

915 MHz 통과형 저손실 고조파 응답기 설계

Design of 915 MHz Low-Loss Through-type Harmonic Transponder

조 선 앵¹ · 김 지 수² · 오 준 택³Seonaeng Cho¹ · Jisu Kim² · Juntaek Oh³

요 약

본 논문에서는 비선형 레이더 센서용 915 MHz 저손실 통과형 고조파 응답기를 제안한다. 제안하는 통과형 고조파 응답기는 입출력단의 독립적인 정합이 가능하도록 독립적 임피던스 제어 회로가 포함된 입출력 정합단을 구성하여, 내외부 환경에 따른 입력과 출력단의 임피던스 변화에 관계없이 서로 간의 임피던스 영향을 최소화하였다. 제작된 고조파 응답기는 66 mm × 24 mm의 크기를 가졌으며, 제작된 회로의 측정을 통해 성능을 검증하였다. 제안된 고조파 응답기는 915 MHz의 주파수에서 -20~0 dBm의 입력전력 범위에서 -10 dB 이상의 높은 변환이득을 얻었다. 또한 -10 dBm의 입력전력에서 900~930 MHz의 범위에서 -11.5 dB의 변환이득과 함께 -32.2 dBm 이하의 기본파를 출력하는 것을 확인하였다.

Abstract

This paper presents a 915 MHz low-loss harmonic transponder for harmonic radar sensors. The proposed through-type harmonic transponder comprises an input and output matching network with an independent impedance control circuit. This control circuit enables the independent matching of the input and output loads. The circuit minimizes the impedance influence between the input and output matching networks, regardless of the impedance change of the input and output terminals according to the internal and external environments. The designed harmonic transponder was implemented and its performance was measured. The results show that the conversion gain of the proposed circuit is >-10 dB over a wide input power range of -20-0 dBm. Furthermore, the implemented circuit maintains the conversion gain of over -11.5 dB and the low fundamental output power of under -32.2 dBm in the frequency range of 900-930 MHz.

Key words: Harmonic Transponder, Nonlinear Radar, RFID Tag, Wide Input Power Range

I. 서 론

비선형 레이더 기술은, 송수신단에서 동일한 주파수를 이용하는 기존 선형 레이더 기술과 달리 기본파를 송신하고, 비선형 소자에 의해 생성된 고조파를 수신하는 기

술로서 클러터와 재밍을 포함하는 외부 잡음에 강인하다는 특성을 가지고 있다. 이에 따라서 IoT, 헬스케어, 무선 전력전송 등의 다양한 어플리케이션에서 센싱 용도로 사용되고 있다. 비선형 레이더 기술은 고조파 생성이 가능한 전자기기 탐지가 가능하지만, 대부분 그 수신 신호가

「이 논문은 정부재원으로 과학기술정보통신부와 한국여성과학기술인육성재단의 지원을 받아 연구되었음(WISET-2022-105호).」

송실대학교 전자정보공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

1: 학부과정(<https://orcid.org/0000-0001-9802-8594>), 2: 석·박과정(<https://orcid.org/0000-0002-8633-9253>), 3: 부교수(<https://orcid.org/0000-0003-4694-8545>)

· Manuscript received October 11, 2022 ; Revised November 11, 2022 ; Accepted December 12, 2022. (ID No. 20221011-083)

· Corresponding Author: Juntaek Oh (e-mail: kingojt@ssu.ac.kr)

미약하기 때문에 탐지거리가 짧다는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 극복하기 위한 방법으로서는 RFID와 같이 비선형 응답이 가능한 태그를 구현하면 보다 넓은 범위에 존재하는 태그의 위치를 추적 가능하여 비선형 레이다 기술의 확장성을 가져올 수 있다^[1].

비선형 응답기는 다이오드와 입출력 정합단을 이용하여 선형 신호를 수신하여 비선형 신호를 송신하는 회로로서, 입력과 출력을 공유하는 반사형 방식과 입력과 출력이 분리되어 있는 통과형 방식으로 구성이 가능하다^[2]. 반사형 방식의 비선형 응답기는 입출력 정합단을 하나만 사용하여 소형 제작이 가능하지만, 반사되는 기본파를 제거하지 못한다는 근본적인 어려움이 존재한다^[3]. 통과 방식의 응답기는 다이오드 양단에 입출력 정합이 분리될 수 있으나, 각 정합단 간의 종속적인 관계로 인해서 설계 및 제작과정에 따른 각 정합단의 부정합은 서로 간의 영향을 미칠 수 있다는 단점이 존재한다^{[4]~[7]}.

