

전원 스위칭을 이용한 저전력 소형무인기용 RF 송수신기 설계

Design of a Low-Power RF Transceiver for Small UAVs Using Switching Power

김 효 종 · 이 종 욱

Hyo-Jong Kim · Jong-Wook Lee

요 약

본 논문에서는 전원 스위칭 방법을 사용한 소형 무인기용 RF 송수신기에 대해 다루었다. 소형 무인기에 적용하기 위해서는 크기 및 무게 등의 물리적 고려 사항과 저전력 특성이 매우 중요한데, 본 논문에서는 전력 소모를 줄이기 위한 방법으로 전원 스위칭 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 사용하여 소형 무인기에 적용이 가능한 RF 송수신기를 제작하여 성능을 확인하였다. 측정 결과, 출력은 +25 dBm, 잡음 지수는 4.56 dB, 수신 감도는 -100 dBm의 성능이 측정되었다. 소모 전력 측정 결과, 전원 스위칭 방법을 적용하면 약 25 % 정도의 전력 소모를 줄일 수 있었다. 제작된 RF 송수신기의 크기는 100×60×5.7 mm³이며, 무게는 38 g이다.

Abstract

In this paper, we designed a RF transceiver for small unmanned aerial vehicle(UAV) using power switching method. To apply for the UAV, several characteristics such as size, weight, and power consumption are very important. To reduce power consumption, we propose a new power switching method. Using the proposed method, we fabricated the RF transceiver needed to establish the data link for a small UAV. The fabricated RF transceiver shows an output power of +25 dBm, a noise figure of 4.56 dB and a received signal strength of -100 dBm. By performing power measurement of proposed switching method, 25 % of power could be reduced. The size of the fabricated RF transceiver is 100×60×5.7 mm³ and the weight is as small as 38 g.

Key words: Data Link, Small UAV, TDD, Power Switching Method, RF Transceiver

I. 서 론

최근 군사적 목적의 정찰, 전투 수색 및 구조, 공격 등의 임무 수행과 민수에서의 해안 및 국경 감시, 국토 관리, 농업, 기상 및 해양, 방재, 관측 등의 매우 다양한 분야에서 무인기가 활용되고 있다^[1]. 무인기는 사람이 직접 조종을 하는 것이 아니라, 원격으로 임무를 수행하도록 조종하는 방식이다. 무인기는 사람 탑승 없이 오직 무선

링크에 의해서 운용되고, 임무를 수행하기 때문에 신뢰성 있는 통신 링크가 반드시 필요하다. 이를 위한 방법으로 데이터 링크를 사용한다. 데이터 링크는 무인기를 운용하기 위한 통신 시스템 전반을 말하는 것으로, 무인기의 전체적인 시스템에 있어서 매우 중요한 부분을 차지한다. 데이터 링크는 지상 통제 장비와 무인기 사이에 통신 링크를 구성시켜 무인기에서 수집된 정보와 비행기 상태정보를 지상 통제 장비에 전송하는 하향링크와 지상 통제

경희대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University)

· Manuscript received August 7, 2017 ; Revised August, 14, 2017 ; Accepted September, 25, 2017. (ID No. 20170807-076)

· Corresponding Author: Jong-Wook Lee (e-mail: jwlee@khu.ac.kr)

장비에서는 무인기로부터 전송된 정보를 분석하고, 무인기의 상태를 체크하여 적절한 임무 명령을 전송하는 상황링크로 이루어져 있다. 최근 무인기는 카메라를 통한 고화질 대용량의 동영상 및 정지영상을 지상 통제 장비로 전송하기 위해 영상 압축 기술, 대용량 데이터의 고속 처리를 위한 모뎀 및 RF 송수신 기술이 필요하다^[2].

무인기는 작전 반경, 운용 고도, 체공 시간 등에 따라 저고도, 중고도, 고고도 무인기 등으로 분류할 수 있다. 부품 소형화 기술 발전에 따라 점차적으로 소형 및 고성능 무인기의 기술 개발과 데이터 링크에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 무인기의 운용주파수는 데이터 링크의 성능 및 안테나의 크기 결정에 매우 중요한 요소이며, UHF-대역부터 Ku-대역에 이르기까지 여러 주파수 대역을 사용하고 있다^[3]. 데이터 링크의 크기 및 전력 소모는 소형 무인기의 작전 반경 및 체공 시간에 직접적으로 영향을 미친다. 또한, 요구되는 작전 반경을 만족시키기 위해서는 데이터 링크 시스템에서 송신기 출력, 수신기 감도, 안테나 이득 등이 고려되어야 한다.

