

# VHF 대역용 광대역 고전력 스위치 설계

## Design of VHF-Band Wideband High-Power Switch

이 병 남 · 박 동 철\*

Byeong-Nam Lee · Dong-Chul Park\*

### 요 약

본 논문은 20~100 MHz 범위의 VHF 대역에서 50  $\mu$ s 이내에 2 kW 이상의 고전력 신호를 제어할 수 있는 SPST(Single Pole Single Throw) PIN 다이오드 스위치의 설계 및 제작에 관하여 기술하였다. 고전력 스위치 설계에 필요한 설계 요소를 고찰하였고, 시뮬레이션을 통해 설계된 스위치의 삽입 손실, VSWR 및 격리도 특성이 목표 값을 만족함을 확인하였다. 또한, 실험을 통하여 최대 20  $\mu$ s 이하의 빠른 스위칭 속도로서 2 kW의 고전력 취급이 가능함을 알 수 있었고, 0.2 dB 이하의 삽입 손실, 1.17:1 이하의 VSWR 및 40 dB 이상의 격리도 특성을 얻었다.

### Abstract

This paper describes the design of SPST PIN diode switch which has a 2 kW high power handling capability within 50  $\mu$ s switching speed in 20~100 MHz VHF-band. Design factors were investigated and it was confirmed by simulation that the characteristics of insertion loss, VSWR, and isolation met design goal. Also, the capability to handle 2 kW high power with maximum fast switching speed less than 20  $\mu$ s was confirmed and insertion loss less than 0.2 dB, VSWR less than 1.17:1, and isolation higher than 40 dB were obtained by experiments.

Key words : PIN Diode Switch, High-Power Switch

## I. 서 론

VHF 대역의 통신 방해 장비는 아날로그 및 디지털 통신 신호를 전파 방해할 목적으로 운용되는 군용 장비로서<sup>[1]</sup>, 고출력의 방해 신호를 발생시키는 증폭기와 고출력 방해 신호를 제어하기 위한 고전력 스위치가 사용된다. 이때 적용되는 스위치는 일반적으로 20~100 MHz 범위에서 동작하도록 최소 5:1 이상의 대역폭이 요구되며, 입력 전력은 수 킬로 와트급의 지속과 신호를 취급할 수 있어야 하고 스위칭 속도는 수십  $\mu$ s 이하이어야 한다.

일반적으로 고전력 취급을 위한 스위치로는 동축 스위치와 도파관 스위치가 사용되며, 메가 와트급까

지 제어가 가능한 것으로 알려져 있다<sup>[2]</sup>. 그러나 이러한 기계적 스위치는 대역폭이 작고 스위칭 속도가 수 ms 정도로 매우 느리다는 단점이 있다. 따라서 통신 방해 장비와 같이 고전력 취급과 수십  $\mu$ s의 빠른 스위칭 속도가 요구되는 경우에는 기계적 스위치 적용이 불가하므로 필수적으로 반도체 스위치가 사용되며, 고전력 취급에 적합하도록 설계되어야 한다.

현재까지의 스위치 연구는 수 와트급 이하의 저전력 스위치에 대한 것들이 대부분이며, 국내에서는 주로 2~4 GHz 범위에서 와이브로 기지국 또는 위성 통신 장비용 초고주파 대역 저전력 스위치에 대한 연구가 있었고<sup>[3],[4]</sup>, 최근 들어 MEMS 기술을 이용한 저전력 스위치 연구가 국내외에서 많이 이루어

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20080508-059

· 수정완료일자 : 2008년 7월 28일

지고 있는 상황이다. 본 논문에서 설계하고자 하는 고전력 스위치는 통신 방해 장비와 같이 특수한 분야에만 제한적으로 사용되는 스위치로 볼 수 있으며, 이런 이유로 국내 연구 사례는 전무하며 국외 연구 사례도 아주 적은 것으로 알려져 있다<sup>[5],[6]</sup>.

본 논문은 고전력 반도체 스위치 설계에 관한 것으로서, 고전력 동작에 적합한 미국 MA-COM사의 패키지 PIN 다이오드를 이용해 스위치를 설계하였다. 설계를 위하여 원하는 삽입 손실, VSWR 및 격리도 특성을 얻을 수 있도록 상용 시뮬레이션 툴인 ADS를 사용하여 회로 시뮬레이션을 수행하였고, 고전력 제어에 필요한 수백 볼트 수준의 다이오드 역바이어스 공급 회로를 설계하였다.