본 논문은 독립적 입출력 정합이 가능한 통과 방식의 고조파 비선형 응답기를 제안한다. 915 MHz 대역에서 넓은 입력 전력에서 정합을 하여 다양한 위치에서도 높은 비선형 반사가 가능하도록 설계하였으며, 독립적 입출력 정합단을 통해서 내외부의 환경에 따른 임피던스 변화에 의한 회로 성능의 변화를 최소화하고자 하였다.

II. 회로 설계

그림 1은 제안하는 고조파 응답기의 도식도를 나타낸 그림이다. 높은 고조파와 출력과 함께 낮은 기본파와 출력을 갖기 위해서 독립적 입출력 정합이 가능한 통과 방식의 고조파 응답기 구조를 선택하였다. 먼저 다이오드 양단은 스터브 기반의 독립적 임피던스 제어회로를 연결하였다.

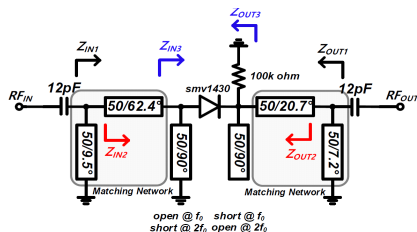


그림 1. 제안하는 고조파 응답기 도식도
Fig. 1. Schematic of proposed harmonic transponder.

입력단은 기본파 주파수에서 90도 길이의 단락 스터브를 연결하였으며, 이에 따라서 고조파 주파수에서는 단락으로 임피던스가 보이게 되어 출력에서 바라볼 때 단락 스터브는 그라운드의 역할을 하게 된다. 이에 따라서 입력단의 임피던스 변화에 관계없이 출력 임피던스는 일정하게 유지된다. 기본파 주파수에서는 단락 스터브가 무한대의 임피던스로 보이므로 입력 정합에는 영향을 끼치지 않으며, 다이오드의 DC 전압을 0 V로 유지시켜준다.

마찬가지로 출력단은 기본파 주파수에서 90도인 개방 스터브를 연결하였으며, 기본파 주파수에서는 단락으로 임피던스가 보이게 되어 입력에서 바라볼 때 개방 스터브는 그라운드 역할을 하게 된다. 이에 따라서 출력단의 임피던스 변화에 관계없이 출력단은 일정한 임피던스를 유지한다. 고조파 주파수에서는 개방 스터브가 무한대의 임피던스로 보이게 되어 입력 정합에는 영향을 끼치지 않으며, 다이오드 오른쪽의 DC 전압을 0 V로 유지시키기 위해 100 kΩ의 저항을 병렬로 연결시켜 주었다.

입력 및 출력단은 L형 정합단을 이용하여 각각 기본파와 고조파에서 정합을 하였다. 그림 2는 입력 전력에 따른 입력 임피던스를 나타낸 스미스차트이며, L형 정합단을 이용하여 기본파 주파수(915 MHz)에서 $-30 \sim -7$ dBm의 넓은 입력전력 범위에서 VSWR=2 내부로 임피던스를 변환하였다. 그림 3은 고조파 주파수(1.83 GHz)에서 입력전력에 따른 출력 임피던스를 나타낸 그래프이며, $-30 \sim 5$ dBm의 넓은 범위에서 VSWR=2 원 안에 임피던스가 존재하는 것을 통해 넓은 입력 전력에서의 우수한

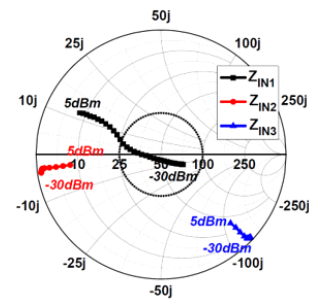


그림 2. 915 MHz에서 입력 전력에 따른 입력 임피던스 결과

Fig. 2. Simulated input impedance with frequency and input power at 915 MHz.