본 논문에서는 소형 무인기에 적용이 가능한 TDD(Time Division Duplex) 방식의 C-대역 RF 송수신기에 대하여 서술하였다. TDD 방식은 송신과 수신에 동시에 이루어지지 않기 때문에 송신 시간에는 수신기 전원을 off하고, 수신 시간에는 송신기의 전원이 off 되도록 하여 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있다. 이를 위한 방법으로 빠른 상승 및 하강 특성을 갖는 펄스 바이어스 회로를 제안하였다^[4]. 소형 무인기용 데이터 링크는 영상압축기, 모뎀 및 신호 처리기 및 RF 송수신기로 구성되어 있지만, 본 논문에서는 전원 스위칭 방법을 사용한 RF 송수신기에 대해서만 기술한다. RF 송수신기는 주파수 상/하향 변환, 채널 변경, 소신호 증폭, 수신 신호 이외 대역 필터링, 전력 증폭, 송신 출력 가변 기능 등을 가진다. 논문의 II장에서는 전원 스위칭 방법에 대해 분석하였고, III장에서는 분석된 회로를 적용한 RF 송수신기 설계에 대하여 서술하였다. IV장에서는 제작 및 측정 결과를 제시하였다.

II. 전원 스위칭 방법

무선 통신에서 TDD 방식은 송신과 수신을 같은 주파수를 사용하되, 송신과 수신을 시분할하여 패킷 단위 정

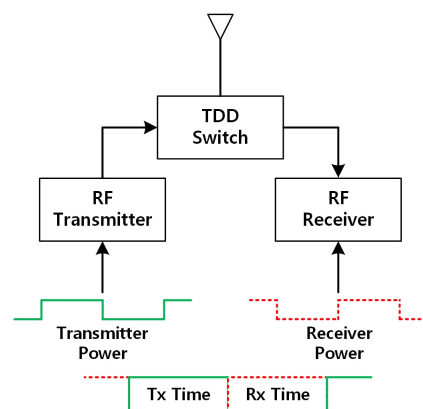
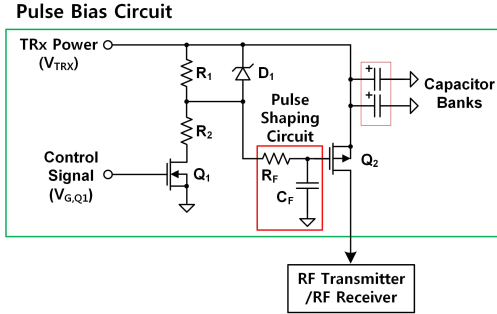


그림 1. TDD를 이용한 전원 스위칭 기법
Fig. 1. Power switching method using TDD.

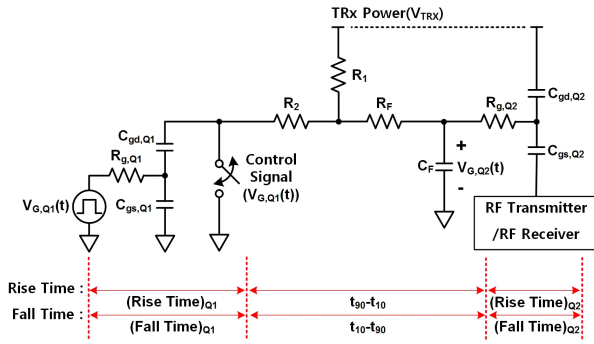
보를 처리하는 통신 방식이다^[5]. 송신과 수신을 동일한 주파수와 대역폭을 사용하므로 적은 대역으로 많은 정보를 전달할 수 있는 장점이 있다. 또한, 송신과 수신에 동일 시간에 동작하지 않으므로 송수신 타이밍에 맞게 송수신기 전원을 제어하여 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있는 장점도 있다. 그림 1은 TDD 방식에서 전원 스위칭 기법에 대한 동작 개념을 나타낸 것이다.

소형 무인기에서 전력 소모를 줄이는 것과 송수신 데이터 왜곡은 매우 중요한 요소이므로 데이터 왜곡을 방지하기 위한 적절한 전원 제어가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 전원 제어 기능을 RF 송수신기에 적용하고, 이를 위한 회로로 빠른 상승 및 하강 시간을 갖는 펄스 바이어스 회로를 제안하였다. 수신기의 전력 소모는 적지만, 송신기는 고출력 증폭기 등을 사용하여야 하므로 수 A의 전류를 제어할 수 있는 고전력 스위칭 회로가 필요하다. 빠른 스위칭 시간과 고전류를 고려한 회로를 그림 2에 제시하였다. 그림 2(a)는 펄스 바이어스 회로에 대한 블록도, 그림 2(b)는 분석을 위한 등가 회로를 나타낸 것이다. 그림 2(b)에서 $R_{g,Q1}$ 은 MOSFET Q_1 의 게이트 직렬 저항, $C_{gs,Q1}$ 은 게이트 소스 커패시턴스, $C_{gd,Q1}$ 은 게이트 드레인 커패시턴스를 나타낸다. $R_{g,Q2}$, $C_{gs,Q2}$, $C_{gd,Q2}$ 은 MOSFET Q_2 의 기생 성분을 나타내며, $V_{G,Q1}$ 은 Q_1 을 on/off 하기 위한 제어 신호이다.