스위치는 20~100 MHz 범위의 VHF 대역에서 2 kW 이상의 고전력 신호를 50  $\mu$ s 이하로 제어 가능해야 하며, 삽입 손실 0.2 dB, VSWR 1.2:1, 격리도 40 dB로 설계 목표를 설정하였다. 설계 결과, 직렬 2단 및 병렬 1단의 다이오드 연결 구조를 사용하여 원하는 성능을 만족하는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 제작된 스위치는 실험을 통하여 최대 20  $\mu$ s 이하의 빠른 스위칭 속도로 제어 가능하고 2 kW의 고전력을 취급할 수 있음이 입증되었고, 아울러 0.2 dB 이하의 삽입 손실, 1.17:1 이하의 VSWR 및 40 dB 이상의 격리도를 갖는 것으로 나타났다.

## II. 고전력 스위치 설계

고전력 스위치가 적용되는 통신 방해 장비는 그림 1과 같은 구조를 갖는데<sup>[1]</sup>, 방해하고자 하는 통신 주파수에 고의 잡음 등을 혼합시킨 방해 신호를 발생시키는 방해 신호 발생기, 1 mW의 소신호를 2 kW의 대신호로 증폭시키기 위한 고출력 증폭기, 방해 신호 방사를 제어하기 위한 고전력 스위치, 전체적인 하모닉 신호 제거를 위한 하모닉 필터 및 안테나 등으로 구성된다. 그런데 그림 1과 같은 구조에서 볼 때, 스위치가 off된 상태에서 고전력이 인가될 경우, 반사파로 인해 입력단 증폭기에 치명적인 손상을 유발할 수 있으므로 일반적으로 증폭기 보호를 위해 저전력 상태에서 스위칭이 이루어진 다음 고출력 증폭기로부터 고전력이 인가되도록 동작하게 된다. 통신 방해 장비에 사용되는 고전력 스위치는 2

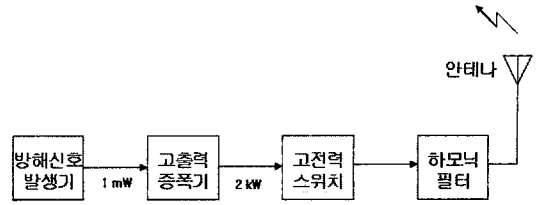


그림 1. 통신 방해 장비 구성도

Fig. 1. Communication jammer configuration.

kW급의 매우 큰 신호를 0.2 dB 이하의 작은 삽입 손실로 제어하는 기능을 수행한다. 고전력 스위치 설계는 일반적인 저전력 스위치와 유사하게 직렬 또는 병렬 다이오드를 기본적으로 사용하고, 인덕터를 이용하여 RF 초크 회로를 구성하는 방법을 사용한다. 다만 고전력 취급이라는 특수성을 감안하여 고전력 취급에 적합한 소자를 사용하며, 인덕터는 페라이트 코어와 코일을 이용하여 직접 설계해야 한다. 또한, 수백 볼트 수준의 고전압 역 바이어스가 요구되며 방열 문제도 고려하여야 한다.

### 2-1 스위치 회로 설계

고전력 스위치 설계를 위한 주요 성능 항목에는 취급 전력, 스위칭 속도, 삽입 손실, VSWR 및 격리도 등이 있으며, 이러한 항목을 만족시키기 위한 고전력 스위치 설계 과정을 살펴보고자 한다. 일반적으로 패키지 다이오드는 그림 2와 같은 등가 회로 모델로 표현되므로<sup>[3]</sup>, 다이오드가 on 되는 경우 기생 인덕턴스  $L_s$ 와 직렬 저항  $R_s$  성분으로 등가화되며, off인 경우에는 병렬 저항  $R_p$  및 커패시턴스  $C_j$  성분이 추가적으로 고려되어 등가화 된다.