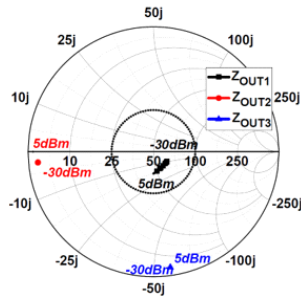


그림 3. 1.83 GHz에서 입력 전력에 따른 아웃풋 임피던스 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulated output impedance with frequency and input power at 1.83 GHz.

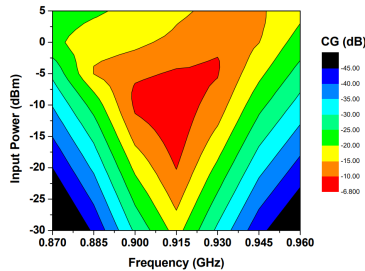


그림 4. 입력 전력 및 주파수에 따른 변환이득 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulated conversion gain versus input power and frequency.

정합 특성을 확인할 수 있다.

그림 4는 입력 전력 및 주파수에 따른 변환이득 시뮬레이션 결과이며, 915 MHz에서 $-20 \sim -3$ dBm의 넓은 입력 전력 범위에 대해 -10 dB 이상의 높은 변환이득을 가졌으며, -7 dBm의 전력 입력 시 900~930 MHz의 범위에서 -10 dB 이상의 변환이득을 가지는 것을 확인하였다.

III. 측정 결과

그림 5와 같이 제안된 비선형 응답기는 Taconic사의 TLC-32 기판(ϵ_r : 3.2, loss tangent: 0.003, thickness: 0.79 mm)을 이용하여 제작되었다. 사용한 다이오드는 SMV-1430을 사용하였으며, DC 차단 커패시터는 12 pF를 입력 및 출력에 각각 사용하였다. 제작된 비선형 응답기를 검증하기 위해 N58182A의 신호 발생기로 기본파를 인가하고 스펙트럼 분석기를 이용하여 기본파 및 고조파 출력 전력

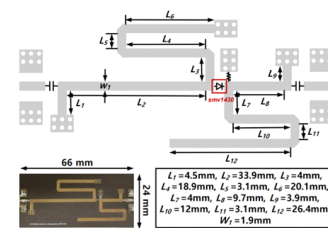


그림 5. 제작된 정류기의 레이아웃 및 사진

Fig. 5. Layout and photograph of the implemented rectifier.

을 측정하였다.

그림 6은 915 MHz의 주파수에서 입력 전력에 따른 제작된 회로의 변환 이득 및 기본파 출력 전력 특성을 나타낸 그래프이며, 최대 -6.6 dB의 높은 변환이득을 가지며, 동시에 $-21 \sim 0$ dBm의 넓은 입력 전력 범위에서 -10 dB 이상의 변환이득을 가지는 것을 확인하였다. 또한 20 dB 이상의 기본파 삽입 손실을 가지는 것을 통해 기본파에 대한 입출력 포트 간 격리도가 우수한 것을 확인하였다. 그림 7은 -10 dBm의 고정된 입력 전력에서 주파수에 따른 변환 이득 및 기본파 출력 전력 측정 결과를 나타낸 그래프이며, 900~930 MHz의 범위에서 -11.5 dB 이상의 변환이득을 가지면서 동시에 -30 dBm의 낮은 기본파 출력 특성을 갖는 것을 확인하였다.

표 1은 기존 발표된 반사 및 통과 방식의 고조파 응답기와 제안한 회로의 검증 결과를 비교한 표이다. 제안한 고조파 응답기는 기존 연구 대비하며 월등한 변환이득을 가짐과 동시에 작은 크기로 구현한 것을 확인하였으며,

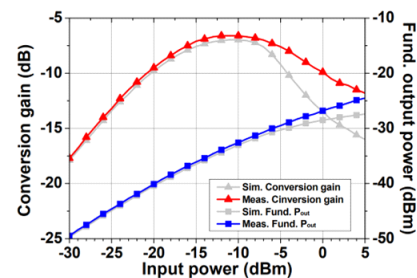


그림 6. 915 MHz에서 입력 전력에 따른 변환 이득 및 기본파 출력 전력 시뮬레이션 및 측정 결과

Fig. 6. Simulated and measured conversion gain and fundamental P_{out} versus input power at 915 MHz.

