

SRD를 이용한 UWB 기술용 단일/멀티밴드 Impulse Generator의 설계

Design of Single/Multiband Impulse Generator Using SRD for UWB(Ultra Wideband) Technique

김기남, 김인석

Ki Nam Kim, Ihn Seok Kim

요 약

본 논문에서는 차세대 근거리 실내 무선 환경 기술로 채택 가능성이 높은 UWB(Ultra Wideband)기술용 Impulse Generator를 SRD(Step Recovery Diode)를 이용하여 설계하였다. 설계 목표는 단순한 설계 구조와 함께 저가, 소형, 고성능의 Impulse Generator 개발에 있다. 미국의 FCC(Federal Communications Commission)의 기준인 주파수 범위 3.1~10.6 GHz, 출력 제한 레벨 -41.25 dBm을 만족하는 Impulse Generator를 회로 시뮬레이터인 Agilent Technologies사의 ADS를 이용하여 설계, 제작, 측정하였다. 설계된 회로의 출력 신호는 단일밴드용과 멀티밴드용으로 구분하였다.

Abstract

In this paper, an impulse generator for UWB(Ultra Wide-band) technique with great possibility to be adopted as a next generation indoor WLAN(Wireless Local Area Network) has been designed by using SRD(Step Recovery Diode). Design goal is to design an impulse generator with simple structure, low cost, small size, and high performance. The impulse generator satisfied by FCC's regulation (frequency range: 3.1~10.6 GHz, limit of power level: -41.25 dBm) has been simulated by using ADS(Advanced Design System) which is the trade name of the Agilent Technologies. The output power of the impulse generator has been explained separately for single and multi band purposes, respectively.

I. 서론

최근 무선통신 기술의 급속한 발전으로 인하여 셀룰라 폰, PCS, Wireless LAN 등 다양한 근거리용 무선 기술들이 출현하고 있다[1]-[2]. 이들 기술들의 역할은 단순한 음성 신호의 전달에서 벗어나 현재는 인터넷 통신, 동영상 등의 전송이 가능한 수준에 이르게 되었다. 현재 또는 차세대 무선 기술 서비스가 제공되기 위한 조건은 각 서비스의 전송 속도나 전송량 등이 얼마나 빠르고 방대한 데이터를 전송할 수 있는가에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 이러한 새로운 서비스와 기기들이 등장할 때마다 주파수 자원의 한계라는 문제점이 매

번 제기되었고 이를 해결할 수 있는 새로운 방식으로 대두된 것이 바로 UWB(Ultra Wideband) 기술이다[3]. UWB는 최초 미국 국방부의 군사 목적으로 개발된 기술로서 작게는 수백 MHz에서 크게는 수 GHz까지의 주파수 이용 범위를 갖고 그 응용범위는 매우 다양하며 그 응용예로 레이다 분야의 응용을 살펴보면 고분해능의 성능 향상을 가져왔으며, 통신분야의 응용에선 현재 기술의 데이터 전송량에 비해 몇 배의 양의 데이터를 전송할 수 있는 장점을 이용하여 PAN(Personal Area Network)과 같은 실내 무선 환경에서의 초고속 데이터 전송을 위한 새로운 방식으로 기대되고 있다. 지난해 4월 미국의 FCC(Federal Communications

* 경희대학교 전파공학과 전자파공학연구소

(Electromagnetic Wave Engineering Lab., Department of Radio Engineering, Kyung Hee University)

· 접수일자 : 2004년 10월 12일

Commission)는 UWB의 사용 주파수를 3.1~10.6 GHz, 출력 제한을 -41.25 dBm으로 정하였다[3]. 본 논문에서는 현재 국내의 UWB 관련 기준이 없는 상태이므로 미국의 FCC기준에 적합한 임펄스 발생기의 설계를 Agilent Technologies사의 ADS(Advanced Design System)를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

II. Impulse Generator 설계

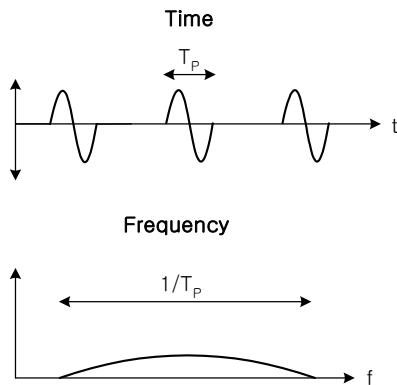


그림 1. 신호의 시간-주파수영역 간의 상호 관계.

