한국마린엔지니어링학회지 제33권 제5호, pp. 756~761, 2009. 7 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering

바랙터 다이오드를 이용한 X-밴드 전압제어 발진기

박동국† · 윤나라** · 최연지** · 김예지**

(원고접수일 : 2009년 3월 26일, 원고수정일 : 2009년 4월 27일, 심사완료일 : 2009년 5월 11일)

X-band Voltage Controlled Oscillator using Varactor Diode

Dong-Kook Park† · Na-Ra Yun** · Yean-Ji Choi** · Yea-Ji Kim**

Abstract : In this paper, a X band voltage controlled oscillator is proposed. The oscillator uses a transistor as an oscillating element and its oscillating frequencies are controlled by the tuning voltage of varactor diode. Using the circuit simulation tools, the matching circuits between the transistor and varactor diode, its input and output matching circuits, and a feedback circuits are designed. The measured results of the fabricated oscillator show that its oscillation frequencies are from 10.50GHz to 10.88GHz according to the turning voltages of 1V to 18V, its output power levels are about 4.3dBm, and its phase noise is around -43.5dBc/Hz at 100kHz offset frequency of 10.5GHz.

Key words : Voltage Controlled Oscillator(전압제어발진기), Varactor Diode(바렉터 다이오드), X-band Radar(X밴드 레이더)

1. 서 론

본 논문에서는 선박의 유량 및 거리 측정을 위한 X-밴드 레이더의 신호원으로 동작할 수 있는 전압제어 발진기(VCO : Voltage Controlled Oscillator)를 설계 및 제작하고자 한다. 전압제어 발진기란 발진기의 발진 주파수를 제어 전압으로 조절할 수 있는 소자를 말하며, 초고주파 대역의 전압제어 발진기에 대한 연구는 그동안 많은 연구자들에 의해 연구되어왔다. 주로 무선 근거리 통신용으로 5.5GHz 대역에서 사용되는 전압제어 발진기에 대해 많이 연구되었으며, 주파수 대역폭은 약 100MHz 이며, 출력 전력 레벨은 최대 12dBm 정도까지 발표되었다[1]-[3]. X 밴드에서 동작하는 전압제어 발진기로는 동작주파수 범위가 10.9~11.8 GHz 정도의 900MHz 정도의 대역폭을 가지고 있으나 출력 레벨이 -11~2dBm 정도로 낮은 경우[4]와 동작주파수 범위가 12.05~12.065GHz로 15MHz 정도의 대역폭을 가지고 있으나 출력 레벨이 5.8dBm 정도인 발진기[5]가 발표되었다. 또한 동작주파수 범위가 8.67~10.037GHz 으로 1.367GHz의 광대역을 가지나 출력 전력 레벨이 0.67~5.17dBm 정도로 변화가 심한 발진기가 소개되었다[6].

본 논문에서는 선박 내 탱크의 유량을 측정하기 위한 FMCW 방식의 레이더 센서의 신호원으로 동

† 교신저자(한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부, E-mail:dkpark@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4311)
** 한국해양대학교 전자통신공학과 대학원

작할 수 있는 X 밴드 주파수 발진기를 제작하고자 한다. FMCW 방식의 레이더 센서는 주파수 스윕 시간이 50mS일 때 거리 40m 정도의 목표물에 대해 약 3KHz 정도의 비트(beat) 주파수를 갖기 위해 약 300MHz 정도의 주파수 가변 대역폭이 필요하다. 또한 출력전력은 전파법규에서 제한하는 송출전력 10dBm 이내의 전력 레벨을 가지며, 주파수 대역폭 범위에서 일정한 레벨을 가져야한다.

그러므로 본 논문에서는 X밴드에서 약 300MHz 정도의 가변 대역폭과 출력 레벨이 대역폭 내에서 일정하게 나오는 전압제어 발진기를 설계하고자 한다. 발진주파수를 가변하기 위한 소자로는 바렉터 다이오드를 사용하였고, 전형적인 전압제어발진기 설계방법을 사용하여 설계를 하였으며, ADS(Advanced Design System)를 이용하여 시뮬레이션 및 특성을 분석하고, 이를 바탕으로 전압제어 발진기를 제작하고 특성을 측정하였다.

X-밴드 전압제어 발진기 회로를 구현하기 위해 사용한 기판은 비유전율 2.33, 두께는 0.508mm인 Rogers사의 RT - duroid 5870 을 사용하였다.