제어 신호가 Q_1 에 입력되면, Q_1 은 Q_2 의 스위칭을 제어한다. Q_2 의 turn on 시간은 Q_2 의 게이트 커패시턴스를 충



(a) 펄스 바이어스 회로 구성도
(a) Schematic of pulse bias circuit



(b) 펄스 바이어스 회로 등가 회로
(b) Equivalent circuit model for pulse bias circuit

그림 2. 펄스 바이어스 회로와 분석을 위한 등가 회로
Fig. 2. Schematic of pulse bias circuit and equivalent circuit model.

전하는데 필요한 시간에 의해 결정된다. Q_2 의 게이트 단자에서는 순간적인 스위칭에 의한 오버 슈트가 발생하여 Q_2 를 손상시킬 수 있다. 이것을 방지하기 위하여 Q_2 의 게이트 단자에 잡음 제거 회로(R_F 및 C_F)를 적용하여 오버 슈트를 제거하도록 하였다. 이 회로 추가로 인하여 스위칭 시간이 느려질 수 있지만, 시스템의 안정을 위하여 삽입하였다. Q_2 의 게이트 단자에 입력되는 신호를 왜곡하지 않는 범위 내에서 $R_F = 10 \Omega$, $C_F = 1,000 \text{ pF}$ 을 선택하였다. Q_2 의 소스 단자에 커패시터 뱅크를 적용하여 turn on 시 순간적인 전류를 공급할 수 있도록 하였다. 먼저, RC 회로에 대한 분석 후 상승 및 하강 시간에 대하여 분석한다.

그림 3은 상승 시간 분석을 위한 등가회로를 보이고 있다. 그림 3에서 $V_{G,Q2}$ 는 C_F 양단에 걸리는 전압으로 RC 회로의 전압 파형을 나타낸다.

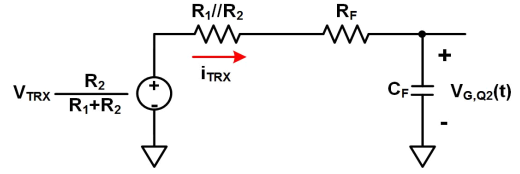


그림 3. 상승 시간 분석을 위한 등가 회로 모델
Fig. 3. Equivalent circuit model for rise time analysis.

그림 3에서 전류 i_{TRX} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{TRX} = \frac{V_{TRX} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{G,Q_2}(t)}{R_F + R_1 // R_2} = C_F \frac{dV_{G,Q_2}(t)}{dt} \quad (1)$$

식 (1)을 풀면,

$$V_{G,Q_2}(t) = \frac{V_{TRX}}{R_1 + R_2} (R_2 + R_1 e^{-t/\tau_R}) \quad (2)$$

여기서 $\tau_R = C_F(R_F + R_1 // R_2)$ 이다. 식 (2)를 이용하여 10 %일 때의 시간을 구하면,

$$V_{G,Q_2}(t_{10}) = \frac{V_{TRX}}{R_1 + R_2} (R_2 + R_1 e^{-t_{10}/\tau_R}) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{TRX} + \frac{1}{10} \left(V_{TRX} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{TRX} \right) \quad (3)$$

여기서 $t_{10} = \tau_R \ln(10)$ 이다. 90 % 시간도 유사한 방법으로 구하면,

$$V_{G,Q_2}(t_{90}) = \frac{V_{TRX}}{R_1 + R_2} (R_2 + R_1 e^{-t_{90}/\tau_R}) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{TRX} + \frac{9}{10} \left(V_{TRX} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{TRX} \right) \quad (4)$$

여기서 $t_{90} = \tau_R \ln\left(\frac{10}{9}\right)$ 이다. RC 회로에 대한 상승 시

간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t_{rise}^{RC} = t_{10} - t_{90} = \tau_R \ln(9) \quad (5)$$

펄스 바이어스 회로가 turn on 되기 위해서는 순차적으로 MOSFET Q_1 이 turn on 되고, RC 회로의 전압이 90 % 크기까지 증가한 후 MOSFET Q_2 가 turn on이 되므로 각각의 상승 시간을 더하면 펄스 바이어스 회로의 상승 시간을 구할 수 있다. 따라서 펄스 바이어스 회로의 상승 시간은 MOSFET Q_1 의 상승 시간, RC 회로의 상승 시간 및 MOSFET Q_2 의 상승 시간 합으로 얻을 수 있다.

$$t_{rise} \cong (\text{상승})_{Q_1} + \tau_R \ln(9) + (\text{상승})_{Q_2} \quad (6)$$