그림 1과 같이 시간 축 상에서 주기가 매우 짧은 펄스를 송신하게 되면 그 신호는 주파수 축 상에서 매우 넓게 나타난다. 이러한 신호의 시간-주파수 간의 상호 관계를 이용하여 UWB용 광대역 신호를 발생시키는 방법으로는 spark gap, photoconductive diode, avalanche transistor, SRD 등 다양한 소자들을 이용하여 매우 짧은 펄스폭을 갖는 임펄스를 생성할 수 있다[4]-[7]. 이러한 다양한 방법들 중에서 최근 UWB 기술에 가장 적합한 신호 발생의 조건은 가격이 저렴하고 소비 전력이 낮으며 회로의 구성이 간단해야 한다는 것이다. 본 논문에서는 SRD를 이용하여 임펄스 신호 발생기를 설계하였는데 이는 앞서 설명한 여러 조건들을 만족하는 소자로서의 선택이기도 하다. Snap-off Diode 또는 전하 저장 다이오드라고 불리우기도 하는 SRD는 1950년대부터 알려지기 시작하여 1970년대 이미 펄스 파형이나 주파수 체배기 등의 회로 구성에 사용된 소자로서 기본적인 동작 특성은 일반적인 PN 접합 다이오드와는 다르다. SRD는 일반적인 PN 접합 다이오드의 DC 동작 특성과는 같고 AC 동작 특성에 있어 전하를 충·방전하는 효과를 얻을 수 있다. 이는 기본적인 펄스 파형을 생성하는데 있어서 매우 중요한 역할이며 UWB 기술용 임펄스 발생기의 설계에 있어서도 가장 중요한 부분이다.

본 논문에서는 저가의 고효율 특성을 갖고 간단한 회로 구성으로 Impulse 발생 회로를 구현할 수 있는 SRD를 이용하여 시간 축 상에서 Impulse를 발생시켜 주파수 영역에서 단일 밴드로 3.1~10.6 GHz의 범위내의 신호

를 발생시키는 방법과 3.1~10.6 GHz의 주파수 범위를 500 MHz 씩 15개로 나누어 멀티 밴드로 이용하는 두 가지 방법인 각각 단일밴드용과 멀티밴드용의 Impulse 발생기를 설계하였다. 멀티밴드의 이용은 UWB 전대역을 커버하는 소자 개발의 어려움과 특정 대역의 간섭을 줄이고자하는 의도에 의해 제안되었다.

SRD는 charge controlled switch로서 순방향 바이어스 상태에서 충전된 전하가 역방향 바이어스로 바뀌면서 전하가 방전되는 시간 간격이 매우 짧은 특성을 갖고 있다[8].

그림 2는 단순히 SRD에 사인파를 입력하였을 때의 출력 전압 특성을 나타낸다. SRD에 순방향 전류 I_F 가 t_F 의 시간 동안 가하여 질 때 SRD에는 전하가 충전되고 반대로 역방향 전류 I_R 이 가하여 지는 동안 저장된 전하는 방전을 일으키게 된다. 이 때 SRD는 다른 PN접합 다이오드와는 달리 방전되는 시간이 매우 짧은 특성을 갖는다.

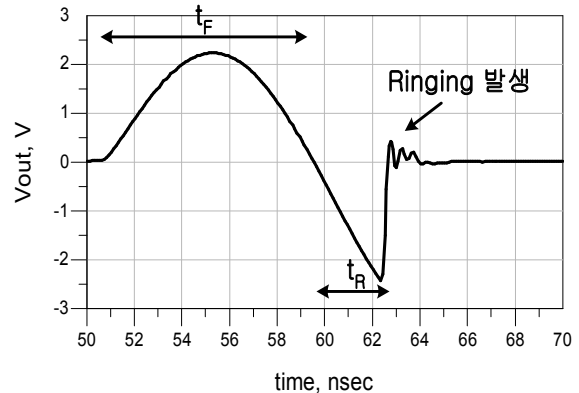


그림 2. SRD의 정현파 입력에 대한 출력전압 특성.

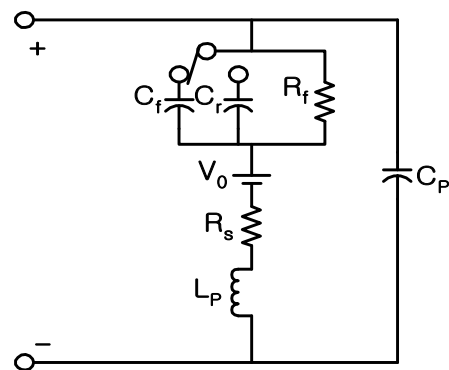


그림 3. SRD의 등가회로

그림 3은 SRD의 등가 회로 모델을 나타낸다. 위의 등가회로에서의 같이 다이오드는 순방향 바이어스 캐패시턴스 C_f 와 같은 순방향 전하 저장 상태하의 큰 캐패시턴스의 캐패시터와 역방향 바이어스하의 역방향 바이

어스 캐패시턴스 C_r 과 같은 작은 캐패시턴스의 캐패시터의 두 경우로 나누어 설명할 수 있으며 이 때 두 상태간의 이상적인 스위칭 시간은 '0' 이다. 이러한 모델링은 1차 다이오드의 특성을 매우 잘 설명해 준다. 그럼에도 불구하고 유한한 체적내의 다수의 자유 캐리어에 의해 결정되는 확산 캐패시턴스인 순방향 상태의 캐패시턴스는 물리적으로 무한할 수가 없다. 그러므로 순방향과 역방향 상태 사이에서 실제의 SRD 내에서의 스위칭되는 변환 시간은 '0' 이 될 수 없다.