2. X 밴드 발진기 설계

본 논문에서는 발진소자로 트랜지스터를 이용하고 발진주파수의 가변을 위해 바렉터 다이오드를 사용한 발진기를 설계 및 제작하였다. Fig.1에 트랜지스터를 사용하는 일반적인 2단자망 부성저항 발진기의 모델을 나타내었다. 트랜지스터의 종단회로의 공진주파수 및 임피던스를 적절히 설계하여 원하는 주파수에서 $|\Gamma_{out}|>1$ 이 되도록 하면 발진이 생기며, 이때 공진 주파수를 듀닝하여 발진 주파수를 결정하게 된다. 또한 부하 회로를 적절히 설계하여 부하에 전달되는 전력의 크기를 조절할 수 있다.

능동소자를 포함한 2-단자망 해석에서 반사계수와 안정화 계수를 이용한 발진조건을 표시하면 다음과 같다[7].

$$\Gamma_{IN}\,\Gamma_T = 1 \tag{1}$$

$$\Gamma_{OUT}\,\Gamma_L = 1 \tag{2}$$

$$K = \frac{1+|\triangle|-|S_{11}|^2-|S_{22}|^2}{2|S_{12}S_{21}|} < 1 \tag{3}$$

여기서 $\triangle = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$이다.

식 (3)에서 K 는 안정화 계수로서, 발진을 하기 위해서 발진 주파수에서 안정화 계수는 1보다 작아야 한다.

발진기 회로를 설계할 때는 발진 주파수에서 불안정한 특성을 갖는 트랜지스터를 초기에 선택하여 사용해야 한다. 그렇지 않으면 공통 단자에 부품을 첨가하여 특성을 변화시켜 불안정하게 만들어 주거나 출력의 일부를 정궤환 시켜 주어야 한다. 그리고 Z_{OUT}을 이용하여 부하 임피던스 Z_L을 결정한다. 최대 전력을 발생시키기 위한 부하 임피던스 Z_L의 허수부와 실수부는 다음 조건식을 만족시켜야 한다[7].

$$I_m(Z_L) = -I_m(Z_{OUT}) \tag{4}$$

$$Re(Z_L) = \frac{1}{3}|Re(Z_{OUT})| \tag{5}$$

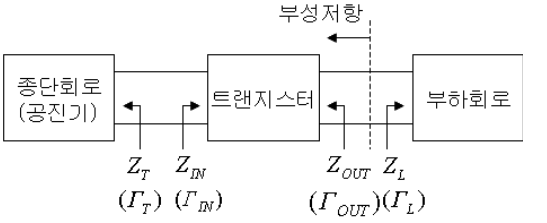


Fig. 1 Two-port oscillator model

본 논문에서 제안하는 전압제어 발진기는 제어전압을 조정하여 발진기 출력신호의 주파수를 제어하는 회로로서 발진 주파수대에서 불안정한 특성을 갖도록 궤환 요소를 추가 하였다. 그리고 공진주파수를 가변시키기 위해 바랙터 다이오드를 사용하여 공진기를 구성하고, 인가되는 전압에 의해 바랙터 다이오드의 정전용량이 변하여 발진 주파수가 변할 수 있도록 설계하였다. 출력은 개방 스터브를 이용

하여 최대 전력을 전달 할 수 있도록 설계 하였다. 제안된 발진기의 개략적인 회로의 모양을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2의 궤환회로 및 바렉터 다이오드 전후의 정합회로는 종단회로와 트랜지스터부가 부성저항을 갖도록 설계를 하였으며, Fig. 2의 AA′위치에서 종단회로측을 바라본 부성저항을 공진기의 정전용량 값 변화에 따라 조사하여 Fig. 3에 나타내었다.

