels", *Int. J. Satellite Commun.*, 2004.
 [2] Tri. T. Ha, *Digital Satellite Communication*, Macmillan, N.Y., 1986.
 [3] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Ed., New York: McGraw-hill, 1995.

[4] J. F. Gagne, J. Gauthier et al., "Low cost architecture of direct conversion digital receiver", *IEE Proc. Microw. Antenna Propag.*, vol. 151, no. 1, pp. 71-76, Feb. 2004.
 [5] Y. Zhao, J. F. Frigon et al., "Multi(six)-port impulse radio for ultra-wideband", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 54, no. 4, pp. 1707-1712, 2006.
 [6] 김영완, "SDR 직접 변환 수신기를 위한 적층형 탠덤 6 단자 상관기", *Telecommunications Review*, 17(3), pp. 432-444, 2007년.
 [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., 1998.

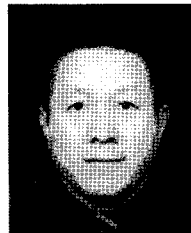
김 영 완



1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
 1984년~1990년: 동양정밀공업(주) 중앙연구소 과장

1990년~1992년: (주)유영통신 이사
 1992년~2004년: 한국전자통신연구원 책임연구원
 2004년~현재: 군산대학교 전자정보공학부 교수
 [주 관심분야] RF/Microwave 시스템 및 회로 설계, 디지털 위성 방송/통신 시스템, 마이크로파 소자

신 추 연



1978년 2월: 군산수산전문학교 통신과
 1986년 8월: 전북산업대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 8월: 조선대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 3월: 군산대학교 전자정보공학부 박사과정 수료

1979년~1997년: KT 근무
 1997년~2000년: KTF 근무
 2001년~2004년: (주)INT 임원
 2004년~현재: (주)영산시스템 대표
 [주 관심분야] 무선 통신 시스템 및 회로 설계, 디지털 영상 처리