이러한 변환 과정에 대한 연구는 Moll 과 Hamilton 에 의해 이루어졌으며 Zhang 과 Räisänen 에 의해 더욱 새롭게 모델링 되었다[9]. 변환 과정 동안 다이오드에 걸린 전압(V)과 저장된 전하(Q)는 대략 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$V = \frac{I_R}{\epsilon v A} \left[\frac{W^2}{4} - W \sqrt{Q} \sqrt{\frac{2D}{I_R}} \right] \quad (1)$$

여기서 v 는 전하 제한 영역내의 캐리어의 평균 속도이고 A 는 다이오드의 동작 영역이며 D 는 양극의 확산 상수이다. I_R 은 다이오드가 역방향 바이어스가 되었을 때의 역방향 전류이고 W 는 공핍폭을 나타낸다.

변환의 시작과 끝의 두 지점에서의 연속성 조건을 사용하여 아래의 변환 과정을 설명하는 방정식을 얻을 수 있다.

$$Q = \begin{cases} \frac{C_f - C_r}{2\phi} \left(V + \frac{C_f \phi}{C_f - C_r} \right)^2 - \frac{C_r^2}{2(C_f - C_r)} \phi & V \leq 0 \\ C_f V - \frac{C_f - C_r}{2} \phi & 0 < V < \phi \\ C_f V - \frac{C_f - C_r}{2} \phi & V \geq \phi \end{cases} \quad (2)$$

각각 $V \leq 0$, $0 < V < \phi$, $V \geq \phi$ 의 조건

여기서 ϕ 는 변환 시작에서의 접촉 전위이다.

위의 두 수식 (1)과(2)를 이용하여 시간에 따른 전하(Q)의 변화를 식에 대입하면 시간에 따른 다이오드의 전압 변화를 알 수 있다.

일반적인 PN 접합 다이오드의 경우 주입된 소수 캐리어의 위치가 정확하게 조절되지 않으며 다수 캐리어들은 다이오드 내에 넓게 분포된다. 역방향 바이어스 동안 각기 다른 시간에 소수 캐리어들이 되돌아오며 그러므로 역방향 전도는 갑자기 이루어지지 않는다. 그러나 SRD 의 경우, 의도적으로 저장되어진 전하의 위치를 조절하여 역방향 전도는 매우 빠르게 끝난다.

주입된 소수 캐리어들은 다이오드 내에 고의로 기울여진 도핑에 의해 생성된 전계를 통해 위치가 유지된다. 순방향 바이어스 시 주입된 캐리어는 n 지역 내에 구속

되고 인접 고전도 지역으로 확산하지 않는다. 그러므로 가해진 RF 구동 전압의 주기의 역방향 반주기 동안 저장된 전하가 없어질 때 전도는 매우 급격히 끝나게 된다.

저장된 전하는 다수 캐리어와 함께 재결합되지 않는 소수 캐리어가 그 원인이며 그러므로 소수 캐리어의 생명 시간은 SRD에서 매우 중요한 파라미터이다. 위의 등가회로에 제시된 C_f , R_f 와 소수 캐리어 생명 시간 τ 와의 관계는 Kotzebue 에 의해 알려진 다음의 관계와 같다.

$$\tau = R_f C_f \quad (3)$$

여기서 τ 는 일반적으로 제조사에 의해 주어지며 R_f 는 SRD의 I-V 특성으로부터 얻을 수 있다.

이러한 SRD를 이용한 다른 응용분야로는 주파수 체배기에 대한 응용이 있다. 방전이 끝나는 순간 출력 파형에는 ringing 이 발생되는데 이는 다이오드의 damped resonance, package capacitance 등에 의해 발생된다[8].

이러한 step function을 이용하여 발생된 펄스의 파형을 UWB용으로 사용가능케 정형하기 위해 부가적인 펄스 파형 정형 회로를 추가하여 Impulse 발생기 설계시 회로상의 각 부분의 역할을 시뮬레이션을 통해 살펴 보았다. 시뮬레이션에 사용된 입력 신호는 주파수가 50 MHz의 사인파를 사용하였고 전송선로는 유전율 2.52, 두께 0.54 mm 의 테프론 기판을 사용한 마이크로스트립 라인을 이용하였으며 SRD는 Metelics사의 MMDB30-B11, schottky diode는 MSS50-B11의 Beam lead 형태의 다이오드를 사용하였다.