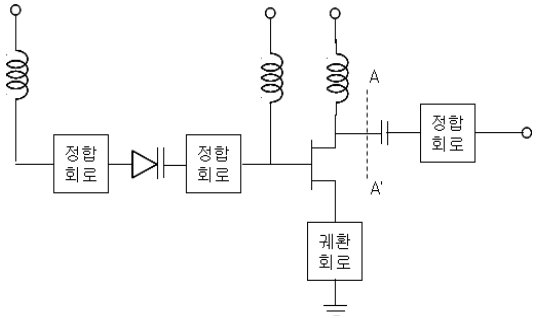


Fig. 2 Schematic diagram of the proposed oscillator circuit

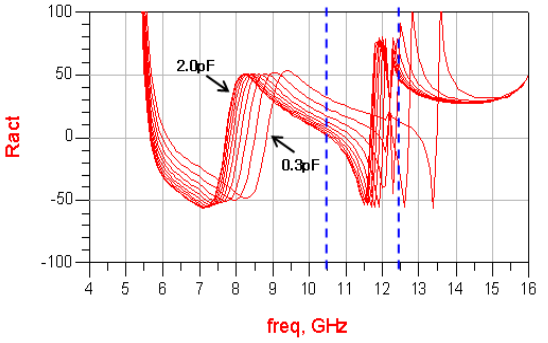
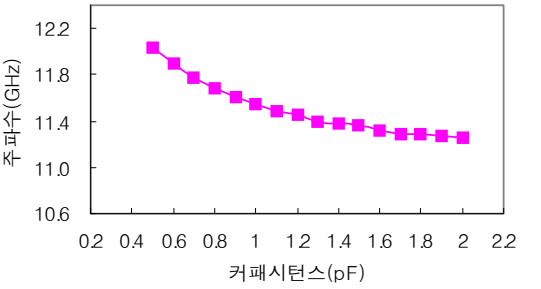
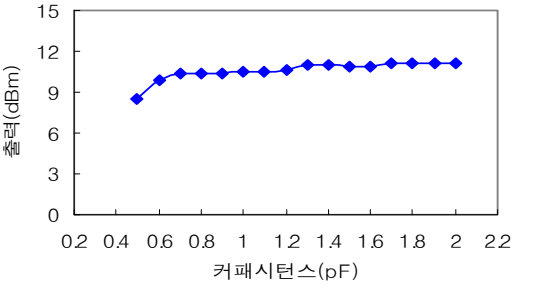


Fig. 3 Negative resistance as function of capacitances of the varactor

부성저항은 7GHz 대역과 11.5GHz 대역의 2개 주파수 대역에서 발생하였다. 그러나 출력 측 부하회로 구성 시, X-밴드 주파수 대역인 11.5GHz 대역의 주파수에 대해 식 (4)와 (5)의 임피던스 관계가 성립되도록 정합을 하여 7GHz 대역의 주파수에서 발진이 생기지 않도록 하였다. 또한 출력 측 부하회로는 개방 스터브를 이용하여 최대전력을 전달하도록 설계 하였다[8].



(a) Oscillation frequency change versus capacitance.



(b) Output power change versus capacitance.

Fig. 4 Simulation results of the designed VCO

ADS를 이용하여 최종 설계된 전압제어 발진기 회로의 바랙터 다이오드의 정전용량의 변화에 따른 주파수 변화 및 출력 전력 레벨을 시뮬레이션하여 Fig. 4에 나타내었다. 바렉터의 정전용량에 따라 11.25~12.03GHz의 주파수 변화를 보였고, 8.54~11.12dBm의 출력 전력을 나타내었다.

3. 실험 및 분석

설계된 전압제어 발진기를 비 유전율 2.33, 두께 0.508mm의 RT/duroid 5870인 기판을 사용하여 제작한 전압제어 발진기를 Fig. 5에 나타내었다. 전압제어 발진기의 전체 크기는 42mm × 29mm이며, 트랜지스터는 MITSUBISHI MGF-1403을 사용하였고, 바랙터 다이오드는 Q가 3000이고 역방향 전압이 0~20V로 변할 때 정전 용량은 0.2~2.5pF까지 변하는 MA-COM사

의 MA46H201를 사용하였다. DC 바이어스 회로는 RF 신호에 대해서는 개방되어 RF신호가 DC 바이어스 선로로 커플링 되는 것을 방지하도록 라디얼(radial) 스터브를 추가하였다.