바이어스 제어 신호에 “0”이 입력되면, Q_1 은 turn off 되고, R_2 의 한쪽 단자는 개방되어 RC 회로는 바이어스 전압에 영향을 주지 않는다. 따라서 하강 시간에서의 RC 회로는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

송수신기에 인가되는 펄스 전압 $V_{G,Q2}(t)$ 는 다음과 같다.

$$V_{G,Q2}(t) = V_{TRX} \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} e^{-t/\tau_F} \right) \quad (7)$$

여기에서, $\tau_F = C_F(R_F + R_1)$ 이다. 10% 일 때의 전압은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_{G,Q2}(t_{10}) &= V_{TRX} \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} e^{-t_{10}/\tau_F} \right) \\ &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{TRX} \\ &+ \frac{1}{10} \left(V_{TRX} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{TRX} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

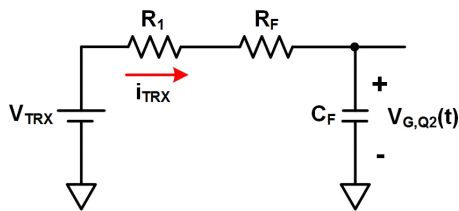


그림 4. 하강 시간을 위한 등가 회로 모델

Fig. 4. Equivalent circuit model for fall time analysis.

여기서 $t_{10} = \tau_F \ln\left(\frac{10}{9}\right)$ 이다. 90 % 일 때의 전압은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_{G,Q2}(t_{90}) &= V_{TRX} \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} e^{-t_{90}/\tau_F} \right) \\ &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{TRX} \\ &+ \frac{9}{10} \left(V_{TRX} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{TRX} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $t_{90} = \tau_F \ln(10)$ 이다. RC 회로의 하강 시간은 다음과 같다.

$$t_{fall}^{RC} = t_{90} - t_{10} = \tau_F \ln(9) \quad (10)$$

펄스 바이어스 회로의 하강 시간도 상승 시간과 동일하게 MOSFET Q_1 과 Q_2 및 RC 회로의 하강 시간의 합으로 얻을 수 있다.

$$t_{fall} \cong (\text{하강})_{Q_1} + \tau_F \ln(9) + (\text{하강})_{Q_2} \quad (11)$$

그림 2(a)에서 R_1 과 R_2 값을 낮게 하면 빠른 상승 및 하강 시간을 얻을 수 있지만, 과도한 드레인 전류에 의해 Q_1 이 파손될 우려가 있고, 높은 저항을 선택하면 늦은 상승 및 하강 시간을 얻기 때문에 적당한 R_1 과 R_2 를 선택하여야 한다. 속도와 안정성을 모두 고려하여 $R_1 = 40 \, \Omega$, $R_2 = 50 \, \Omega$ 를 선택하였다. MOSFET Q_1 과 Q_2 에 대한 상승 및 하강 시간을 고려하여 펄스 바이어스 회로의 상승 및 하강 시간에 대한 계산 값과 시뮬레이션 결과를 표 1에 나타내었다. MOSFET Q_1 과 Q_2 에 대한 상승 및 하강 시간은 power MOSFET의 스위칭 특성을 turn-on과 turn-off 구간으로 나누어 구할 수 있다^[6]. 시뮬레이션 툴로 Cadence사의 Pspice를 사용하였다.

표 1의 결과를 살펴보면, 계산 결과와 시뮬레이션이 잘 일치함을 알 수 있다. 이 결과는 펄스 바이어스 회로에 대한 분석이 타당함을 나타내는 것으로, 대체적으로 빠른 상승 및 하강 시간을 얻은 결과이다. R_1 과 R_2 를 낮은 값으로 하면 보다 빠른 상승 및 하강 시간을 가질 수 있지만, 본 논문에서 고려한 TDD 타이밍이 msec이므로, 빠른 상

표 1. 펄스 바이어스 회로의 상승 및 하강 시간
Table 1. Rise and fall times of pulse bias circuit.

Item	Calculation(nsec)	Simulation(nsec)
Rise time	127.2	126.8
Fall time	363.7	339.4

승 및 하강 시간보다는 안정성을 택하였다.

Ⅲ. RF 송수신기 설계

본 장에서는 소형 무인기용 RF 송수신기 설계에 대하여 서술하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 송수신기 모두 이중 주파수 변환 구조를 가진다. 이 구조는 시스템 구현시 비용과 부피가 증가하는 단점이 있지만, 수신기에서 적절한 필터 선택으로 수신 감도와 수신 선택도를 좋게 할 수 있는 장점이 있다.