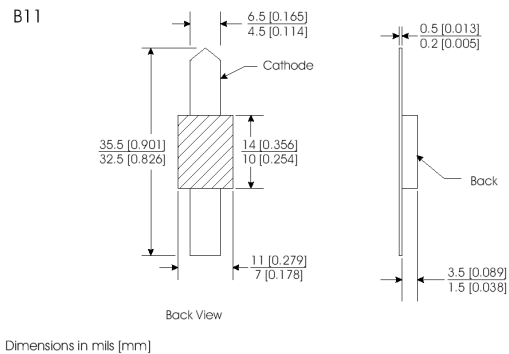


그림 4. Beam lead 형태의 다이오드

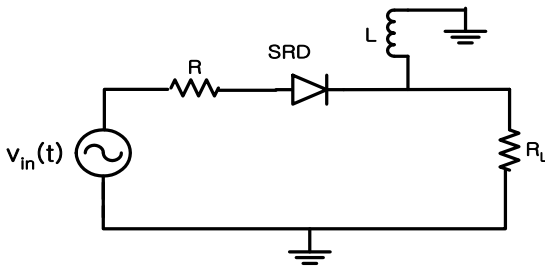


그림 5. 파형 정형 회로가 없는 Impulse 발생기의 회로도.

그림 5는 기본적인 SRD를 이용한 Impulse 발생기의 회로도이다. 이 때 병렬 인덕터로 인하여 SRD에 인가되는 전류치는 상승하게 되며 정현파 형태의 전류 형태가 step function 의 형태로 변화하게 되고 이로 인해 전류의 1 주기가 끝나는 모서리 부분에서 그림 6과 같은 피크(peak)가 발생하게 된다.

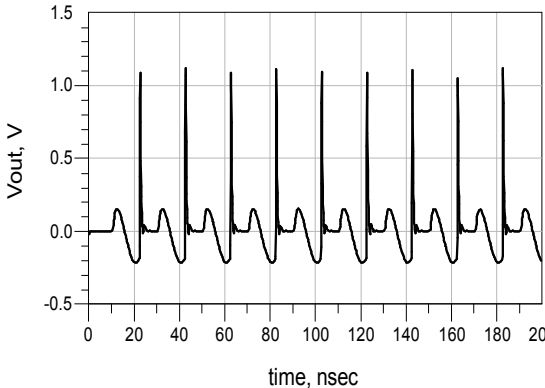


그림 6. 직렬 저항이 추가된 펄스 발생 회로의 출력 전압

1. 단일밴드용 Impulse Generator

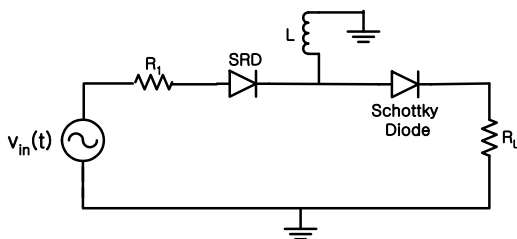


그림 7. 쇼트키 다이오드가 추가된 펄스 발생 회로

그림7과 같이 쇼트키 다이오드를 이용하여 피크값을 제외한 나머지 부분들의 정류 작용과 동시에 파형의 형태를 Gaussian pulse 의 형태에서 Biphas pulse 형태로 변환 시킬 수 있다.

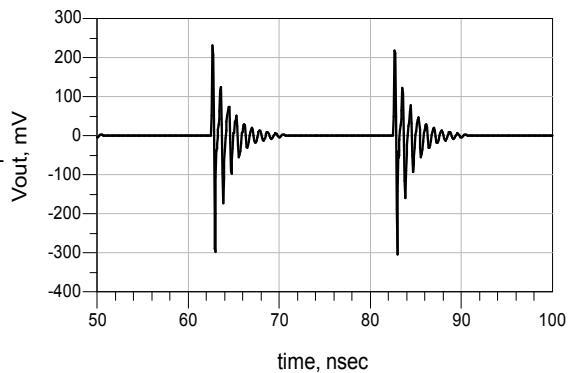


그림8. 쇼트키 다이오드가 추가된 펄스 발생 회로의 출력 전압

그러나 그림 8 에서와 같이 변형된 파형에는 심한 Ringing 이 발생되는 것을 볼 수 있다. 이는 쇼트키 다이오드의 접합 캐패시턴스와 병렬 연결된 인덕터 사이의 공진 주파수 성분으로 인한 댐핑(damping) 현상으로 쇼트키 다이오드의 접합 캐패시턴스 값에 따라 댐핑 또한 다르게 나타난다.