그림 2와 같은 다이오드 등가 모델에서 통상  $R_s$ 는 매우 작으며  $R_p$ 는 매우 큰 값을 갖는다. 따라서 직렬 다이오드를 사용하는 스위치 구조는 삽입 손실(다이오드 on 조건)이 작지만 격리도(다이오드 off 조건)가 떨어지고, 병렬 다이오드를 사용하는 스위치 구조는 격리도(다이오드 on 조건)를 크게 할 수 있지만 삽입 손실(다이오드 off 조건)이 증가하게 된다. 따라서 직렬, 병렬 또는 직렬-병렬 혼합 다이오드 구조가 선택적으로 사용되어야 한다.

본 논문에서는 무엇보다도 취급 전력 및 스위칭 속도가 중요한 요소이므로, 취급 전력을 만족하는

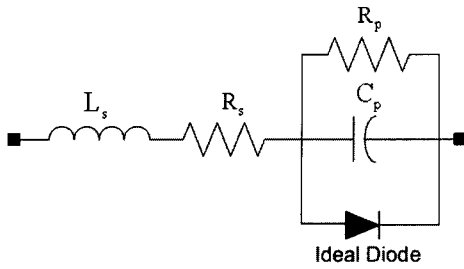


그림 2. 패키지 다이오드 등가 회로 모델  
Fig. 2. Equivalent circuit model of a packaged diode.

상용의 다이오드를 먼저 선정하고 제작사가 제공하는 데이터와 다이오드 등가 회로를 이용하여 단일 다이오드 자체 성능을 이론적 방법<sup>[7]</sup>으로 예측하였다. 이어서 단일 다이오드 성능을 토대로 전체적인 삽입 손실과 격리도를 만족시킬 수 있도록 직렬-병렬 혼합형 다이오드 구조를 결정하고, 주변의 인덕터 및 커패시터를 구성한 후 ADS를 통해 시뮬레이션 함으로써 최종 스위치 회로 설계를 완료하였다.

먼저 고전력 스위칭용 다이오드로는 취급 전력을 고려하여 미국 MA-COM사의 MA4PK2000을 선정하였으며, 규격은 표 1과 같다. 그런데 최대 취급 전력은 직렬 및 병렬 다이오드 각각에 대하여 식 (1) 및 (2)에 따라  $P_s$  및  $P_p$ 로 계산되므로<sup>[7]</sup> 제시된 규격 값을 이용하여 단일 다이오드의 예상 취급 전력 값을 계산할 수 있다.

$$P_s = \frac{(2Z_0 + R_s)^2}{4Z_0 R_s} P_d \quad (1)$$

$$P_p = \frac{R_p}{Z_0} P_d \quad (2)$$

표 1에 따라  $R_s$ 는 0.2 Ω,  $R_p$ 는 55 kΩ,  $P_d$ 는 다이오드 자체 소모 전력으로 제작사 데이터에 의하면 약 37.5 W이고, 부하 임피던스  $Z_0$ 는 50 Ω으로 설계된다. 따라서 식 (1)과 (2)에 의해 최대 취급 전력  $P_s$ 와  $P_p$ 는 각각 9.4 kW와 41.3 kW로 모두 목표 값인 2 kW 이상의 고전력 처리가 가능하다.

다음으로 스위칭 속도는 순방향 바이어스에서 역방향 바이어스로 전환되는데 소요되는 스위치 off 시간  $T_{FR}$ 과 역방향에서 순방향으로 전환되는데 소요되는 스위치 on 시간  $T_{RF}$ 로 구분된다.  $T_{FR}$ 은 식 (3)과 같이 계산되며,  $T_{RF}$ 는 다이오드의 진성

표 1. MA4PK2000 다이오드 규격  
Table 1. MA4PK2000 diode specifications.

Reverse voltage rating	2,000 V
Series resistance	0.2 Ω
Parallel resistance	55 kΩ
Total capacitance	3.2 pF
Carrier lifetime	10 μs
I-region width	200 μm

영역 폭에 따라 결정된다<sup>[7]</sup>.

$$T_{FR} = \tau \log_e \left( 1 + \frac{I_F}{I_R} \right) \quad (3)$$

여기서  $\tau$ 는 다이오드의 carrier lifetime으로 제작사 제시 자료에 의하면 10 μs이고,  $I_F$ 는 순방향 전류,  $I_R$ 는 초기 역방향 전류를 나타낸다. 그런데  $I_F$ 는 항상  $I_R$ 보다 작거나 같은 값을 가지므로,  $T_{FR}$ 이 가장 커지는 조건은  $I_F$ 와  $I_R$ 이 같은 경우로서 이때  $T_{FR}$ 은 식 (3)에 따라 약 7 μs로 계산되며,  $T_{RF}$ 는 제작사 제시 자료에 따라 진성 영역 폭이 200 μm인 경우 5 μs 이하로 예측되어 목표 값인 50 μs를 만족하기에는 충분할 것으로 예상되었다.