RF 송수신기의 설계 목표는 C-대역 주파수로 약 10 km의 통신 거리를 충족하기 위하여 표 2와 같이 규격을 설정하였다. 운용대역폭은 300 MHz, 각 채널당 대역폭은 최대 2 MHz, 채널 사이에 500 kHz의 가드 채널이 할당되어 있다. 소형 무인기인 관계로 RF 송수신기에 공급해 줄 수 있는 전력은 매우 제한적이며, 최대 20 W를 공급해 줄 수 있다. 이를 만족하기 위하여 저전력 설계가 필요하고, 해결 방법으로 전원 스위칭 방법을 적용하였다. 소형 무인기용 데이터 링크는 변조 방식으로 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)를 사용하였으며, 변조 대역폭은 채널 대역폭을 넘지 않도록 약 1.8 MHz 정도 되게 모델을 설계하였다. 변조 파형의 스펙트럼 마스크 특성은 인접 채널 기

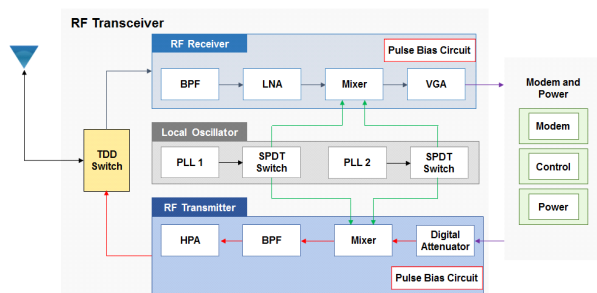


그림 5. RF 송수신기 블록도
Fig. 5. Block diagram of RF transceiver.

표 2. RF 송수신기 규격
Table 2. Specifications RF transceiver.

Item	Specification
Frequency(GHz)	5.7~6.0
Channel bandwidth(MHz)	2(99 % bandwidth)
Output power(dBm)	+25(Peak power)
Sensitivity(dBm)	-95
Noise figure(dB)	5
Spurious(dBc)	-60
Power consumption(W)	20 W(@ +12 V)

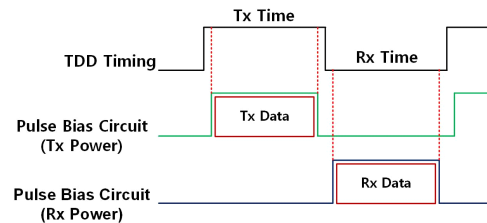


그림 6. TDD와 펄스 바이어스 회로의 타이밍도
Fig. 6. Timing diagram of TDD and pulse bias circuit.

준으로 25 dBc 이상이 되도록 하였다.

TDD 송수신 타이밍에 동기되어 동작하는 펄스 바이어스 회로는 RF 송수신기의 전원을 제어한다. 전원 제어 신호 왜곡을 방지하기 위하여 TDD 송수신 타이밍보다 늦게 펄스 바이어스 회로가 동작되도록 하고, 펄스 바이어스가 안정된 후 송수신 데이터가 처리되도록 하였다. 그림 6은 TDD 타이밍에 따른 펄스 바이어스 회로의 동작 개념을 나타낸 것이다.

송신기에 대한 상세 블록도를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 보는 바와 같이 모뎀 및 신호처리에 위치해 있는 DAC(Digital to Analog Converter) 출력 신호를 +25 dBm 이상으로 증폭되도록 마진을 고려하여 38 dB 이상의 이득을 갖도록 설계하였다. 또한 디지털 가변 감쇄기를 적용하여 1 dB 간격으로 2~31 dB 범위에서 출력이 가변되도록 하였으며, 송신기의 안정적인 동작을 위하여 초기에는 항상 최대의 감쇄값을 갖도록 하였다. 70 MHz의 중간 주파수를 운용 주파수인 5.7~6.0 GHz의 주파수로 상향 변환하기 위하여 이중 주파수 변환 과정을 선택

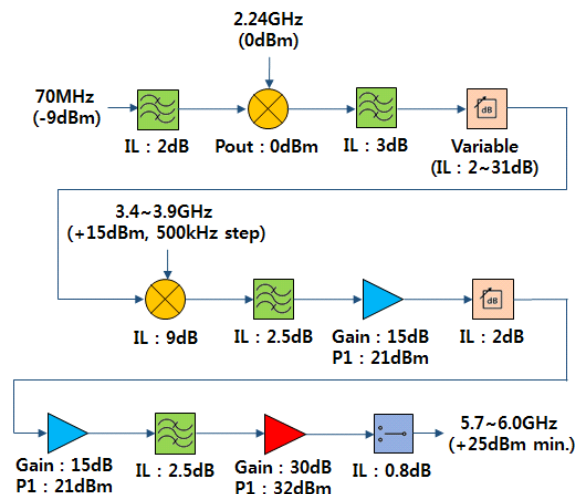


그림 7. 송신기 블록도

Fig. 7. Block diagram of a transmitter.

하였다. 첫 번째 국부발진기는 2.24 GHz의 고정 주파수를 발진하고, 두 번째 국부발진기는 3.4~3.9 GHz의 주파수로 500 kHz 간격으로 가변이 가능하도록 설계하였다. 최종 출력단의 TDD 스위치는 TDD 타이밍에 동기되어 동작한다.