그림 9 의 경우는 본 논문에 사용된 Metelics 사의 쇼트키 다이오드(MSS50-B11)의 경우로 접합 캐패시턴스 값이 0.07 pF 일 때의 출력 전압 결과이다. 그러나 그림 10 와 같이 쇼트키 다이오드의 접합 캐패시턴스 값을 상향 조정할 경우 댐핑이 현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 설계시 인덕터와 접합 캐패시턴스 값의 조정으로 댐핑 현상을 줄일 수도 있겠지만 이는 접합 캐패시턴스의 값의 변화폭이 작다는 것을 감안할 때 쉬운 설계법이 될 수 없다.

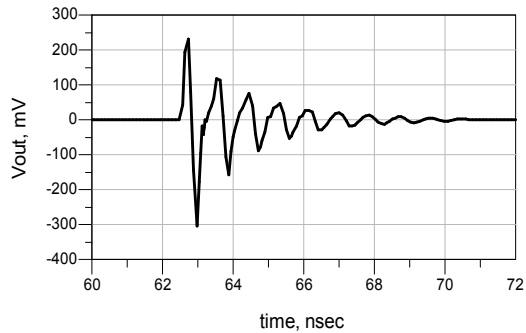


그림 9. 쇼트키 다이오드의 접합 캐패시턴스가 0.07 pF 일 경우

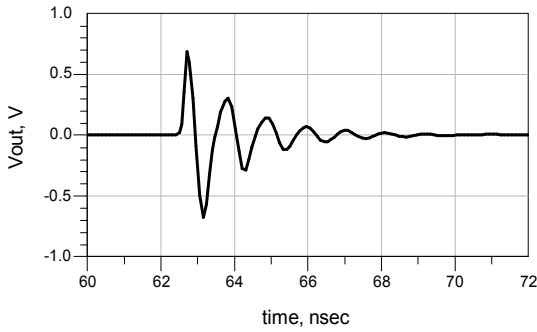


그림 10. 쇼트키 다이오드의 접합 캐패시턴스가 0.57 pF 일 경우

$$v_{out}(t) = \frac{-I_1 \sqrt{L/C_j}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \exp\left[-\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \omega_N t\right] \sin \omega_N t \quad (3)$$

여기서

$$\omega_N = \sqrt{\frac{1-\zeta^2}{LC_j}}$$

$$\zeta = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{L}{C_j}} \quad (\text{damping factor}) \quad (4)$$

출력 전압(펄스)의 크기는 V_B (Breakdown Voltage)에 의해 결정되며 펄스폭은

$$t_2 - t_1 = \pi \sqrt{\frac{LC_j}{1-\zeta^2}} = \frac{\pi}{\omega_N} \quad (5)$$

위의 댐핑 지수의 수식(4)에서 표현된 것과 같이 접합 캐패시턴스의 값을 상향 조정할 경우 댐핑이 줄어드는 것을 알 수 있으나 이는 쇼트키 다이오드의 접합 캐패시턴스값의 변화폭이 작다는 것을 감안하면 저항 성분의 값을 조절하는 것이 더욱 쉬운 설계법이라 할 수 있다.

이러한 댐핑 현상을 줄일 수 있는 방법으로 병렬 저항을 그림 11 과 같이 연결하게 되면 저항 R_2 값의 조절을 통하여 그림 8 에 나타난 댐핑 현상이 그림 12 에서와 같이 사라지는 것을 볼 수 있다.

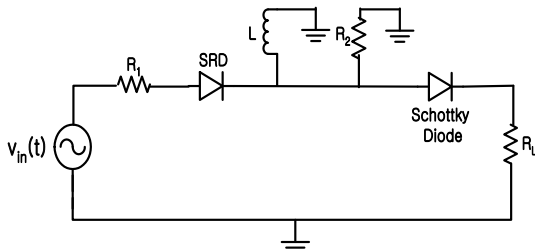


그림 11. UWB의 단일밴드용 Impulse 발생기의 회로도.