한편, 단일 다이오드의 삽입 손실과 격리도는 직렬 및 병렬 구조에 대해 각각 다음과 같이 계산된다<sup>[7]</sup>.

$$IL_s = 20 \text{ Log} \left( 1 + \frac{R_s}{2Z_0} \right) \quad (4)$$

$$IL_p = 10 \text{ Log} (1 + (\pi f C_p Z_0)^2) \quad (5)$$

$$Iso_s = 10 \text{ Log} \left( 1 + \frac{1}{(4\pi f C_p Z_0)^2} \right) \quad (6)$$

$$Iso_p = 20 \text{ Log} \left( 1 + \frac{Z_0}{2R_s} \right) \quad (7)$$

일반적으로 직렬 다이오드 삽입 손실  $IL_s$ 는 병렬 다이오드 삽입 손실  $IL_p$ 보다 작는데, 식 (4)와 (5)로 계산한 결과,  $IL_s$ 는 0.017 dB,  $IL_p$ 는 0.011 dB로  $IL_s$ 가 미세하지만 약간 크게 나타났다. 이것은 100 MHz 수준의 비교적 낮은 주파수가 적용된 결과로서 주파수가 높아질 경우  $IL_p$ 는 급격하게 증가되어 큰 값을 갖게 된다. 따라서 선정된 다이오드 자체는 스위치 전체적인 삽입 손실 0.2 dB를 만족하기에 충분함을 알 수 있었다.

한편, 식 (6)과 (7)에 따라 직렬 격리도  $I_{so_s}$ 는 100 MHz 조건에서 14.1 dB, 병렬 격리도  $I_{so_p}$ 는 42.0 dB로 계산되어, 단일 병렬 다이오드만 사용하더라도 40 dB 격리도 조건에 근접함을 보여주었다. 그런데 병렬 다이오드만 사용할 경우, 기본적으로 스위치 입력단에  $\lambda/4$  전송선을 사용함으로써 병렬 다이오드가 on 되는 경우 입력단이 개방인 것처럼 동작하도록 설계해야 한다. 그러나 100 MHz 이하의 낮은 주파수 대역에서의  $\lambda/4$  전송선 사용은 스위치 크기를 너무 크게 하기 때문에, 본 논문에서는 직렬의  $\lambda/4$  전송선을 대체함과 동시에 격리도를 향상시킬 목적으로  $\lambda/4$  전송선 대신에 직렬 다이오드를 사용하여 스위치를 설계하였다.

또한, 고전력 응용을 위한 직렬 다이오드는 하모닉 특성의 개선을 위해 두 개의 직렬 다이오드를 마주 보게 설계하는 back-to-back 구조가 적합한 것으로 제시되어 있다<sup>[5],[8]</sup>. 따라서 최종적으로 설계된 스위치는 back-to-back 구조의 직렬 다이오드 2단 및 병렬 다이오드 1단을 적용하고 RF 초크용 인덕터를 사용하여 그림 3과 같이 설계되었다. 또한, 일반적 스위치는 신호 라인에 DC 차단용 커패시터를 사용하지만, 본 논문의 경우와 같은 고전력 취급에 적합한 커패시터는 적용이 거의 불가능하고 사용 주파수가 낮아 삽입 손실만 증가시키게 되므로, 커패시터는 고전압 바이어스 회로의 잡음 신호 제거 목적으로만 사용하였다. 인덕턴스와 커패시턴스는 크게 할수록 RF 초크 성능이 좋아지는 구조이므로, ADS 시뮬레이션을 통해 인덕턴스와 커패시턴스를 증가시키며 삽입 손실 및 격리도 특성의 목표 값을 만족하도록 선택되

었다. 커패시턴스는 바이어스 부분에만 적용됨에 따라 전체적인 성능에는 영향을 덜 미치는 것으로 나타나 고전압 환경에서 가용한 상용 부품인 1,200 pF를 선정하였다. 반면에 사용 주파수가 낮기 때문에 인덕턴스는 삽입 손실과 격리도에 비교적 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 페라이트 코어와 코일을 사용한 직접 제작이 필요한 부품이어서 구현성을 고려하여 16  $\mu$ H로 결정하였다.