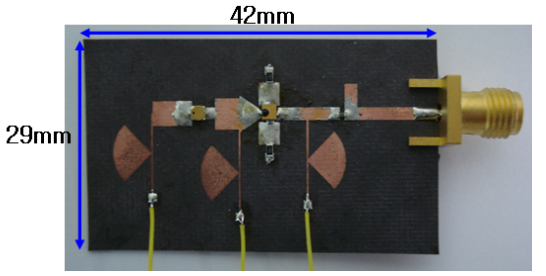


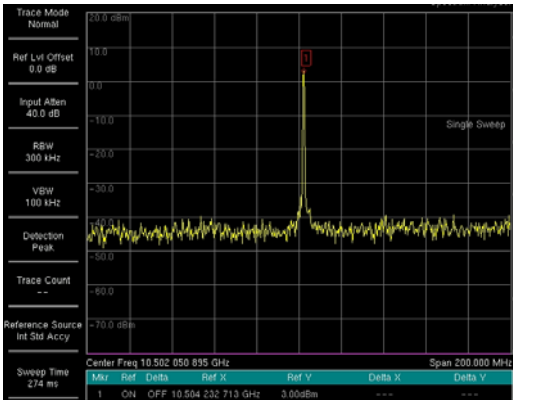
Fig. 5 Fabricated VCO

제작된 전압제어 발진기를 측정하기 위해 FET의 바이어스로 VDS = 3V, VGS = 0V를 가하고, 바랙터 다이오드 역방향 전압을 1V에서 18V까지 변화시키면서 발진 특성을 관찰하였다.

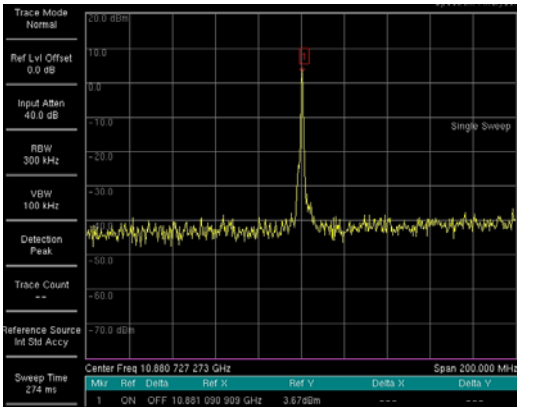
제어전압에 따른 발진 출력 특성 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 제어전압이 1V일 때의 주파수는 Fig. 6(a)와 같이 10.50GHz 주파수에 3dBm의 출력특성을 보였다. 또한 Fig. 6(b)는 제어전압이 18V일 때를 나타내며 주파수는 10.88GHz에 3.67dBm의 출력특성을 보였다.

제어전압이 1V 일 때 측정한 위상 잡음을 Fig. 7에 나타내었다. 100KHz 오프셋 주파수에서 위상잡음이 -43.5 dBc/Hz으로 나타났다.

바랙터 다이오드에 1V ~18V의 제어전압에 따른 발진 출력 특성을 측정하여 Fig. 8에 나타내었다. 제어 전압에 따른 바렉터의 커패시턴스 변화는 데이터 시트에 주어진 값과 동일한 결과를 얻을 수 있었고, 측정 결과 발진 주파수 범위는 10.50~10.88GHz 로서 380MHz의 주파수 변화를 관측할 수 있었다. 또한 출력 전력의 크기는 커넥터의 손실을 보상하여, 4~4.67dBm으로 최소 4dBm의 출력전력을 보였다. 이러한 결과는 시뮬레이션 결과치와 다소 차이를 보이고 있으나 이것은 바랙터 소자 및 트랜지스터의 파라미터 값이 시뮬레이션과 실제 값에서 차이가 있기 때문에 발생한 것으로 사료된다.



(a) Output spectrum when the control voltage is 1V.



(b) Output spectrum when the control voltage is 18V.

Fig. 6 VCO output spectrum

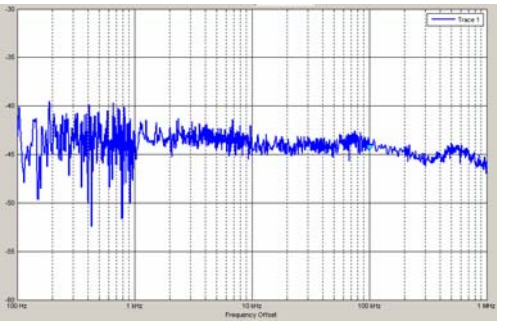
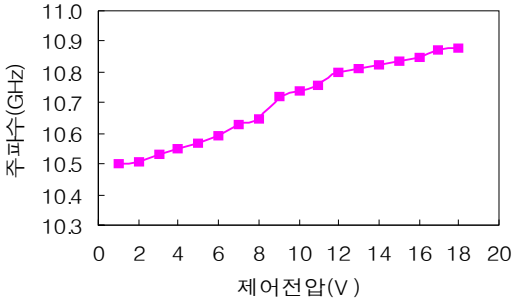