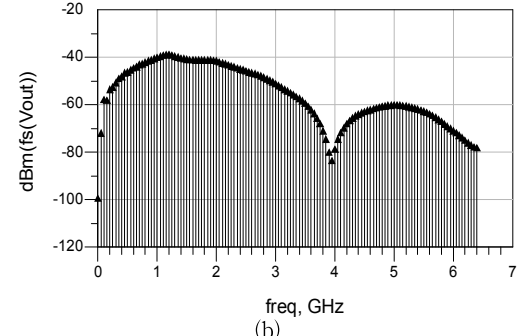
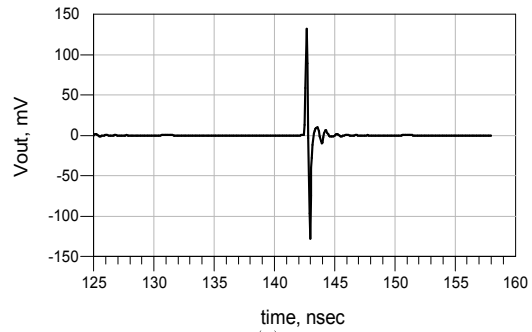


그림 12. UWB 단일밴드용 Impulse 발생기의 (a) 단일 펄스 파형, (b) 주파수영역에서의 출력 신호의 주파수 성분.

2. 멀티밴드용 Impulse Generator

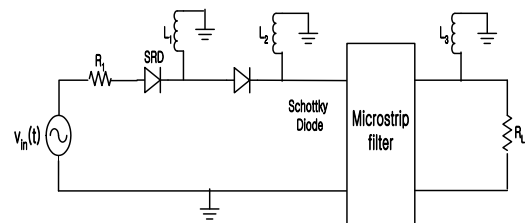


그림 13. 멀티밴드용 Impulse 발생기의 회로도

그림 14의 경우는 그림 12의 결과와는 다른 멀티밴드용 UWB Impulse 발생기로부터 발생된 출력 신호를 나타낸다. 이는 그림 11의 경우에 마이크로스트립 필터를 추가하여 특정 주파수 성분을 강화하였다. 그림 14 (a)의 결과를 보면 그림 12 (a)에 나타난 펄스의 형태와 비교해 볼 때 파형의 ringing이 많이 발생되었다. 이는 여러 주파수 성분의 합성으로 인한 결과임을 알 수 있으며 그림 14의 (b)의 주파수영역에서의 출력 결과를 볼 때 SRD를 통과한 신호의 고주파 성분을 강화하여 중심 주파수 3.4 GHz의 좌우로 주파수 선택도가 높아진 것을 알 수 있다.

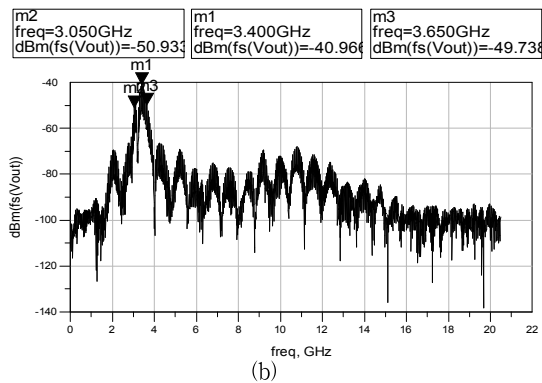
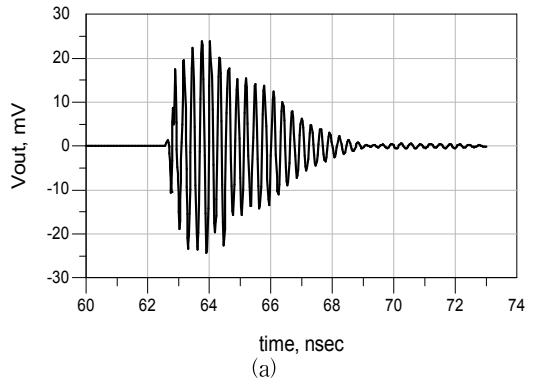


그림 14. 멀티밴드 UWB용 Impulse 발생기의 (a) 단일 펄스 파형, (b) 주파수영역에서의 출력 신호의 주파수 성분.