설계된 스위치의 ADS 시뮬레이션 결과는 뒤에서 실험 결과와 함께 비교 제시되었으며, 시뮬레이션 결과 삽입 손실은 0.2 dB 이하, VSWR은 1.2:1 이하, 격리도는 40 dB 이상으로서 설계 목표 값을 모두 만족함을 알 수 있었다.

### 2-2 역 바이어스 설계

고전력 스위치 설계를 위한 중요한 요소 중의 한 가지는 역 바이어스 회로 설계이다. 2 kW의 고전력 취급을 위해서는 수백 볼트의 역 바이어스 전압이 요구되는데, 스위치 동작에 문제가 없는 한 가급적 전압을 작게 설계하는 것이 유리하다<sup>[9]</sup>. 저전력 스위치의 경우, 역 바이어스 전압이 작기 때문에 문제가 되지 않지만, 고전력 스위치는 역 바이어스 전압이 수백 볼트 수준이므로 적절한 전압 선정에 어려움이 있고, 대개는 경험적인 요소와 실험적인 방법으로 역 바이어스 전압을 결정하는 방법이 흔히 사용된다.

역 바이어스 전압 선정을 위한 이론적 방법이 연 구된 바가 있는데<sup>[9]</sup>, 고전력 스위치와 같이 고전압의 역 바이어스 전압이 요구되는 경우에는 신호 왜곡이 크게 발생하지 않는 범위에서 역 바이어스를 작게 선정하는 것이 효과적인 것으로 제시되어 있다. 따라서 이론적 계산 결과는 참고 값으로만 적용 가능하며, 실제적으로는 스위치 동작 조건을 고려하여 계산된 결과보다 작은 전압을 선정하여야 한다. 즉, 최종적으로는 실험적 방법으로 역 바이어스가 결정된다고 볼 수 있는데, 역 바이어스를 너무 작게 할 경우 신호 왜곡 현상이 발생하므로 왜곡 현상이 일어나지 않는 최소 전압 값을 찾아내는 것이 궁극적 목표라고 볼 수 있다.

참고문헌 [9]의 계산 방법으로 구한 2 kW 취급 전력에 적합한 역 바이어스 전압은 VSWR이 1:1인 경

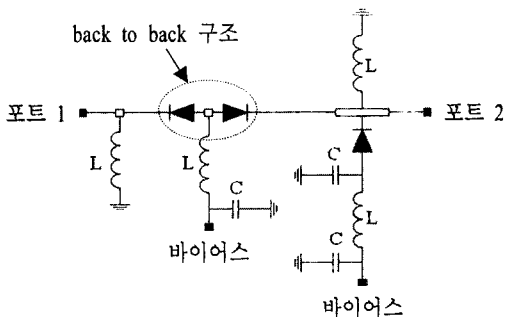


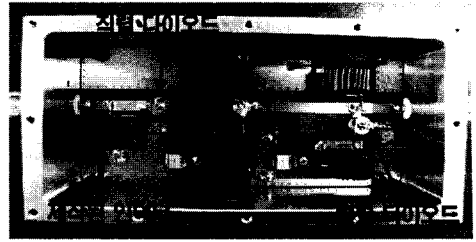
그림 3. 설계된 스위치 회로 구성도  
Fig. 3. Designed switch circuit diagram.

우 447.15 V이고, VSWR이 1.2:1이 될 경우 487.7 V로 계산되었다. 또한, VSWR 1.2:1 조건에서 역 바이어스 요구 전압은 참고문헌 [9]에 의하면 입력 신호의 주파수에 달라지는데 20 MHz에서는 481.1 V로, 100 MHz에서는 374.9 V로 각각 구해졌다. 본 논문에서는 역 바이어스 전압 값을 줄이기 위한 실질적인 방법으로서, 바이어스 전압값을 변경해 가며 핀 다이오드 출력 파형의 왜곡 여부를 측정하여 왜곡이 발생하지 않는 역바이어스 값을 구하였다. 역 바이어스는 실험적 방법으로 이론적 계산치보다 다소 작은 375 V로 설계하여 신호 왜곡 없이 스위치가 정상 동작함을 확인하였다.