수신기는 안테나로부터 수신된 미약한 신호를 수신하여 원래의 데이터를 획득하는 것을 목적으로 하는 장비이다. 이때 수신된 신호는 원래의 신호뿐만 아니라, 많은 간섭 신호와 잡음들이 섞여 있기 때문에 원래의 신호를 필터링하는 것은 매우 중요하다. 그림 8은 수신기의 블록도를 나타낸 것으로, 링크 버짓 분석에서 요구되어지는 수신 세기인 $-100 \sim -30$ dBm의 신호를 왜곡없이 중간 주파수인 70 MHz, $-20 \sim 0$ dBm 크기로 변환한다. $-100 \sim -30$ dBm를 $-20 \sim 0$ dBm 크기로 변환하기 위하여 저잡음 증폭기와 가변 이득 증폭기를 사용하였다. 중간 주파수와 신호 크기는 모뎀 및 신호처리기의 ADC(Analog to Digital Converter)와 모뎀 특성을 고려하여 결정하였다. 14-bits, 65 MSPS 특성을 가지는 ADC를 사용하였다. RF 송신기와 동일한 국부발진기를 사용하여 주파수 하향 변환하였다. 수신기의 중요 파라미터인 잡음 지수는 링크 버짓 분석과 마진을 고려하여 5 dB 이하가 되도록 설계하였다.

RF 송수신기에 전원 스위칭 방법을 적용한 주된 이유

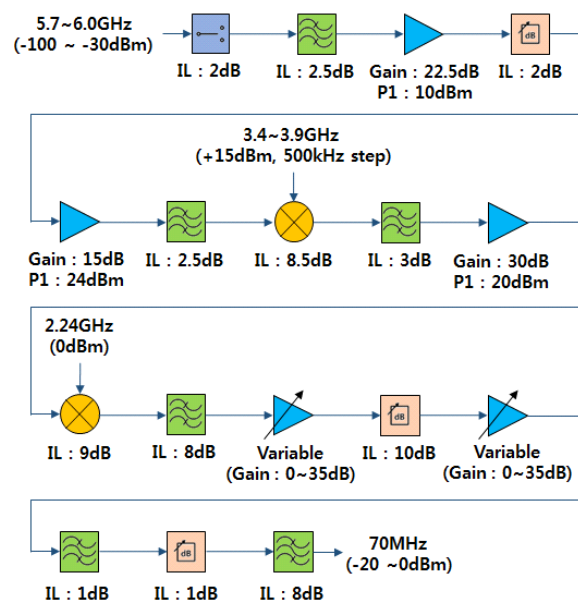


그림 8. 수신기 블록도

Fig. 8. Block diagram of a receiver.

는 전력 소모를 최소화하기 위해서다. 앞에서 언급하였듯이, TDD 통신 방식을 사용하므로 송신 시간에 수신기는 동작이 불필요하고, 수신 시간에는 송신기 동작이 불필요하므로 TDD 타이밍을 적절히 고려하여 전원을 제어하면 신호 왜곡 없이 전력 소모를 최소화 할 수 있다. 따라서 전원 제어를 통하여 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있게 되며, 소자의 발열도 줄일 수 있어 시스템의 신뢰성을 향상할 수 있다.

IV. 제작 및 측정 결과

본 논문에서 기술한 RF 송수신기가 사용되는 소형 무인기용 데이터 링크는 영상압축기, 모뎀 및 신호처리기와 RF 송수신기로 구성되어 있다. 영상압축기는 TI사의 H.264 코덱이 내장되어 있는 DSP 칩을 이용하여 정해진 크기로 영상을 압축하며, 모뎀 및 신호처리기는 데이터를 QPSK 변복조를 수행하고, 주변 장치와 RS-232 통신하도록 설계되어 있다. 데이터 링크 크기는 $100 \times 60 \times 30$ mm³, 무게는 128 g으로 매우 가볍다. 그림 9는 제작된 UAV용 데이터 링크 사진이며, 위에서부터 RF 송수신기, 모뎀 및 신호처리, 영상압축기로 배치되어 있다.

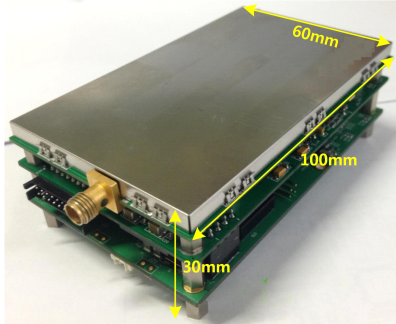


그림 9. 제작된 UAV용 데이터 링크
Fig. 9. Photograph of the fabricated data link for UAV.

그림 10은 제작된 RF 송수신기 사진이다. 데이터 링크가 소형 경량이기 때문에, RF 송수신기는 더 작고 가벼워야 한다. RF 송수신기 크기는 $100 \times 60 \times 5.7 \text{ mm}^3$, 무게는 38 g이다.