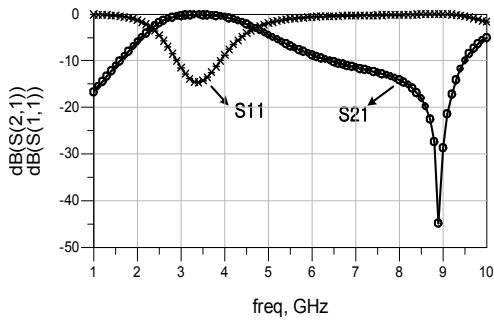


그림 15. 마이크로스트립 필터의 S-파라미터 특성

III. Impulse Generator의 제작 및 측정 결과

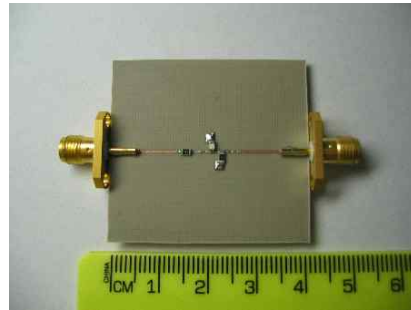


그림 16 단일밴드용 Impulse Generator의 실제 제작 모습

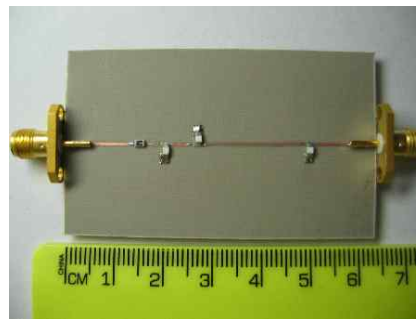
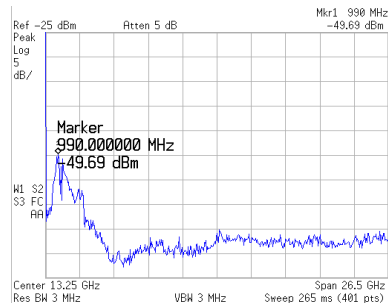
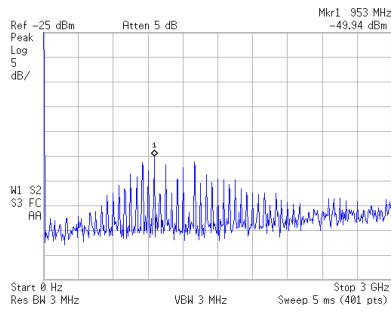


그림 17. 멀티밴드용 Impulse Generator의 실제 제작 모습

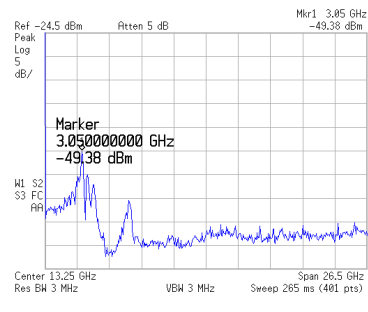


(a)

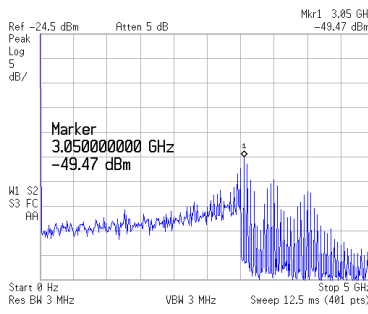


(b)

그림 18 단일밴드용 Impulse Generator의 주파수 영역 측정결과

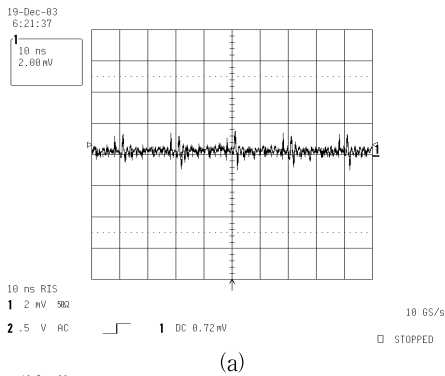


(a)

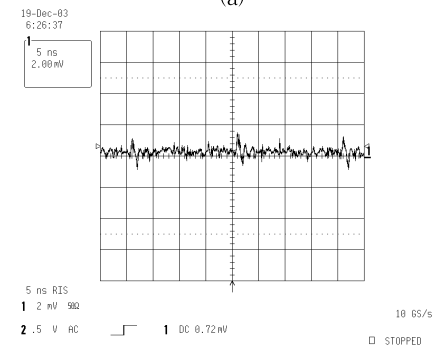


(b)

그림 20. 멀티밴드용 Impulse Generator의 주파수 영역 측정결과



(a)



(b)

그림 19. 단일밴드용 Impulse Generator의 시간 영역 측정결과

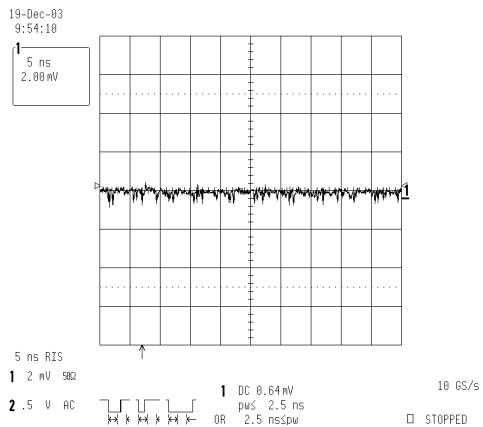


그림 21. 멀티밴드용 Impulse Generator의 시간 영역 측정결과

그림 16와 그림 17은 제작된 회로기판을 보여주고 있으며 시간영역에서 측정된 그림19와 그림 21에서는 주기적인 impulse가 발생하고 있음을 보여주고 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 근거리 무선망 기술로서 현재의