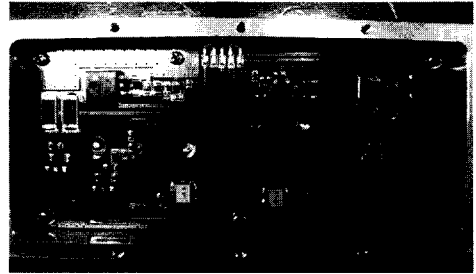
### III. 스위치 제작 및 실험

제작된 고전력 스위치는 그림 4와 같으며, 고전력 취급에 적합하도록 전체적으로 방열 처리 구조를 고려하여 알루미늄 케이스 내부에 장착하였다. 스위치 회로는 테프론 기판에 선정된 다이오드와 커패시터 및 인덕터를 부착하였으며, 특히 인덕터는 TT2-3500 페라이트 코어와 에나멜 선재 0.6 $\phi$ 를 사용하여 제작하였다. 또한, 바이어스 회로를 포함하는 일체형 스위치를 구현하기 위하여 스위치 회로 뒷면에 바이어스 회로가 부착되도록 제작하였다.

제작된 스위치에 대해 먼저 회로망 분석기를 이용하여 저전력 하에서의 전반적 특성을 측정하였다. 그림 5는 삽입 손실 측정 결과로서 시뮬레이션 결과와 유사하게 주파수가 높아짐에 따라 삽입 손실이 약간 증가하였으며 전체적으로는 0.1 dB 이하로 우수한 특성을 보여주었다. 그림 6은 VSWR 측정 결과로서, 제작 오차 등으로 인하여 시뮬레이션 결과보다는 다소 크게 나타났으나 최대 1.17:1 이하의 특성을 보여주었다. 또한, 격리도는 그림 7에 나타난 바와 같이 최소 40 dB 이하임을 보여주었다. 스위칭 속도는 스위치를 on 및 off 하는데 소요되는 시간을 오실로스코프로 측정하였고 앞에서 설명한 것처럼 입력단 증폭기 보호를 위해 스위치는 저전력 상태에서 동작하므로 이때의 스위칭 속도를 측정하였다. 실험 결과는 그림 8에서 볼 수 있듯이 on 시간은 20  $\mu$ s, off 시간은 13.6  $\mu$ s로 나타났다. 이는 이론적으로 계산한 단일 다이오드의 스위칭 속도인 on 시간 5  $\mu$ s



(a) 스위치 회로  
(a) Switch circuit



(b) 바이어스 회로  
(b) Bias circuit

그림 4. 제작된 SPST 스위치  
Fig. 4. Fabricated SPST switch.

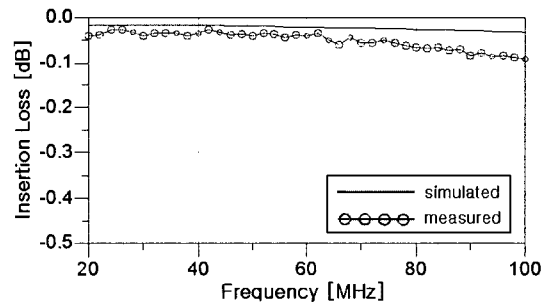


그림 5. 측정된 삽입 손실  
Fig. 5. Measured insertion loss.

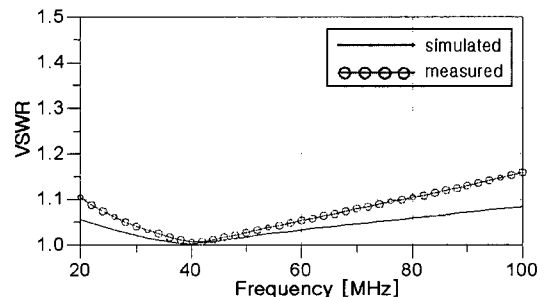


그림 6. 측정된 VSWR  
Fig. 6. Measured VSWR.