RF 송수신기에 대한 성능 시험은 데이터 링크 시스템을 이용하여 수행하였다. 그림 11은 RF 송수신기 측정을 위한 장비 구성을 나타낸 것이다. 전원을 공급하기 위한 전원공급기, 데이터 링크 제어용 노트북, 감쇄기, 출력 특성을 측정하기 위한 스펙트럼 분석기, 수신 신호 특성 측정을 위한 신호발생기로 구성된다.

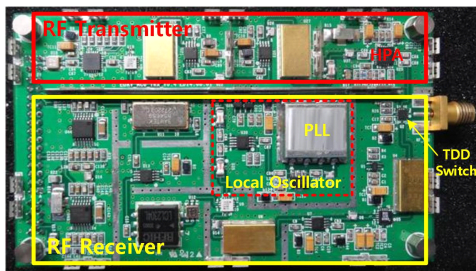


그림 10. 제작된 RF 송수신기
Fig. 10. Photograph of the fabricated RF transceiver.

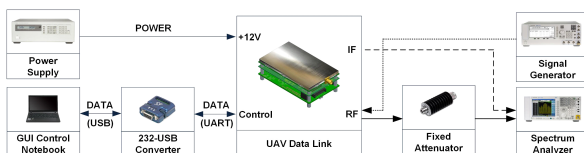


그림 11. 측정 장비 구성도
Fig. 11. Measurement equipment setup.

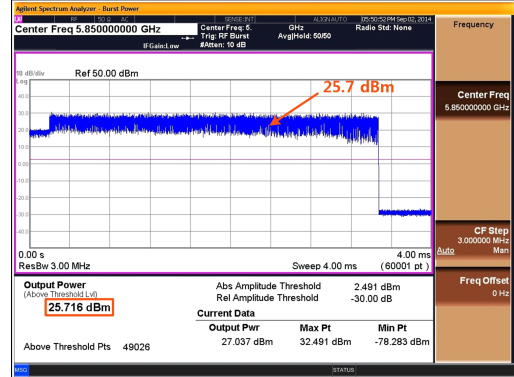


그림 12. 측정된 RF 송신기 출력 전력
Fig. 12. Measured output power of RF transmitter.

그림 12는 중심 주파수 5.85 GHz일 때의 RF 송신기 출력 전력을 측정한 것으로 +25.7 dBm으로 목표 규격을 만족하였다. 출력 전력은 제어용 노트북을 사용하여 최대 출력이 되도록 제어하였으며, 운용 주파수 대역에서 모두 규격을 만족하였다. 출력 전력 측정은 스펙트럼 분석기의 burst power 모드를 이용하였고, 이때의 RBW(Resolution Bandwidth)는 3 MHz로 설정하였다.

그림 13은 중심 주파수 5.85 GHz일 때의 RF 송신기의 출력 스펙트럼 파형을 측정한 것이다. 변조 파형은 채널 대역폭 규격을 만족하여야 하며, 증폭 과정에서 상호 변조가 발생하지 않아야 한다. 대역폭 측정 결과, 1.8014 MHz로 목표 규격을 만족하였으며, 인접 채널의 출력 크기 차이는 약 27.5 dBc로 설계 규격을 만족하였다.

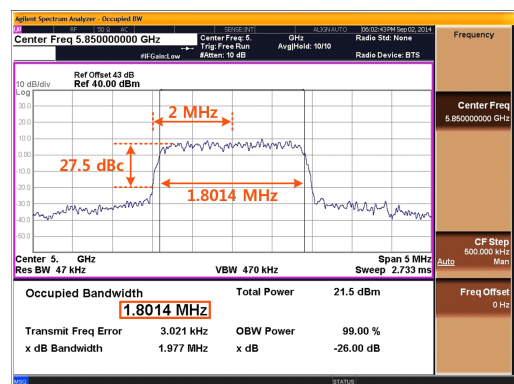


그림 13. 측정된 RF 송신기 출력 스펙트럼
Fig. 13. Measured output spectrum of RF transmitter.

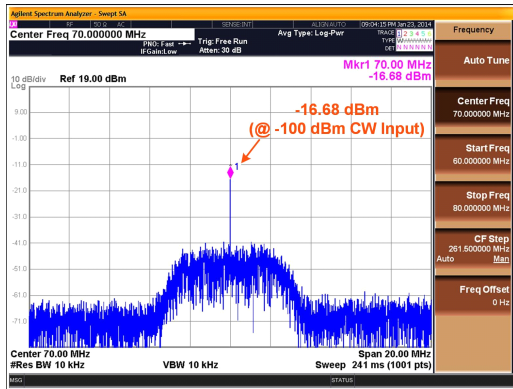


그림 14. 측정된 RF 수신기의 수신 신호 크기
Fig. 14. Measured signal strength of RF receiver.