WLAN이나 Bluetooth를 대체할 수 있는 기술로서 부각되고 있는 UWB 기술용 임펄스 발생기를 설계하였다. 미국의 FCC 기준을 만족시키는 주파수 범위 3.1~10.6 GHz의 대역에서 출력 제한 레벨 -41.25 dBm을 만족하는 단일밴드용과 멀티밴드용으로 구분하였고 각각 시간영역과 주파수 영역에서의 출력 전압의 특성을 살펴보았다. 기본적인 펄스 신호 발생은 SRD를 이용하였으며 발생된 Gaussian 펄스는 파형 정형 회로를 통하여 원하는 시간 영역에서의 신호 형태와 주파수 영역 상에서의 스펙트럼 마스크를 만족하는 형태로 변환 시켰다. 설계에 사용된 SRD와 쇼트키 다이오드는 Metelics사의 소자를 이용하였고 기판은 상대유전율 2.52, 두께 0.54 mm의 테프론 기판을 사용하였으며 전송선로 방식은 마이크로스트립 라인을 이용하였고 회로 시뮬레이터는 Agilent사의 ADS(Advanced Design System)를 이용하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. Shepherd, "Bluetooth wireless technology in the home", *Electronics & Communication Engineering Journal*, Vol. 13, No. 5, Oct. 2001, pp. 195 -203.
- [2] G. Okamoto, G. Xu, "The smart wireless LAN system: physical layer design and results", *Vehicular Technology Conference, 1997 IEEE 47th*, Vol. 3, 4-7 May 1997, pp. 1312 -1316.
- [3] See the Ultrawideband Working Group's web page at <http://www.uwb.org>.
- [4] J.M. Lehr, C.E. Baum, W.D. Prather, F.J. Agee, "Aspects of ultrafast spark gap switching UWB HPM generation", *Pulsed Power Conference, 1997, Digest of Technical Papers. 1997 11th IEEE International*, Vol. 2, 29 June-2 July 1997, pp. 1033 -1041.
- [5] D. Hamilton, J. Gibbons, W. Shockley, "Physical principles of avalanche transistor pulse circuits", *Solid-State Circuits Conference. Digest of Technical Papers. 1959 IEEE International*, Vol. II, Feb 1959, pp. 92 -93.
- [6] H.D. Kitchin and D.M. Parkes, "A Fast Rise Time, High PRF Pulse Generator Using a Hydrogen Thyatron", *IEEE Conference Record of the 1986 Seventeenth Power Modulator Symposium*, pp. 196-198.
- [7] Jeongwoo Han, Cam Nguyen, "A new ultra-wideband, ultra-short monocycle pulse generator with reduced ringing", *Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 12, No. 6, June 2002, pp. 206 -208.

[8] Hewlett Packard Application note 918, "Pulse and Waveform Generation with Step Recovery Diodes".

[9] Jian Zhang, Antti V. Räsänen, "Computer-Aided Design of Step Recovery Diode Frequency Multipliers", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transaction on*, Vol. 44, No. 12, December 1996, pp. 2612-2616.

김 기 남(金基南)



1998년 2월 : 경희대학교 우주과학과(이학사)
2002년 3월~현재 : 경희대학교 전파공학 석사과정
관심분야 : UWB Impulse Generator, Microwave Oscillator

김 인 석(金仁奭)



1974년 2월 : 경희대학교 전파공학과(공학사)
1984년 2월 : Ottawa Univ. 전기공학과(공학석사)
1990년 10월 : Ottawa Univ. 전기공학과(공학박사)
1973년 10월~1980년 8월 : 한국방송공사(KBS) 기술사원
1983년 2월~1983년 12월 : Com Dev Ltd, Div. of Satellite System, Technical Staff
1984년 1월~1985년 8월 : General Instrument of Canada, Div. of Satellite System, Senior Engineer
1990년 10월~1991년 2월 : Canadian Space Agency, David Florida Lab., Research Scientist
1991년 2월~1992년 2월 : 한국이동통신(주)기술개발부장
1999년 3월~2000년 2월 : ETRI(초빙연구원), 스위스 연방공과대학(ETH:방문교수), Motorola Electromagnetic Field Research Lab.(Ft. Lauderdale)
1992년 3월~현재 : 경희대학교 전파공학과 교수
2000년 9월~현재 : IEEE Trans. MTT 편집위원
2002년 1월~현재 : IEEE Microwave & Wireless Components Letters 편집위원
2003년 1월~2004년 12월 : (사)한국항공학회 회장
관심분야 : FDTD & TLM, 초고주파 수동소자, 비선형 마이크로파 회로, 믹서, 발진기 등