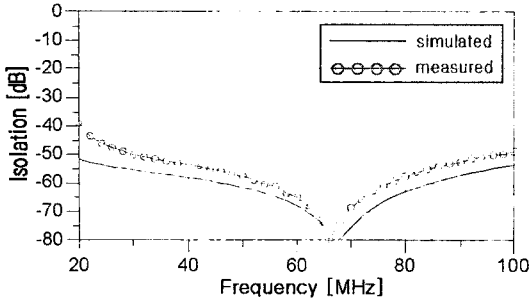
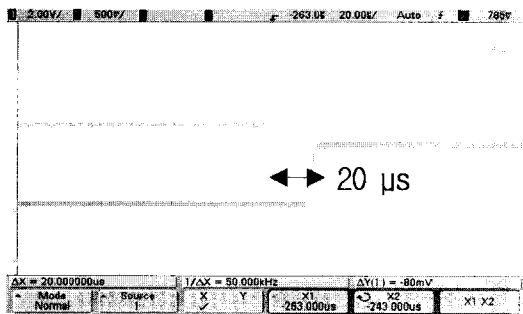
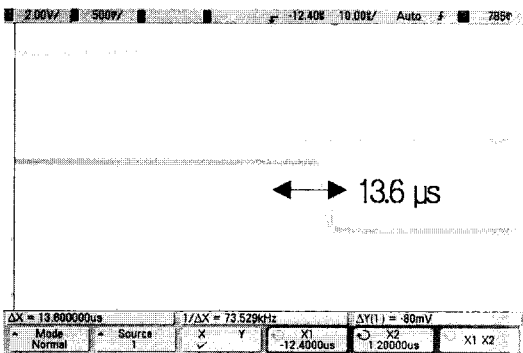


그림 7. 측정된 격리도  
Fig. 7. Measured isolation.



(a) 스위치 on 시간  
(a) Switch on time

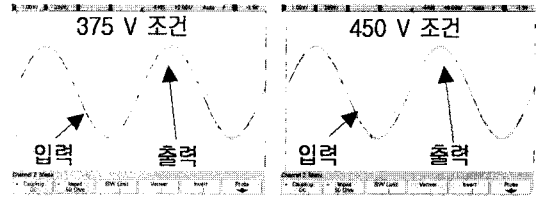


(b) 스위치 off 시간  
(b) Switch off time

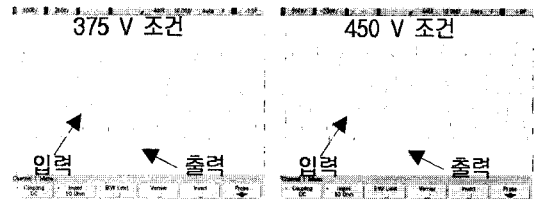
그림 8. 측정된 스위칭 속도  
Fig. 8. Measured switching speed.

및 off 시간 7  $\mu$ s보다는 큰 값을 갖는데, 구동 회로의 특성 등이 포함됨에 따라 다소 증가하였으나, 전체적으로는 설계 목표인 50  $\mu$ s 보다는 작게 나타났다.

한편, 그림 9는 선정된 역 바이어스 전압의 타당성을 실험하기 위하여 참고문헌 [9]에 따라 계산된 450 V와 본 논문에서 적용한 375 V에 대하여 스위치 입



(a) 20 MHz



(b) 100 MHz

그림 9. 측정된 스위치 신호 파형  
Fig. 9. Measured signal waveform.

력 및 출력 신호 파형을 측정된 결과로서, 최저 사용 주파수 20 MHz 및 최고 사용 주파수 100 MHz의 경우에 대해 신호 왜곡이 없음을 보여주고 있다. 또한, 그림 10은 몇 가지의 역 바이어스 조건에 대해 2 kW 고전력 입력하의 삽입 손실을 측정된 결과로서, 저전력하의 실험 결과 0.1 dB보다는 약간 높지만 375 V 역 바이어스 조건에서도 0.2 dB 이하의 우수한 삽입 손실 특성을 가짐을 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서 적용한 역 바이어스 전압인 375 V가 효과적임을 알 수 있었다.

표 2는 제작된 스위치와 미국 Comtech사 상용 제품의 성능을 비교한 결과로서, Comtech사 제품의 정확한 역 바이어스 조건은 알 수 없으나, 본 논문에서의 제작품이 취급 전력, 스위칭 속도 등에서 특성이

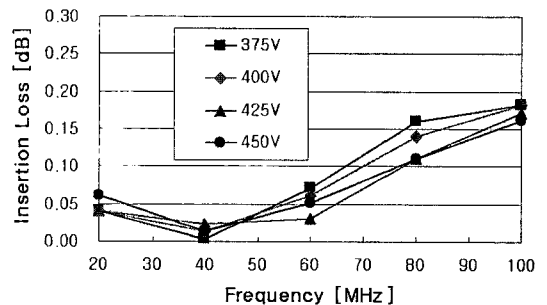


그림 10. 역 바이어스에 따른 삽입 손실  
Fig. 10. Insertion loss according to reverse bias.