그림 14는 RF 수신기의 입력 신호가 -100 dBm일 때의 중간 주파수 70 MHz의 신호 세기를 측정한 결과로 중심 주파수 5.85 GHz, RF 신호는 CW(Continuous Wave)일 때의 결과이다. 측정 결과, 신호 크기는 -16.68 dBm으로 설계 규격을 만족하였다. 측정은 -100 dBm부터 -30 dBm까지 입력 기준으로 측정을 하였다. 또한 수신기에 대한 잡음 지수는 스펙트럼 분석기(잡음 지수 측정 기능 내장)를 이용하여 측정하였다. RF 신호가 입력되는 TDD 스위치부터 IF 신호 출력까지 측정한 것으로, 측정 결과 4.56 dB로 규격을 만족하였다.

표 3은 제작된 데이터 링크 각 장치별 전력 소모량을 측정하는 것이다. 표 3에서 보는 바와 같이, 전원 제어를 적용하지 않고 연속적으로 동작하였을 경우, 23.03 W의 전력 소모량이 측정되었고, TDD 타이밍에 맞게 전원 제어를 적용하였을 경우, 17.34 W의 전력이 측정되었다. 측정 결과, 전원 스위칭 방법을 적용하였을 경우, 약 25% 정도의 전력 소모를 줄일 수 있었다. 이 결과는 본 논문에서 제안한 TDD 송수신 타이밍에 따른 RF 송수신기의 전원 스위칭 방법 적용이 저전력을 요구하는 소형 무인기용 데이터 링크 시스템에 매우 적합 방법임을 의미하는 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 전원 스위칭 방법을 사용하여 구현한 C-대역에서 동작하는 소형 무인기용 RF 송수신기에 대하여 기술하였다. 소형 무인기에 적용되는 RF 송수신기는

표 3. 측정된 데이터 링크 전력 소모량

Table 3. Measured power consumption of the data link.

Module	Voltage (V)	Current consumption (mA)	Power consumption (W)	
			CW mode	TDD mode
Transmitter	+5	1,464	7.32	3.66
	+3.3	45	0.15	0.075
Receiver	+5	760	3.8	1.9
	+3.3	30	0.1	0.05
Local oscillator	+5	1	0.005	0.005
	+3.3	325	1.07	1.07
Modem and signal processor	+5	925	4.62	4.62
	+3.3	315	1.04	1.04
Image compressor	+12	410	4.92	4.92
Total power consumption			23.03	17.34

크기 및 무게뿐만 아니라, 전력 소모도 중요한 요소가 된다. 전력 소모를 줄이기 위한 방법으로 전력 스위칭 방법을 제안하였다. 제안 방법을 사용하여 RF 송수신기를 제작하였고, 출력 크기, 출력 스펙트럼, 수신 신호 성능 및 잡음 지수 등의 측정 결과를 제시하였다. 실제 데이터 링크에 적용하여 시험한 결과, RF적인 특성을 모두 만족하였으며, 전력 소모량도 약 25% 정도 감소함을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 방법으로 개발된 데이터 링크는 소형 무인기뿐만 아니라, 저전력을 요구하는 다른 무인기에도 사용이 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] 최재원, "무인기 발전추세 및 개발동향", 국방과 기술, 424, pp. 104-113, 2014년 6월.
- [2] 황인, 이창하, 임강희, "무인기 활성화에 따른 우리 군의 대응방안", 국방과 기술, 445, pp. 70-85, 2016년 3월.
- [3] 하영석, 이상용, 김세일, 박영규, 이지영, 조일륜, 김성훈, "군용 초소형무인기 데이터 링크 개발동향 연구", 한국통신학회 추계종합학술발표회, pp. 684-685, 2015년 11월.
- [4] 김효종, 윤명한, 장필식, 김완식, 이종욱, "펄스 변조

및 전원 스위칭 방법을 혼용한 X-대역 50 W Pulsed SSPA 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 22(4), pp. 440-446, 2011년 4월.

[5] 권동승, 경문건, "고속 비대칭 서비스를 위한 IMT-

2000 용 TDD 방식", 한국통신학회지, 17(8), pp. 99-108, 2000년 4월.

[6] B. J. Baliga, *Power Semiconductor Devices*, PWS, pp. 387-395, 1995.

김 효 중



1997년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)

1999년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학석사)

2005년 9월~현재: 경희대학교 전파공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 회로 및 시스템, 주파수 합성기, SSPA, 데이터 링크 시스템

이 중 욱



1993년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 12월: Purdue University at West Lafayette, USA (공학박사)

2004년~현재: 경희대학교 전자·전파공

학과 부교수

[주 관심분야] 밀리미터파 CMOS 회로 설계, RFID 태그 칩 설계, 무선 전력 전송 및 충전 회로 설계