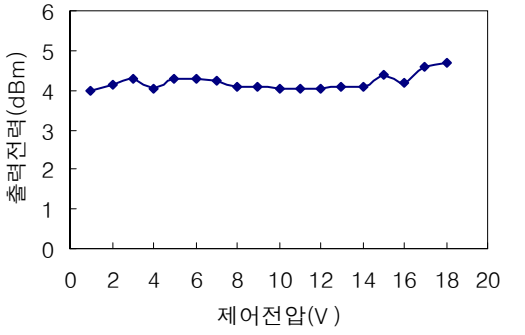
Fig. 7 Phase noise at 10.5GHz

특히, 10GHz 정도의 높은 주파수에서는 소자의 미세한 차이도 특성에 큰 영향을 미칠 수 있으며,

기판 에칭 및 제작 상의 미미한 오차도 특성에 크게 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 이러한 오차에 기인하여 본 논문의 실험치와 시뮬레이션 값이 차이가 난 것으로 사료된다.



(a) Output frequency versus control voltage



(b) Output power level versus control voltage

Fig. 8 Oscillator characteristics versus control voltage

4. 결 론

본 논문에서는 화물선박 등의 탱크에 들어 있는 내용물의 레벨을 측정하는데 사용할 수 있는 X-밴드 레이더의 신호원을 개발을 위해 X-밴드에서 동작 가능한 전압제어 발진기를 구현하였다.

ADS를 이용한 설계 및 시뮬레이션을 통해 제작된 전압제어 발진기의 특성을 측정한 결과, 바랙터 다이오드에 인가되는 전압의 변화(1V~18V)에 따른 가변 주파수 범위가 10.50~10.88GHz으로 380MHz의 가변 주파수 대역폭을 나타내었으며, 출력 전력 레벨은 4~4.67dBm으로 최소 4 dBm의 출력 전력을 보였다. 위상잡음 특성은 10.5GHz의 100KHz 오프셋 주파수에서 -43.5 dBc/Hz을 얻었다.

제작된 전압제어 발진기가 선박의 유량 및 거리 측정을 위한 X-밴드 레이더 신호원으로의 응용이 가능할 것으로 보인다.

참고문헌

[1] 최재원, 이종민, 서철헌, “Microstrip square open loop와 tunable negative resistance를 이용한 저위상 잡음전압제어 발진기,” 한국전자파학회논문지, 제17권, 제12호, pp. 1143-1149, 2006.

[2] 최재원, 서철헌, “마이트로스트립 사각 개방 루프 SRR를 이용한 저위상 잡음 전압제어발진기,” 전자공학회지, 제44권, 제12호, pp. 1181-1186.

[3] 명성식, 전상훈, 육종관, “InGap/GaAs HBT를 이용한 WLAN용 low noise RFIC VCO,” 한국전자파학회논문지, 제15권, 제2호, pp. 145-149, 2004.

[4] 이문규, 문성모, 민상보, “바렉터 다이오드를 이용하지 않은 광대역 Push-Push 전압제어발진기,” 한국전자파학회논문지, 제16권, 제4호, pp. 345-350, 2005.

[5] 박창현, 최병하, “낮은 위상잡음을 갖는 X-band 전압제어 유전체 공진형 발진기의 설계 및 제작,” 전자공학회지, 제41권, 제5호, pp. 69-75, 2004.

[6] 성연재, 강연덕, 이택경, “X밴드 광대역 전압조정 발진기의 설계 및 제작,” 전자공학회지, 제42권, 제3호, pp. 691-694, 2002.

[7] Eric Holzman, *Solid State Microwave Power Oscillator Design*, Artech House. 1992.

[8] Reinhold Ludwig, Pavel Bretchko, *RF Circuit Design Thory and Applications*, Prentice-Hall, 2000.

저 자 소 개

박동국 (朴東國)

1964년생, 1987년 부산대학교 전자공학과 졸업(학사), 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사), 1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사), 1994년～1996년 LG전자 선임연구원, 1996년～현재 한국해양대학교 컴퓨터・제어・전자통신공학부

윤나라(尹俪邏)

1984년생, 2007년도 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(학사), 2009년 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(석사), 현재 대우조선해양주식회사 전장설계 1팀

김예지(金睿智)

1986년생, 2009년도 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(학사), 2009년～현재 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 재학

최연지(崔娟智)

1986년생. 2009년 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(학사), 2009년～현재 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 재학