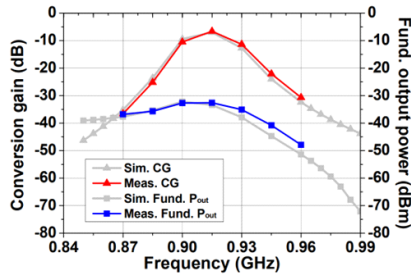


그림 7. -10 dBm의 입력전력에서 주파수에 따른 변환 이득 및 기본파 출력 전력 시뮬레이션 및 측정 결과

Fig. 7. Simulated and measured conversion gain and fundamental P_{out} versus frequency at -10 dBm of input power.

표 1. 이전 발표된 연구들과의 성능 비교

Table 1. Comparison with the previously reported works.

		Ref. [4]	Ref. [5]	Ref. [6]	Ref. [7]	This work
Fund. freq. (MHz)		1,225	894	1,100	2,500	915
Type		Through	Reflection	Through	Through	Through
Diode model		HSMS 2850	SMS 7630	HSMS 2850	BAT15 -03W	SMV 1430
Peak CG.	Power (dBm)	10	−25	0	0	−10
	CG. (dB)	−10	−13.5**	−15	−13*	−6.6
Size [λ g ²]		N/A	0.32×0.16	N/A	0.25×0.25	0.2×0.07

* Graphically estimated.

**Measured with antenna.

이를 통해 제안한 회로의 구현 기법과 제작 결과에 대한 우수성을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 입출력단의 독립적 정합이 가능한 비선형 레이다 센서용 915 MHz 저손실 고조파 응답기의 설계 및 측정 결과를 제시한다. 제안된 응답기는 다이오드 양단에 스티브 기반 필터를 포함하는 정합단을 구현하여 주파수의 선택적 통과를 통해 변환이득을 높이고, 입출력 정합단 간의 상호 영향을 줄여서 기존 반사 방식 응답기

의 주요 문제점인 임피던스 부정합을 크게 개선한다. 본 응답기는 915 MHz에서 $-21 \sim 0$ dBm의 입력 전력 범위에서 -10 dB 이상의 변환 이득을 가지며, 900~930 MHz 대역에서 -11.5 dB 이상의 변환 이득을 갖는 측정 결과를 통해 제안한 회로의 우수성을 검증하였다.

References

- [1] G. J. Mazzaro, A. F. Martone, K. I. Ranney, and R. M. Narayanan, "Nonlinear radar for finding RF electronics: System design and recent advancements," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, no. 5, pp. 1716-1726, May 2017.
- [2] X. Gu, P. Burasa, S. Hemour, and K. Wu, "Recycling ambient RF energy: Far-field wireless power transfer and harmonic backscattering," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 22, no. 9, pp. 60-78, Sep. 2021.
- [3] K. Gumber, C. Dejous, and S. Hemour, "Harmonic reflection amplifier for widespread backscatter internet-of-things," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 69, no. 1, pp. 774-785, Jan. 2021.
- [4] R. Mirzavand, P. Mousavi, "A zero-power sensor using multi-port direct-conversion sensing," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 22, pp. 9243-9250, Nov. 2018.
- [5] M. Polivka, V. Hubata-Vacek, and M. Svanda, "Harmonic balance/full-wave analysis of wearable harmonic transponder for IoT applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 2, pp. 977-987, Feb. 2022.
- [6] L. Zhu, H. Huang, M. M. C. Cheng, and P. Y. Chen, "Compact, flexible harmonic transponder sensor with multiplexed sensing capabilities for rapid, contactless microfluidic diagnosis," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 68, no. 11, pp. 4846-4854, Nov. 2020.
- [7] R. Raju, G. E. Bridges, "A compact wireless passive harmonic sensing for packaged food quality monitoring," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 70, no. 4, pp. 2389-2397, Apr. 2022.