표 2. 스위치 성능 비교

Table 2. Switch performance comparison.

구 분	제작품	Comtech사 (미국)
주파수 범위(MHz)	20~100	20~100
취급 전력(kW)	2.0	1.3
스위칭 속도( $\mu$ s)	20	40
삽입 손실(dB)	0.2	0.3
VSWR	1.17:1	1.2:1
격리도(dB)	40	40
역 바이어스(V)	375	미상

비교적 우수한 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

본 논문은 광대역 고전력 반도체 스위치 설계에 관한 것으로서, 통신 방해 장비에서 요구되는 5:1 이상의 대역폭에서 수 킬로 와트급의 지속과 신호 취급이 가능하며, 빠른 스위칭 속도를 갖는 스위치를 설계하는 것이 목표였다. 스위치는 기본적으로 고전력 조건에 적합하도록 패키지 PIN 다이오드를 적용하고 상용의 ADS를 사용하여 회로를 설계 및 시뮬레이션하였다. 아울러 고전력 제어에 필요한 수백 볼트 수준의 다이오드 역 바이어스 공급 회로를 설계하였다.

스위치는 20~100 MHz 범위의 VHF 대역에서 2 kW 이상의 고전력 취급이 가능하며 스위칭 속도 50  $\mu$ s 이하, 삽입 손실 0.2 dB 이하, VSWR 1.2:1 이하 및 격리도 40 dB 이상의 특성을 갖도록 설계하였다. 제작된 스위치는 최대 20  $\mu$ s 이하의 빠른 스위칭 속도로 제어 가능하며, 2 kW의 고전력을 취급할 수 있었다. 또한, 0.2 dB 이하의 삽입 손실, 1.17:1 이하의 VSWR 및 40 dB 이상의 격리도를 갖는 것으로 나타

났다. 향후 본 연구 결과를 바탕으로 보다 광대역인 20~400 MHz의 초 광대역 고전력 스위치에 대한 연구를 진행하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Richard Poisel, *Introduction to Communication Electronic Warfare Systems*, Artech House, 2002.
- [2] Joseph F. White, *Microwave Semiconductor Engineering*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., pp. 358-362, 1982.
- [3] 김동욱, 김경학, 김보배, "와이브로 기지국 시스템을 위한 고전력 PIN 다이오드 스위치 모듈과 고속 스위치 구동 회로의 구현", 한국전자과학회 논문지, 18(4), pp. 364-371, 2007년 4월.
- [4] 염인복, 류근관, 신동환, 이문규, 오일덕, 오승엽, "위성 통신용 MSM을 위한 흡수형 SPST MMIC 스위치의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 16(10), pp. 989-994, 2005년 10월.
- [5] R. Tenenholz, "A 2,000 Watt CW MIC 20~500 MHz SPDT PIN diode switch module", *IEEE International Microwave Symposium Digest*, vol. 81, pp. 252-254, Jun. 1981.
- [6] <http://www.comtechpst.com>.
- [7] Gerald Hiller, "Design with PIN diodes", *Application Note*, AG312.
- [8] Martin Caulton, Arye Rosen, Paul J. Stabile, and Anna Gombar, "p-i-n diodes for low-frequency high-power switching applications", *IEEE MTT*, vol. 30, no. 6, pp. 875-882, Jun. 1982.
- [9] Robert H. Caverly, Gerald Hiller, "Establishing the minimum reverse bias for a p-i-n diode in a high-power-switch", *IEEE MTT*, vol. 38, no. 12, pp. 1938-1943, Dec. 1990.

이 병 남



1987년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1989년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1989년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
 2001년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 안테나, 초고주파 회로 설계, 방향 탐지 시스템, 전자전 시스템

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
 1984년 12월: Univ. of California, Santa Barbara (공학박사)  
 1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairman  
 1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairman  
 2000년~2001년: 한국전자파학회 회장  
 2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장  
 1976년~현재: 충남대학교 전자공학과 교수  
 [주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC