



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년06월14일  
 (11) 등록번호 10-1629700  
 (24) 등록일자 2016년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H03H 7/30 (2006.01) H03H 7/01 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2014-0053436  
 (22) 출원일자 2014년05월02일  
 심사청구일자 2014년05월02일  
 (65) 공개번호 10-2015-0126493  
 (43) 공개일자 2015년11월12일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR101071844 B1\*  
 KR101093644 B1  
 KR101093632 B1  
 KR100394328 B1  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 세원텔레텍 주식회사  
 경기도 안양시 만안구 전파로44번길 53 (안양동)  
 전북대학교산학협력단  
 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (덕진동1가)  
 (72) 발명자  
 김철동  
 경기도 용인시 수지구 성북2로 126(성북동, 성동마을LG빌리지3차아파트, 306동 101호)  
 정용채  
 전북 전주시 덕진구 백제대로 567  
 이기형  
 서울특별시 송파구 올림픽로 435, 313동 1002호(신천동, 파크리오아파트)  
 (74) 대리인  
 임준호

전체 청구항 수 : 총 14 항

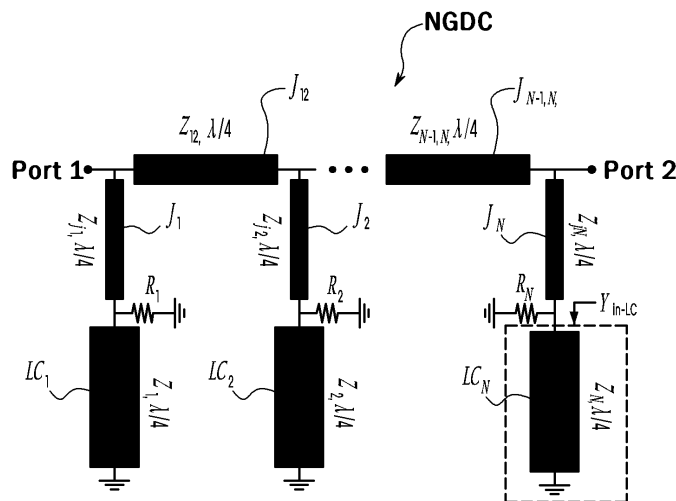
심사관 : 이옥우

(54) 발명의 명칭 **음의 균지연 여파기**

**(57) 요약**

본 발명은 음의 균지연 여파기(NGDF)에 관한 것이다. 종래의 음의 균지연 회로 관련 발명들은 공진회로 개념을 이용한 회로 구현으로 음의 균지연(NGD) 동작 주파수 대역폭, 큰 삽입손실, 음의 균지연 시간 제어 등의 문제점이 있어 이를 해결하기 위해 본 발명에서는 대역 억제 여파기(BSF)의 신호 감쇄 특성과 음의 균지연(NGD) 시간을 갖는 분산 전송 선로를 이용하여 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성함으로써, 온도 변화에 따른 특성 변화가 덜 민감하면서도 입·출력 반사손실이 크게 개선되고, 대역폭이 크게 확장된 음의 균지연 여파기(NGDF)를 개시한다.

**대표도** - 도7



**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

입·출력단자(Port 1)(Port 2) 사이에 다단으로 연결 설치되는 J-인버터 전송선로 $[(J_{12})\cdots(J_{N-1,N})]$ , N은 2 이상의 양의 정수]들, 상기 입력단자(Port 1)와 처음 단 J-인버터 전송선로 $(J_{12})$  사이와 상기 각 단 J-인버터 전송선로 $[(J_{12})\cdots(J_{N-1,N})]$ 들 사이 및 종단 J-인버터 전송선로 $(J_{N-1,N})$ 와 출력단자(Port 2) 사이에 각각 병렬 연결되는 단락 J-인버터 전송선로 $[(J_1)\cdots(J_N)]$ , N은 양의 정수]들, 상기 각 단락 J-인버터 전송선로 $[(J_1)\cdots(J_N)]$ 들에 연결되는 병렬 RLC 공진기 전송선로 $[(LC_1)\cdots(LC_N)]$ , N은 양의 정수]들을 포함하며 음의 균지연(NGD) 시간을 갖는 분산 전송선로를 이용하여, 전달 신호 위상 특성이 양의 기울기를 갖는 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제1 항에 있어서,

상기 음의 균지연 회로(NGDC) 입·출력단에 입·출력 임피던스 정합을 위한 입·출력 임피던스 변환 전송선로 $(ML_1)(ML_1')$ 를 각각 삽입 연결하여 동작 주파수에서의 반사 손실특성이 우수한 입·출력 임피던스 정합 특성을 갖도록 하는 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 4**

제1 항에 있어서,

입·출력단자(Port 1)(Port 2) 사이에 서로 다른 중심주파수 $(f_1)(f_2)$ 를 가지는 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)와 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>2</sub>)를 서로 직렬 연결하여 음의 균지연(NGD) 대역폭이 확장된 분산 전송선로를 이용한 광대역 정합 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 5**

제4 항에 있어서,

상기 음의 균지연 회로(NGDC) 입·출력단에 입·출력 임피던스 정합을 위한 서로 다른 구성의 입·출력 임피던스 변환 전송선로 $(ML_1)(ML_1')$ 를 각각 삽입 연결하여 광대역 정합 특성을 갖도록 하는 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 6**

제4 항에 있어서,

광대역 정합 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성하는,

제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)의 구성이, J-인버터 전송선로 $(J_{12})$ 와 상기 J-인버터 전송선로 $(J_{12})$ 의 양 단에

각각 병렬 연결되는 단락 J-인버터 전송선로( $J_1$ )( $J_2$ )와 상기 각 단락 J-인버터 전송선로( $J_1$ )( $J_2$ )에 연결되는 병렬 RLC 공진기 전송선로( $LC_1$ )( $LC_2$ )로 구성되고,

제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>2</sub>)의 구성이, J-인버터 전송선로( $J_{12}'$ )와 상기 J-인버터 전송선로( $J_{12}'$ )의 양 단에 각각 병렬 연결되는 단락 J-인버터 전송선로( $J_1'$ )( $J_2'$ )와 상기 각 단락 J-인버터 전송선로( $J_1'$ )( $J_2'$ )에 연결되는 병렬 RLC 공진기 전송선로( $LC_1'$ )( $LC_2'$ )로 구성되는 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

### 청구항 7

제1 항에 있어서,

음의 균지연 회로(NGDC)를 구성하는 상기 J-인버터 전송선로[( $J_{12}$ )...( $J_{N-1,N}$ ), N은 2 이상의 양의 정수]들은  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스[( $Z_{12}$ )...( $Z_{N-1,N}$ ), N은 2 이상의 양의 정수]를 가지며, 상기 단락 J-인버터 전송선로[( $J_1$ )...( $J_N$ ), N은 양의 정수]들은  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스[( $Z_{J1}$ )...( $Z_{JN}$ ), N은 양의 정수]를 가지고, 상기 병렬 RLC 공진기 전송선로[( $LC_1$ )...( $LC_N$ ), N은 양의 정수]들은  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스[( $Z_1$ )...( $Z_N$ ), N은 양의 정수]를 갖는 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

### 청구항 8

제3 항에 있어서,

상기 음의 균지연 회로(NGDC) 입·출력단에 각각 삽입 연결되는 입·출력 임피던스 변환 전송선로( $LC_1$ )( $LC_2$ )는  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스( $Z_T$ )를 갖는 동일한 구조의 입·출력 정합 회로로 구성되는 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

### 청구항 9

제4 항에 있어서,

중심 주파수( $f_1$ )( $f_2$ )가 서로 약간 다른 2개의 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)와 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>2</sub>)를 직렬 연결하여 광대역 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

### 청구항 10

제5 항에 있어서,

상기 음의 균지연 회로(NGDC) 입·출력단에 각각 삽입 연결되는 입·출력 임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )는  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스( $Z_T$ )를 갖는 서로 다른 구성의 입·출력 정합 회로로 구성되는 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

### 청구항 11

제6 항에 있어서,

상기 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)를 구성하는 J-인버터 전송선로( $J_1$ )의 입력단에 입력 임피던스의 유도 리액턴스(inductive reactance)를 보상(상쇄)하기 위한 전송선로( $ML_2$ )를 단락 J-인버터 전송선로( $J_1$ )에 접속되도록 삽입 연결함과 동시에, 상기 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>2</sub>)를 구성하는 J-인버터 전송선로( $J_1'$ )의 출력단

에 출력 임피던스의 용량 리액턴스(capacitive reactance)를 보상(상쇄)하기 위한 전송선로( $ML_2'$ )를 단락 J-인버터 전송선로( $J_2'$ )에 접속되도록 삽입 연결함을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 12**

제11 항에 있어서,

입력 임피던스의 유도 리액턴스를 보상하기 위한 전송선로( $ML_2$ )는 개방(open)된 전송선로이고, 출력 임피던스의 용량 리액턴스를 보상하기 위한 전송선로( $ML_2'$ )는 단락(short)된 전송선로로 구성함을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 13**

제1 항 및 제3 항, 제4 항 내지 제12 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성하는 분산 전송 선로는 박막도체를 사용하거나 반도체를 유전체로 이용하는 프린트 배선 기술로 만들어지는 전송선로, 가늘고 긴 평평한 도체와 폭이 넓은 도체를 유전체로 고정시킨 스트립 전송선로, 마이크로파 회로를 위한 마이크로스트립 선로 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

제9 항에 있어서,

제1 정합 음의 균지연 회로( $NGDC_1$ )와 제2 정합 음의 균지연 회로( $NGDC_2$ )의 중심 주파수( $f_1 = 1.940$  GHz)( $f_2 = 1.984$  GHz)를 서로 약간 다르게 설계함을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**청구항 16**

제9 항에 있어서,

제1 정합 음의 균지연 회로( $NGDC_1$ )와 제2 정합 음의 균지연 회로( $NGDC_2$ )가 2 이상의 주파수 단수(N)를 가지는 음의 균지연 회로(NGDC)인 것을 특징으로 하는 음의 균지연 여파기(NGDF).

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 음의 균지연 여파기(NGDF)에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 마이크로파 회로를 위한 마이크로스트립 선로(Microstrip Line) 음의 균지연 여파기(NGDF)에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 마이크로파 여파기는 설계자가 전송하거나 취득하길 희망하는 주파수의 신호만을 선택적으로 통과시키고, 불필요한 주파수의 신호들은 감쇄시키는 기능을 수행하는 2단자 회로망을 일컫는 것으로(성격에 따라 단자 수가 증가할 수도 있음), 일반적으로 기능적인 측면에서 저역 주파수 대역 신호만을 통과시키는 저역 통과 여파기(Low Pass Filter: LPF), 고역 주파수 대역 신호만을 통과시키는 고역 통과 여파기(High Pass Filter: HPF), 특정 주파수 대역 신호만을 통과시키는 대역 통과 여파기(Band Pass Filter: BPF), 특정 주파수 대역 신호만을 감쇄

시키고 나머지 주파수 신호들은 모두 통과시키는 대역 억제 여파기(Band Stop Filter: BSF)로 구분된다.

[0003] 그리고 군지연(Group Delay: GD)이란 특정 신호가 임의의 회로 또는 시스템을 통과하는데 걸리는 시간을 의미한다.

[0004] 최근에 음의 군지연(Negative Group Delay: NGD) 또는 초광속 효과와 같은 물리적 현상<sup>[1]</sup>들이 전자회로로 구현되었고, 이를 통신 시스템에서 적용한 사례가 보고 되었다.

[0005] 음의 군지연(NGD) 회로들을 통신 시스템에 적용하여 지연 선로의 제거를 통한 피드포워드 (feedforward) 방식 선형 증폭기의 효율 향상, 피드백 선형 증폭기의 대역폭 증가, 위상 배열 안테나 시스템에서의 빔 편이 현상 최소화와 같은 효과를 얻을 수 있다<sup>[2]-[7]</sup>.

[0006] 이러한 음의 군지연(NGD) 현상은 일반적으로 특정 매체에서 신호 감쇄가 일어나는 제한된 대역폭에서 관찰된다.<sup>[8]-[9]</sup> 군지연(GD)의 특성은 일반적으로 주파수 변화량에 따른 순방향 신호 전달 계수(S<sub>21</sub>)의 위상 변화량을 통해 분석할 수 있는데, 그 수학적 표현은 아래의 수학적 식 1과 같이 각 주파수(angular frequency) 변화에 따른 위상 특성의 변화로 정의된다.

**수학적 식 1**

[0007] 
$$\tau_g = -\frac{d\phi}{d\omega}$$

[0008] 수학적 식 1에서 보듯이 일반적으로 위상변화가 음(negative)의 기울기를 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 음의 군지연(NGD) 특성을 얻기 위해서는 주파수에 따른 위상 특성이 양의 기울기를 가져야 한다.

[0009] 즉, 음의 군지연(NGD)은 임의의 회로나 시스템을 통과한 신호 전달 계수(S<sub>21</sub>)의 위상변화가 양(positive)의 기울기를 갖는 현상으로써, 신호가 임의의 회로나 시스템을 통과하는데 음의 시간을 가지는 것을 의미한다(후술하는 본 발명의 도 4의 (b) 참조).

[0010] 이러한 원리 현상은 물리학계의 검증은 거쳤으며 전자공학분야에서도 검증되어 논문과 특허들이 발표된 바 있다.

[0011] 예컨대, 본 출원인이 『음의 군지연 회로를 갖는 피드포워드 선형 전력 증폭기(등록특허번호: 10-1093632, 등록일: 2011. 12. 7), 음의 군지연 회로를 갖는 아날로그 피드백 선형 전력 증폭기(등록특허번호: 10-1093644, 등록일: 2011. 12. 7), Feedforward linear power amplifier with negative group delay circuit (PCT/KR2010/00766, 출원일 : 2010. 10. 11)』 등 NGD 관련 특허들을 등록한 바 있다.

[0012] 마이크로웨이브 대역에서 동작하는 음의 군지연(NGD) 회로는 하기의 선행기술문헌[10]과 [11]에 소개되어 있으며, RLC 공진을 이용한 음의 군지연(NGD) 회로는 하기의 선행기술문헌[12]~[20]에서 소개되어 있고, 왼손 메타물질(left handed-metamaterial: LHM)을 이용한 회로는 하기의 선행기술문헌[21]에 나타나 있다.

[0013] 하지만 지금까지의 설계된 회로들은 단일 공진기 개념<sup>[10]</sup>만 분석을 하고 고차 여파기 합성 방법에 관해서는 논의 되지 않았다. 또한, 이전의 회로들은 대역폭 및 신호 감쇄가 큰 문제점으로 나타났다.

[0014] 신호 감쇄 특성이 나타나는 대역 억제 여파기(BSF)는 특정 주파수 대역의 원하지 않는 신호를 억제하는 마이크로파/RF 통신 시스템에서의 중요한 회로이다.

[0015] 대역 억제 여파기(BSF)에 관한 다양한 접근 및 설계는 하기의 선행기술문헌[22]~[28]들에 나타나 있다.

[0016] 그러나 이러한 연구들은 단지 특정 억제 주파수 대역에서 큰 감쇄를 갖는 것에 초점을 두고 정량적인 음의 군지연(NGD) 값이나 현상을 얻을 수 있는지는 분석하지 않았다. 또한, 대역 억제 여파기(BSF)의 신호 감쇄 특성과 음의 군지연(NGD) 특성이 동시에 분석된 연구도 없었다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0017] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 10-1093632(등록일: 2011. 12. 7) 음의 군지연 회로를 갖는 피드포워드 선형 전력 증폭기,  
 (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허공보 10-1093644(등록일: 2011. 12. 7) 음의 군지연 회로를 갖는 아날로그 피드백 선형 전력 증폭기,  
 (특허문헌 0003) PCT/KR2010/00766(출원일 : 2010. 10. 11) Feedforward linear power amplifier with negative group delay circuit,

**비특허문헌**

- [0018] (비특허문헌 0001) [1] L. Brillouin and A. Sommerfeld, Wave propagation and group velocity, New York: Academic press Network, 1960, pp. 113-137.  
 (비특허문헌 0002) [2] M. Kitano, T. Nakanishi, and K. Sugiyama, "Negative group delay and superluminal propagation: An electronic circuit approach", IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol. 9, no. 1, pp. 43-51, Jan. 2003.  
 (비특허문헌 0003) [3] H. Choi, Y. Jeong, C. D. Kim, and J. S. Kenney, "Efficiency enhancement of feedforward amplifiers by employing a negative group delay circuit", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 58, no. 5, pp. 1116-1125, May 2010.  
 (비특허문헌 0004) [4] H. Choi, Y. Jeong, C. D. Kim, and J. S. Kenney, "Bandwidth enhancement of an analog feedback amplifier by employing a negative group delay circuit", Progress in Electromagn. Research, vol. 105, pp. 253-272, 2010.  
 (비특허문헌 0005) [5] H. Noto, K. Yamauchi, M. Nakayama, and Y. Isota, "Negative group delay circuit for feed-forward amplifier", Proc. of IEEE Inter. Microw. Symp. Dig, pp. 1103-1106, Jun. 2007.  
 (비특허문헌 0006) [6] B. Ravelo, M. L. Roy, and A. Perennec, "Application of negative group delay active circuits to the design of broadband and constant phase shifters", Microw. Optical Tech. Letters, vol. 50, no. 12, pp. 3078-3080, Dec. 2008.  
 (비특허문헌 0007) [7] S. S. Oh and L. Shafai, "Compensated circuit with characteristics of lossless double negative materials and its application to array antennas", IET Microw. Antennas & Propagation, vol. 1, no. 1, pp. 29-38, Feb. 2007.  
 (비특허문헌 0008) [8] D. Solli and R. Y. Chiao, "Superluminal effects and negative delays in electronics, and their application", Phys. Rev. E, Stat. Phys. Plasmas Fluids Relat. Interdiscip. Top., no. 5, pp. 056601 1-0566101 4, Nov. 2002.  
 (비특허문헌 0009) [9] Y. Jeong, H. Choi, and C. D. Kim, "Experimental verification for time advancement of negative group delay in RF electronics circuits", Electronics Letters, vol. 46, no. 4, pp. 306-307, Feb. 2010.  
 (비특허문헌 0010) [10] S. Lucyszyn, I. D. Robertson, and A. H. Aghvami, "Negative group delay synthesizer", Electronics Letters, vol. 29, no. 9, pp. 798-800, Apr. 1993.  
 (비특허문헌 0011) [11] S. Lucyszyn and I. D. Robertson, "Analog reflection topology building blocks for adaptive microwave signal processing applications", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 43, no. 3, pp. 601-611, Mar. 1995.  
 (비특허문헌 0012) [12] B. Ravelo, A. Perennec, M. L. Roy, and Y. G. Boucher, "Active Microwave circuit with negative group delay", IEEE Microw. Wireless Compon. Letters, vol. 17, no. 12, pp. 861-863, Dec. 2007.  
 (비특허문헌 0013) [13] H. Choi, K. Song, C. D. Kim, and Y. Jeong, "Synthesis of negative group delay time circuit", Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference, pp. 1-4, 2008.

- (비특허문헌 0014) [14] H. Choi, Y. Kim, Y. Jeong, and C. D. Kim, "Synthesis of reflection type negative group delay circuit using transmission line resonator", in Proceeding of 39th European Microw. Conf., pp. 902-605, Sep. 2009.
- (비특허문헌 0015) [15] C. D. Broomfield and J. K. A. Everard, "Broadband negative group delay networks for compensation of microwave oscillators and filters", Electronics Letters, vol. 9, no. 23, pp. 1931-1932, Nov. 2000.
- (비특허문헌 0016) [16] M. Kandic and G. E. Bridges, "Bilateral Gain-compensated negative froup delay circuit", IEEE Microw. Wireless Compon. Letters, vol. 21, no. 6, pp. 308-310, Jun. 2011.
- (비특허문헌 0017) [17] B. Ravelo, A. Perennec, and M. Le. Roy, "Synthesis of broadband negative group delay active circuits", IEEE International Microwave Symposium Digest, pp. 2177-2180, Jun. 2007.
- (비특허문헌 0018) [18] H. Choi, Y. Kim, Y. Jeong, and J. Lim, "A design of size-reduced negative group delay circuit using a stepped impedance resonator", Proceeding of Asia-Pacific Microw. Conf., pp. 118-1121, Dec. 2010.
- (비특허문헌 0019) [19] M. Kandic and G. E. Bridges, "Asymptotic limit of negative group delay in active resonator-based distributed circuits", IEEE Trans. Circuit System-I, vol. 58, no. 8, pp.1727-1735, Aug. 2011.
- (비특허문헌 0020) [20] H. Choi, G. Chaudhary, T. Moon, Y. Jeong, J. Lim and C. D. Kim, "A design of composite negative group delay circuit with lower signal attenuation for performance improvement of power amplifier linearization techniques", IEEE International Microwave Symposium Digest, pp. 1-4, Jun. 2011.
- (비특허문헌 0021) [21] O. F. Sidhiqui, M. Mojahedi, and G. V. Eleftheriades, "Periodically loaded transmission line with effective negative group delay index and negative group velocity", IEEE Trans. Antenna Propag., vol. 51, no. 10, pp. 2619-2625, Oct. 2010.
- (비특허문헌 0022) [22] Y. C. Ou and G. M. Rebeiz, "Lumped element fully tunable bandstop filters for cognitive radio applications", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 59, no. 10, pp. 2461-2468, Oct. 2011.
- (비특허문헌 0023) [23] M. Y. Hsieh and S. M. Wang, "Compact and wideband microstrip bandstop filter", IEEE Microw. Wireless Compon. Letters, vol. 15, no. 7, pp. 472-474, Jul. 2005.
- (비특허문헌 0024) [24] M. K. Mandal, K. Divyabramham, and S. Sanyal, "Compact, wideband bandstop filters with sharp rejection characteristics", IEEE Microw. Wireless Compon. Letters, vol. 18, no. 10, pp. 665-667, Oct. 2006.
- (비특허문헌 0025) [25] I. Shapir "An improved narrowband microwave bandstop filter", Proceeding of European Microw. Conf., pp. 210-214, 1998.
- (비특허문헌 0026) [26] S. Amari and U. Rosenberg, "Direct synthesis of a new class of bandstop filters", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 52, no. 2, pp. 607-616, Feb. 2004.
- (비특허문헌 0027) [27] I. C. Hunter, Theory and design of microwave filter, IET Electromagnetic Waves Series, 2006.
- (비특허문헌 0028) [28] G. Mathaei, L. Young, and E. M. T. Jones, Microwave Filters: Impedance matching networks and coupling structures, Artech. House, Dedham, MA 1964.

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

- [0019] 종래 음의 군지연 회로(NGDC; negative group delay circuits) 관련 발명들은 공진회로 개념을 이용한 회로 구현으로 음의 군지연(NGD) 동작 주파수 대역폭, 큰 삽입손실, 음의 군지연 시간 제어 등의 문제점이 있었다.
- [0020] 본 발명은 미리 정의된 음의 군지연(NGD) 시간을 갖는 분산 전송 선로(distributed transmission line)를 이용한 음의 군지연 여파기(negative group delay filter: NGDF) 설계 기술을 최초로 제시한다.
- [0021] 본 발명에서 제안하는 음의 군지연 여파기(NGDF)는 음의 군지연 특성을 얻기 위해 대역 억제 여파기(BSF)의 설계 기법을 이용한 새로운 설계이다.
- [0022] 본 발명에서 제안하는 음의 군지연 여파기(NGDF)의 소자 값은 버터워스(Butterworth) 방식의 저역 통과 여파기(LPF)의 기본 구조에 주파수 변환을 적용하여 쉽게 얻을 수 있고, 음의 군지연(NGD) 시간은 여파기를 구성하는 공진기에 저항을 삽입하여 얻을 수 있다.
- [0023] 본 발명에서 제안하는 음의 군지연 여파기(NGDF)는 분석 결과를 통해 온도 변화에 덜 민감하다는 것을 알 수 있다.
- [0024] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 대역 억제 여파기(BSF) 설계 기법을 이용한 새로운 설계 기법으로서, 특정 주파수 대역 신호를 감쇄시키는 것에 목적이 있는 것이 아니라 특정 주파수 대역에서 설계 목표로 설정된 위상 특성이 양의 기울기를 갖는 음의 군지연(NGD)을 얻는 것이 목적이다. 이것은 여파기 설계 기법을 이용하되 여파기 기능이 아닌 다른 전기적 특성을 얻는데 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0025] 본 발명에 의한 음의 군지연 여파기(NGDF)는 대역 억제 여파기(BSF)의 설계 기법과, 음의 군지연(NGD) 시간을 갖는 분산 전송 선로를 이용하여 위상 특성이 양의 기울기를 갖는 음의 군지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 한다.
- [0026] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 입·출력단자 사이에 다단으로 연결 설치되는 J-인버터 전송선로들, 상기 입력단자와 처음 단 J-인버터 전송선로 사이와 상기 각 단 J-인버터 전송선로들 사이 및 종단 J-인버터 전송선로와 출력단자 사이에 각각 병렬 연결되는 단락 J-인버터 전송선로들, 상기 각 단락 J-인버터 전송선로들에 연결되는 병렬 RLC 공진기 전송선로들을 포함하는 분산 전송 선로를 이용한 음의 군지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 한다.
- [0027] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 음의 군지연 회로(NGDC) 입·출력단에 입·출력 임피던스 정합을 위한 입·출력 임피던스 변환 전송선로를 각각 삽입 연결하여 동작 주파수에서의 반사 손실특성이 우수한 입·출력 임피던스 정합 특성을 갖도록 함을 특징으로 한다.
- [0028] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 입·출력단자 사이에 서로 다른 중심주파수를 가지는 제1 정합 음의 군지연 회로와 제2 정합 음의 군지연 회로를 서로 직렬 연결하여 음의 군지연(NGD) 대역폭이 확장된 분산 전송 선로를 이용한 광대역 정합 음의 군지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 한다.
- [0029] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 음의 군지연 회로(NGDC) 입·출력단에 입·출력 임피던스 정합을 위한 서로 다른 구성의 입·출력 임피던스 변환 전송선로를 각각 삽입 연결하여 광대역 정합 특성을 갖도록 함을 특징으로 한다.
- [0030] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 서로 다른 중심주파수를 가지는 제1 정합 음의 군지연 회로와 제2 정합 음의 군지연 회로의 구성이 J-인버터 전송선로와 상기 각 J-인버터 전송선로의 양 단에 각각 단락 연결되는 단락 J-인버터 전송선로와 상기 각 단락 J-인버터 전송선로에 연결되는 병렬 LC 공진기 전송선로로 구성되는 광대역 정합 음의 군지연 회로(NGDC)를 구성하는 것을 특징으로 한다.
- [0031] 본 발명의 음의 군지연 회로(NGDC)를 구성하는 상기 J-인버터 전송선로들과 상기 단락 J-인버터 전송선로들 및 상기 병렬 RLC 공진기 전송선로들은 공히  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스를 갖는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 음의 군지연 회로(NGDC) 입·출력단에 각각 삽입 연결되는 입·출력 임피던스 변환 전송선로가  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스를 갖는 동일한 구조의 입·출력 정합 회로로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0033] 본 발명의 음의 군지연 여파기(NGDF)는 중심 주파수가 서로 약간 다른 2개의 제1 정합 음의 군지연 회로와 제2 정합 음의 군지연 회로를 직렬 연결하여 광대역의 음의 군지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 한다.



- [0034] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 상기 음의 균지연 회로(NGDC) 입·출력단에 각각 삽입 연결되는 입·출력 임피던스 변환 전송선로가  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스를 갖는 서로 다른 구성의 입·출력 정합 회로로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0035] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 상기 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성하는 J-인버터 전송선로의 입력단에 입력 임피던스의 유도 리액턴스(inductive reactance)를 보상(상쇄)하기 위한 전송선로를 단락 J-인버터 전송선로에 접속되도록 삽입 연결함과 동시에, 상기 제2 정합 음의 균지연 회로를 구성하는 J-인버터 전송선로의 출력단에 출력 임피던스의 용량 리액턴스(capacitive reactance)를 보상(상쇄)하기 위한 전송선로를 단락 J-인버터 전송선로에 접속되도록 삽입 연결함을 특징으로 한다.
- [0036] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 입력 임피던스의 유도 리액턴스를 보상하기 위한 전송선로는 개방(open)된 전송선로이고, 출력 임피던스의 용량 리액턴스를 보상하기 위한 전송선로는 단락(short)된 전송선로로 구성함을 특징으로 한다.
- [0037] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성하는 분산 전송선로로 박막도체를 사용하거나 반도체를 유전체로 이용하는 프린트 배선 기술로 만들어지는 전송선로, 가늘고 긴 평평한 도체와 폭이 넓은 도체를 유전체로 고정시킨 스트립 전송선로, 마이크로파 회로를 위한 마이크로스트립 선로 중 어느 하나인 것을 특징으로 한다.
- [0038] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 J-인버터(어드미턴스 인버터)와 단락 J-인버터와 병렬 RLC 공진회로를 기본 구성으로 하는 대역 억제 여파기(BSF)의 신호 감쇄 특성을 이용하여 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성함을 특징으로 한다.
- [0039] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)와 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>2</sub>)가 2 이상의 여파기 단수(N)를 가지는 음의 균지연회로(NGDC)인 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

- [0040] 본 발명의 음의 균지연 여파기는 온도 변화에 따른 특성 변화가 덜 민감하고, 입·출력 반사손실이 크게 개선되며, 음이 균지연(NGD) 주파수 대역폭이 크게 확장되고 제작이 쉬워 여러 무선 통신 시스템에 적용할 수 있는 이점이 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0041] 도 1의 (a) : J-인버터(어드미턴스 인버터)를 적용한 버터워스(Butterworth) 저역 통과 여파기(LPF)의 기본 블록도,
- 도 1의 (b) : 저역 통과 여파기(LPF)의 주파수 응답 특성도,
- 도 2의 (a) : J-인버터와 직렬 RLC 공진회로로 구성(BSF)된 음의 균지연 여파기(NGDF) 구조도,
- 도 2의 (b) : J-인버터와 병렬 RLC 공진회로로 구성(BSF)된 음의 균지연 여파기(NGDF) 구조도,
- 도 3 : 여파기 단수에 따른 보정 계수 변화도,
- 도 4의 (a) : 2단 기준 대역 억제 여파기(BSF)와 음의 균지연 여파기(NGDF)의 균지연 및 전달 특성 비교도,
- 도 4의 (b) : 2단 기준 대역 억제 여파기(BSF)와 음의 균지연 여파기(NGDF)의 신호 전달 계수(S<sub>21</sub>)의 위상 특성 비교도도,
- 도 5 : 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)의 단수에 따른 균지연(GD) 및 신호 전달 계수(S<sub>21</sub>) 특성 비교도,
- 도 6의 (a) : 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)의 5%의 저항 변화에 따른 균지연 및 신호 전달 계수(S<sub>21</sub>) 성능 변화 특성도(단수 N=2 일 때),
- 도 6의 (b) : 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)의 5%의 저항 변화에 따른 균지연 및 신호 전달 계수(S<sub>21</sub>) 성능 변화 특성도(단수 N=3 일 때),
- 도 7 : 분산 전송 선로를 이용한 본 발명의 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 구성도,

- 도 8의 (a) : 본 발명의 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 구성도로서 회로 블록다이어그램,
- 도 8의 (b) : 본 발명의 분산 전송 선로로 구현된 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 구성도,
- 도 9 : 본 발명의 정합/부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 균지연 및 신호 전달 계수( $S_{21}$ ) 특성 비교도(단수  $N=2$  일 때),
- 도 10 : 본 발명의 정합/부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 반사 특성 비교도(단수  $N=2$  일 때),
- 도 11 : 본 발명의 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 시뮬레이션 및 측정 결과도(단수  $N=2$  일 때),
- 도 12의 (a) : 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF) 일 예시 제작 샘플 사진으로서 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 실시 예, 단수  $N=2$  일 때,
- 도 12의 (b) : 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF) 일 예시 제작 샘플 사진으로서 서로 다른 중심주파수를 갖는 두 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)(NGDC<sub>2</sub>)를 직렬 연결한 실시 예,
- 도 13 : 본 발명에서 단수  $N=4$  및 5인 음의 균지연 여파기(NGDF)들과 서로 다른 주파수에서 설계된 두 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)(NGDC<sub>2</sub>)를 직렬 연결한 음의 균지연 여파기(NGDF)의 시뮬레이션 및 측정 결과도,
- 도 14 : 본 발명에서 단수  $N=2$ 인 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 균지연 및 신호 전달 계수( $S_{21}$ )의 시뮬레이션 및 측정 결과도,
- 도 15 : 본 발명에서 단수  $N=2$ 인 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 반사 특성 시뮬레이션 및 측정 결과도,
- 도 16 : 본 발명의 단수  $N=2$ 인 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 일 예시 제작 샘플 사진,
- 도 17 : 본 발명에서 서로 다른 중심 주파수에서 설계된 두 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)(NGDC<sub>2</sub>)를 직렬 연결한 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 구성도,
- 도 18 : 본 발명에서 서로 다른 중심 주파수에서 설계된 도 17의 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 시뮬레이션 및 측정 결과도,
- 도 19 : 본 발명에서 서로 다른 중심 주파수에서 설계된 도 17의 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 반사 손실 특성 시뮬레이션 및 측정 결과도,

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0042] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF) 구성은 다음과 같다.
- [0043] 본 발명에 따른 음의 균지연 여파기(NGDF)는 대역 억제 여파기(BSF)의 설계 기법을 이용하며, 음의 균지연(NGD) 시간을 갖는 분산 전송 선로를 이용하여 위상 특성이 양의 기울기를 갖는 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성한다.
- [0044] 도 2에서 보이는 바와 같이, 본 발명의 음의 균지연 회로(NGDC)에서 이용하는 대역 억제 여파기(BSF)의 기본 구조는 J-인버터[( $J_{12}$ ) $\cdots$ ( $J_{N-1,N}$ ),  $N$ 은 2이상의 양의 정수]와 단락 J-인버터[( $J_1$ ) $\cdots$ ( $J_N$ ),  $N$ 은 양의 정수]와 병렬 RLC 공진회로[( $RC_1$ ) $\cdots$ ( $RC_N$ ),  $N$ 은 양의 정수]를 포함한다.
- [0045] 또한, 본 발명의 음의 균지연 회로(NGDC)에서 이용하는 분산 전송 선로는 박막도체(薄膜導體)를 사용하거나 반도체를 유전체(誘電體)로 이용하는 프린트 배선 기술로 만들어지는 전송선로(電送線路), 또는 가늘고 긴 평평한 도체와 폭이 넓은 도체를 유전체로 고정된 스트립 전송선로, 또는 마이크로파 회로를 위한 마이크로스트립 선로(microstrip line)를 포함한다.
- [0046] 본 발명의 음의 균지연 회로(NGDC)는 도 7의 도시와 같이 입력단자(Port 1)와 출력단자(Port 2) 사이에 다단으로 직렬 연결되는 J-인버터 전송선로[( $J_{12}$ ) $\cdots$ ( $J_{N-1,N}$ ),  $N$ 은 2 이상의 양의 정수]들과, 상기 각 J-인버터 전송선로[( $J_{12}$ ) $\cdots$ ( $J_{N-1,N}$ )]들과 단락 연결되는 단락 J-인버터 전송선로[( $J_1$ ) $\cdots$ ( $J_N$ ),  $N$ 은 양의 정수]들과, 상기 각 단락 J-인버터 전송선로[( $J_1$ ) $\cdots$ ( $J_N$ )]들과 연결되는 병렬 RLC 공진기 전송선로[( $LC_1$ ) $\cdots$ ( $LC_N$ ),  $N$ 은 양의 정수]들을 포함하여 구성된다.
- [0047] 상기 J-인버터 전송선로[( $J_{12}$ ) $\cdots$ ( $J_{N-1,N}$ )]들은  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스[( $Z_{12}$ ) $\cdots$ ( $Z_{N-1,N}$ ),  $N$ 은 2 이상의

양의 정수]를 갖는다.

- [0048] 상기 각 단락 J-인버터 전송선로[( $J_1$ )...( $J_N$ )]들은 상기 입력단자(Port 1)와 처음 단 J-인버터 전송선로( $J_{12}$ ) 사이와 상기 각 단 J-인버터 전송선로[( $J_{12}$ )...( $J_{N-1,N}$ )]들 사이 및 중단 J-인버터 전송선로( $J_{N-1,N}$ )와 출력단자(Port 2) 사이에 각각 단락 연결되며,  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스[( $Z_{J1}$ )...( $Z_{JN}$ ), N은 양의 정수]를 갖는다.
- [0049] 상기 병렬 RLC 공진기 전송선로[( $LC_1$ )...( $LC_N$ )]들은 상기 각 단락 J-인버터 전송선로[( $J_1$ )...( $J_N$ )]들에 연결되며  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스[( $Z_1$ )...( $Z_N$ ), N은 양의 정수]를 갖는다.
- [0050] 상기 각 단락 J-인버터 전송선로[( $J_1$ )...( $J_N$ )]들과 상기 병렬 RLC 공진기 전송선로[( $LC_1$ )...( $LC_N$ )]들 사이에 연결되는  $R_1$ ...(N은 양의 정수)은 저항이다.
- [0051] 본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 도 8의 (a) 및 도 8의 (b)의 도시와 같이 입·출력단에 각각 입·출력 임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )를 삽입 연결하여 동작 주파수에서의 반사 특성이 우수한 입·출력 임피던스 정합 특성을 가진다. 상기 입·출력 임피던스 변환 전송선로(4)는  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스( $Z_T$ )를 갖는다.
- [0052] 상기 음의 균지연회로(NGDC) 입·출력단에 각각 삽입 연결되는 입·출력 임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )는  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스( $Z_T$ )를 갖는 동일한 구조의 입·출력 정합 회로로 구성된다.
- [0053] 상기 각 단락 J-인버터 전송선로[( $J_1$ )...( $J_N$ )]들과 상기 병렬 RLC 공진기 전송선로[( $LC_1$ )...(N은 양의 정수)]들 사이에 연결되는  $R_1$ ...(N은 양의 정수)은 저항이다.
- [0054] 본 발명의 음이 균지연 여파기(NGDF)는 도 12의 (b)의 제작 샘플 사진 및 도 17의 도시에서 보듯이, 서로 다른 중심주파( $f_1$ )( $f_2$ )수를 가지는 2개의 제1 정합 음의 균지연회로(NGDC<sub>1</sub>)와 제2 정합 음의 균지연회로(NGDC<sub>2</sub>)를 서로 직렬 연결하여 음의 균지연(NGD) 대역폭이 확장된 광대역 정합 특성을 갖는 음의 균지연 여파기(NGDF)를 구성한다.
- [0055] 본 발명의 음이 균지연 여파기(NGDF)는 상기 광대역 정합 음의 균지연 회로(NGDC) 입·출력단에 입·출력 임피던스 정합을 위한 서로 다른 구성의 입·출력 임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )가 각각 삽입 연결되어 광대역 및 입·출력 임피던스 정합 특성을 갖는다.
- [0056] 상기 광대역 정합 음의 균지연 회로(NGDC)를 구성하는 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)는 J-인버터 전송선로( $J_{12}$ )와 상기 J-인버터 전송선로( $J_{12}$ )의 양 단에 각각 병렬 연결되는 단락 J-인버터 전송선로( $J_1$ )( $J_2$ )와 상기 각 단락 J-인버터 전송선로( $J_1$ )( $J_2$ )에 연결되는 병렬 RLC 공진기 전송선로( $LC_1$ )( $LC_2$ )로 구성되며, 상기 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>2</sub>)는 J-인버터 전송선로( $J_{12}'$ )와 상기 J-인버터 전송선로( $J_{12}'$ )의 양 단에 각각 병렬 연결되는 단락 J-인버터 전송선로( $J_1'$ )( $J_2'$ )와 상기 각 단락 J-인버터 전송선로( $J_1'$ )( $J_2'$ )에 연결되는 병렬 RLC 공진기 전송선로( $LC_1'$ )( $LC_2'$ )로 구성된다.
- [0057] 상기 2개의 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)와 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>2</sub>)는 서로 약간 다른 중심 주파수( $f_1 = 1.940$  GHz)( $f_2 = 1.984$  GHz)를 갖도록 설계된다.
- [0058] 상기 음의 균지연 회로(NGDC) 입·출력단에 각각 삽입 연결되는 입·출력 임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )는  $\lambda/4$  전송선로이고 특성 임피던스( $Z_T$ )를 갖는 서로 다른 구성의 입·출력 정합 회로로 구성된다.
- [0059] 상기 제1 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)를 구성하는 J-인버터 전송선로( $J_{12}$ )의 입력단에 입력 임피던스의 유도 리액턴스(inductive reactance)를 보상(상쇄)하기 위한 전송선로( $ML_2$ )를 단락 J-인버터 전송선로( $J_1$ )에 접속되도록 삽입 연결되며, 동시에 상기 제2 정합 음의 균지연회로(NGDC<sub>2</sub>)를 구성하는 J-인버터 전송선로( $J_{12}'$ )의 출력단에 출력 임피던스의 용량 리액턴스(capacitive reactance)를 보상(상쇄)하기 위한 전송선로( $ML_2'$ )를 단락 J-

인버터 전송선로( $J_2'$ )에 접속되도록 삽입 연결된다.

[0060] 그리고 상기 입력 임피던스의 유도 리액턴스를 보상하기 위한 전송선로( $ML_2$ )는 개방(open)된 전송선로이고, 상기 출력 임피던스의 용량 리액턴스를 보상하기 위한 전송선로( $ML_2'$ )는 단락(short)된 전송선로이다.

[0061] 상기 각 단락 J-인버터 전송선로( $J_1$ )( $J_2$ )( $J_1'$ )( $J_2'$ )와 상기 병렬 RLC 공진기 전송선로( $LC_1$ )( $LC_2$ )( $LC_1'$ )( $LC_2'$ ) 사이에 연결되는  $R_1 \dots R_N$ ( $N$ 은 양의 정수)은 저항이다.

[0062] 본 발명의 음의 균지연 회로(NGDC)에서 이용하는 대역 억제 여파기(BSF)의 기본 구성은 J-인버터[( $J_{I_{12}}$ )...( $J_{I_{N-1,N}}$ ),  $N$ 은 2 이상의 양의 정수]와 단락 J-인버터[( $J_{I_1}$ )...( $J_{I_N}$ ),  $N$ 은 양의 정수]와 병렬 RLC 공진회로[( $RC_1$ )...( $RC_N$ ),  $N$ 은 양의 정수]를 포함한다.

[0063] 이하, 본 발명을 구성하는 음의 균지연 여파기(NGDF)에 대한 이론 및 설계에 필요한 여파기의 소자 값을 결정하는 방법과 성능 저하 요인 및 분산 전송 선로를 이용한 음의 균지연 회로(NGDC) 구현에 관해서 시뮬레이션 및 측정 결과를 참조하여 구체적으로 설명한다.

[0064] 1. 설계이론

[0065] A. 설계 일반식

[0066] 도 1의 (a) 및 도 1의 (b)는 J-인버터를 이용한 버터워스(Butterworth) 저역 통과 여파기(LPF)의 기본 블록도와 주파수 응답 특성을 나타낸다. 이 회로의 소자 값은 다음과 같은 수학적 식 2를 통해 얻을 수 있다<sup>[27]</sup>.

**수학적 식 2**

[0067] 
$$J_{r,r+1} = 1$$

[0068] 
$$g_r = 2 \sin \left[ \frac{(2r - 1) \pi}{2N} \right] \quad (b)$$

[0069] 
$$r = 1, \dots, N \quad (c)$$

[0070] 여기서  $N$ 은 여파기의 단수를 의미한다. 이 저역 통과 여파기(LPF)에 다음의 주파수 변환식을 적용하고 단락(shunt) 공진기에 저항을 삽입하면 도 2의 (a)와 같은 음의 균지연 여파기(NGDF) 블록으로 변환할 수 있다<sup>[27]-[28]</sup>.

**수학적 식 3**

[0071] 
$$\frac{1}{\omega'} = \frac{1}{\Delta} \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

[0072] 이때,  $\Delta$ 와  $\omega_0$ 는 각각 3-dB 주파수 대역폭과 중심 각주파수를 의미한다.

[0073] 도 2의 (a) 도시의 음의 균지연 여파기(NGDF) 소자 값들은 다음의 수학적 식 4와 5를 이용하여 구할 수 있다.

수학식 4

$$C_{Fr} = \frac{\Delta g_r}{\omega_0 Z_0}$$

[0074]

수학식 5

$$L_{Fr} = \frac{Z_0}{\omega_0 \Delta g_r}$$

[0075]

[0076] 원하는 음의 군지연(NGD) 시간을 얻기 위해 단락 LC 공진기에 특정 값의 저항을 삽입하면 되는데, 저항값은 다음의 수학식 6과 같다.

수학식 6

$$R_{Fr} = -\frac{Z_0}{4} + \sqrt{\frac{Z_0^2}{16} - \frac{Z_0 L_{Fr}}{\alpha \tau_g}}$$

[0077]

[0078] 여기서  $Z_0$ ,  $\tau_g$ ,  $a$  각각 종단 단자(port) 임피던스, 군지연 시간, 보정 계수이다. J-인버터 값( $J_{r,r+1}$ )과  $r$ 은 수학식 2의  $a$ 와  $c$ 에 나타났다. 각 공진기는 군지연(GD) 시간에 기여를 하는데, 여파기의 단수  $N$ 이 증가함에 따라 전체 회로의 군지연(GD) 시간을 필요 이상으로 증가시키므로 보정 계수  $a$ 를 수학식 6에 적용하여 정확한 저항의 값을 얻어야 한다.

[0079] 보정 계수  $a$ 는 수학식 6을 이용하여 여파기의 필요한 음의 군지연(NGD) 시간에 따른 정확한 저항값을 비교하여 얻었다. 도 3은 보정 계수를  $a=1$ 로 가정한 수학식 6과 여파기의 저항값에 따른 음의 군지연(NGD) 시간 변화를 비교하여 나타낸 그래프이다.

[0080] 여기서 추출된 값을 사용하여 단수( $N$ )에 따른  $a$ 값을 수식화하면 다음과 같이 표현된다.

수학식 7

$$\alpha = \alpha_0 + a_1 e^{-(N-b_0)/b_1}$$

[0081]

[0082] 여기서 각 변수들은  $a_0=0.13271$ ,  $a_1=1.78864$ ,  $b_0=0.25028$ ,  $b_1=1.02477$ 이다.

[0083] 도 3에서 추출된 값과 수학식 7에 의한 그래프를 같이 표현하였고 두 값이 일치함을 알 수 있다. 그래프에서는 여파기 단수  $N$ 이 증가함에 따라 보정계수  $a$ 가 점점 작아짐을 알 수 있다.

[0084] 도 2의 (a)에 제시된 음의 군지연 여파기(NGDF) 구조는 단락 직렬 공진기의 구조이므로 이것을 전송선로를 이용하여 커패시턴스나 인덕턴스 값을 구현하기 어렵기 때문에 여파기 구현에 적합하지 않다.

[0085] 따라서 실현 가능한 소자 값을 구현하기 위해 추가적인 J-인버터(어드미턴스 인버터)를 단락 회로에 삽입하면 분산 소자를 이용해 구현할 수 있다.

[0086] 도 2의 (b)에 나타난 수정된 음의 군지연 여파기(NGDF) 구성의 단락 공진 회로는 도 2의 (a)의 단락 공진기의 입력 어드미턴스 값과 같도록 했다.

[0087] 따라서 도 2의 (b)의 수정된 음의 군지연 여파기(NGDF)에 나타난 소자들의 값은 다음과 같이 얻을 수 있다.

수학식 8

$$L_r = \frac{C_{Fr}}{J_r^2}$$

[0088]

수학식 9

$$C_r = L_{Fr} J_r^2$$

[0089]

수학식 10

$$R_r = \frac{1}{R_{Fr} J_r^2}$$

[0090]

[0091] 여기서  $J_r$ 은 J-인버터(어드미턴스 인버터)의 스케일링 계수이고,  $r$ 은 수학식 2의 c에서 표현한 것과 같다.  $J_r=1$ 은  $L_r$ 과  $C_r$ 이 실현 가능한 값을 갖도록 임의로 선택할 수 있는 값이다.

표 1

음의 균지연 여파기(NGDF) 특성

LPF prototype network	Filter stage (N)	LPF prototype elements values	Center frequency $f_0$ (GHz)	3-dB BW (MHz)	NGD $\tau_g$ (ns)
Butterworth	2	$g_0=g_3=1.000$ $g_1=g_2=1.4142$	1.962	200	-7
Butterworth	3	$g_0=g_4=1.000$ $g_1=g_3=1.000$ $g_2=2.000$	1.962	200	-7

[0092]

[0093] 이론적 분석의 유효성을 확인하기 위해 표 1에 나타난 음의 균지연 여파기(NGDF)의 사양에 맞추어 설계와 시뮬레이션을 수행하였다.

[0094] 버터워스(Butterworth) 저역 통과 여파기(LPF)는 상대적으로 평평한 균지연 특성을 갖는다. 도 3에서 단수 N=2인 경우 보정계수  $a=0.4335$ , 여파기 단수 N=3인 경우 보정계수  $a=0.274$ 로 주어지고, 여파기 단수(N)에 따른 소자 값들은 표 2와 표 3에 나타냈다.

표 2

N=2 인 경우 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 소자 값

Element values of Fig. 2(a)				Element values of Fig. 2(b)				
$J_{12}$	$C_{F1}=C_{F2}$ (pF)	$L_{F1}=L_{F2}$ (nH)	$R_{F1}=R_{F2}$ ( $\Omega$ )	$J_{12}$	$J_1=J_2$	$C_1=C_2$ (pF)	$L_1=L_2$ (nH)	$R_1=R_2$ ( $\Omega$ )
1	0.2337	28.1453	12.3677	1	0.0083	1.9389	3.3923	1173.69

[0095]

표 3

N=3 인 경우 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 소자 값

Element values of Fig. 2(a)				Element values of Fig. 2(b)				
$J_{12}$	$C_{F1}=C_{F3}$ (pF)	$L_{F1}=L_{F3}$ (nH)	$R_{F1}=R_{F3}$ ( $\Omega$ )	$J_{12}$	$J_1=J_2$	$C_1=C_3$ (pF)	$L_1=L_3$ (nH)	$R_1=R_3$ ( $\Omega$ )
1	0.1653	39.8031	22.0524	1	0.0083	2.7420	2.3994	658.25
$J_{23}$	$C_{F2}$ (pF)	$L_{F2}$ (nH)	$R_{F2}$ ( $\Omega$ )	$J_{23}$	$J_3$	$C_2$ (pF)	$L_2$ (nH)	$R_2$ ( $\Omega$ )
1	0.3306	19.9015	13.4818	1	0.0083	1.3710	4.7989	1076.70

[0096]

[0097] 표 2와 표 3에 나타낸 도 2의 (a)에 필요한  $L_{Fr}$ 과  $C_{Fr}$  소자 값을 보면 마이크로스트립 선로를 이용해 구현하기에 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

[0098] 하지만 도 2의 (b) 구성의 소자 값을 보면  $J_r$ 에 의해 소자 값이 조절되어 마이크로스트립 선로로 구현하는데 적합함을 알 수 있다.

[0099] 도 4의 (a)는 2단 (N=2) 음의 균지연 여파기(NGDF)와 기존의 대역 억제 여파기(BSF)의 균지연(GD) 및 신호 전달 계수( $S_{21}$ ) 특성을 비교하였다. 본 발명에서 제안하는 음의 균지연 여파기(NGDF)는 중심주파수 1.962 GHz에서 -7 ns의 균지연(GD) 속도와 22.58 dB의 신호 감쇄 특성을 갖는다. 이때, 나타나는 신호 감쇄 특성은 범용 증폭기를 이용하여 보충할 수 있다.

[0100] 따라서 작은 신호 감쇄 특성은 증폭기의 이득 부담뿐만 아니라 대역 외 잡음을 감소시키고 음의 균지연 여파기(NGDF)를 RF 시스템에 적용할 경우 안정적으로 동작하도록 한다<sup>[20]</sup>.

[0101] 음의 균지연(NGD) 대역폭(bandwidth:  $BW=f_2-f_1$ )은 균지연(GD)이 0 ns인 주파수 대역폭을 기준으로 하였고, 이를 도 4의 (a)에 표시했다. 이 대역폭은 125 MHz로 일반적인 3-dB 대역폭보다 약간 작은 편이다.

[0102] 또한, 두 회로의 위상 특성을 도 4의 (b)에 나타냈다. 각 회로의 신호 전달 계수( $S_{21}$ )의 위상 특성을 비교해 보면, 기존의 대역 억제 여파기(BSF)의 위상은 주파수가 증가함에 따라 감소하는 음의 기울기를 갖고 있지만, 본 발명에서 제안하는 음의 균지연 여파기(NGDF)는 음의 균지연(NGD)이 나타나는 대역에서 양의 기울기를 갖고 있다.

[0103] 도 5는 본 발명에서 제안하는 음의 균지연 여파기(NGDF)의 단수(N)에 따른 균지연(GD) 및 신호 감쇄 특성 비교

한 것이다. 음의 균지연(NGD) 대역폭은 단수 N이 증가함에 따라 증가되나, 같은 음의 균지연(NGD) 시간 조건에서 신호 감쇄 특성( $S_{21}$ )이 증가됨을 알 수 있다.

[0104] 따라서 음의 균지연(NGD) 시간과 신호 감쇄 특성, 대역폭, 단수 N을 동시에 검토함으로써 최적의 동작 조건 및 특성을 얻을 수 있다.

[0105] B. 특성 저하 요소 분석

[0106] 저항값은 온도의 따라 약간의 변화를 갖는데 이를 다음과 같이 표현할 수 있다.

**수학식 11**

$$[0107] \frac{\Delta R}{R_0} = \delta \Delta T$$

[0108] 여기서  $\delta$  및  $R_0$ ,  $\Delta R$ ,  $\Delta T$ 는 각각 온도 계수, 초기 저항값, 저항 변화량, 그리고 온도 변화량이다.

[0109] 도 6은 단수 N이 2와 3인 다른 두 음의 균지연 여파기(NGDF)의 저항값에  $\pm 5\%$  변화가 동반될 때의 특성 변화를 나타내고 있다. 도면에 나타나 있듯이 균지연(GD) 및 신호 감쇄 변화량은 기준 값을 중심으로  $\pm 0.9$  ns 와  $\pm 1.9$  dB의 변화를 갖는다.

[0110] 그러나 기존의 음의 균지연(NGD) 회로에서는 위의 저항값 변화에 따른 균지연(GD) 및 신호 감쇄 특성이 40 ns 와 22 dB로 매우 큰 것을 알 수 있다.

[0111] 따라서 본 발명에서 제안하는 음의 균지연 여파기(NGDF)가 온도에 따른 특성 변화가 덜 민감함을 알 수 있다.

[0112] C. 분산소자인 전송선로를 이용한 구현

[0113]  $\lambda/4$  전송선로는 J-인버터의 한 종류이다.  $\lambda/4$  전송선로 및 J-인버터의 동일성은 두 회로의 ABCD 파라미터들을 이용하여 얻을 수 있다<sup>[26]</sup>.

[0114] 따라서  $\lambda/4$  전송선로를 이용하여 J-인버터 전송선로 $[(J_{12}) \cdots (J_{N-1,N})$ , N은 2 이상의 양의 정수]를 도 7과 같이 구현할 수 있다.

[0115] 또한, 도 2의 (b)에 나타난 단락 병렬 RLC 공진기 전송선로 $[(LC_1) \cdots (LC_N)]$ , N은 양의 정수]를  $\lambda/4$  단락 전송선로를 이용해  $\omega = \omega_0$ 인 각 주파수에서 유사한 특성을 얻을 수 있음을 어드미턴스 함수인 수학식 12와 13을 통해 알 수 있다.

**수학식 12**

$$[0116] Y_{in-LC} = j\omega_0 C \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \approx \pm j2C\Delta\omega$$

**수학식 13**

$$[0117] Y_{in-TLN} = j \frac{\pi}{4Z_N} \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \approx \pm j \frac{\pi \Delta\omega}{2Z_N \omega_0}$$

[0118]  $\omega$ 는  $\omega_0 \pm \Delta \omega$ 이며,  $Z_N$ 은 전송 선로의 특성 임피던스이다. 그러므로  $\omega_0$ 에서 병렬 LC 공진기 $[(LC_1) \cdots (LC_N)]$ 를 특성 임피던스가  $Z_N$ 인  $\lambda/4$  단락 전송선로로 구현할 수 있다. 200 MHz 3-dB 대역폭과 1.962 GHz의 중심주파수에



서  $\tau_g$ 이 -6.5 ns인 음의 균지연 여파기(NGDF)의 구현을 위한 소자 값들을 표 4에 나타냈다.

**표 4**

**전송 선로를 이용한 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 소자의 값(도 7의 구성)**

N	$Z_{12}(\Omega)$	$Z_{J1}=Z_{J2}(\Omega)$	$Z_1=Z_2(\Omega)$	$R_1=R_2(\Omega)$
2	50	100	22.64	660.8

[0119]

[0120]

D. 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)

[0121]

도 4의 (a)와 도 4의 (b)에 이미 나타냈듯이 본 발명에서 제안하는 도 7 예시의 음의 균지연 여파기(NGDF)는 반사 특성이 좋지 않다. 이러한 반사 특성을 개선하기 위한 방법 중 하나는 평형 음의 균지연 여파기(NGDF) 구조이다.

[0122]

그러나 기본적으로 평형 구조는 90° 하이브리드 결합기를 함께 사용하여야 하므로 소자의 수와 전체 크기를 증가시킨다.

[0123]

따라서 간단한 솔루션은 도 8의 (a)와 도 8의 (b)에 나타낸 것과 같이 도 7 구성의 음의 균지연 여파기(NGDF) 양단에 입력 및 출력 임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )]를 삽입하는 것이다.

[0124]

임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )]를 삽입하는 목적은 50Ω의 단자 임피던스를 음의 균지연 여파기(NGDF)(도 7 구성)의 입·출력 임피던스와 정합이 되도록 변화시키는 것이다. 구조가 대칭적이기 때문에 우수(even) 및 기수(odd) 모드 임피던스 분석 방법을 이용해 임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )]의 특성 임피던스  $Z_T$ 를 구할 수 있다. 본 발명에서 제안하는 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 구조의 S-파라미터는 다음의 수학적 식 14의 a 및 b와 같이 얻을 수 있다.

**수학적 식 14**

$$S_{11} = S_{22} = \frac{Z_{ine}Z_{ino} - Z_0^2}{(Z_{ine} + Z_0)(Z_{ino} + Z_0)}$$

[0125]

$$S_{21} = S_{12} = \frac{Z_{ine}Z_0 - Z_{ino}Z_0}{(Z_{ine} + Z_0)(Z_{ino} + Z_0)} \quad (b)$$

[0126]

여기서  $Z_{ine}$  및  $Z_{ino}$ 는 N단의 음의 균지연 여파기(NGDF)의 우수 및 기수 모드 임피던스를 나타낸다. 예를 들어 단수 N=2인 경우 각 임피던스에 대해선 수학적 식 15의 a 및 b와 같이 얻을 수 있다>

**수학적 식 15**

$$Z_{ine} = \frac{Z_T + jZ_T^2 Y_{L1} \tan \beta l}{Z_T Y_{L1} + j \tan \beta l}$$

[0128]

$$Z_{ino} = \frac{Z_T + jZ_T^2 Y_{L2} \tan \beta l}{Z_T Y_{L2} + j \tan \beta l} \quad (b)$$

[0129]

[0130] 여기서  $\beta$ 와  $l$ 은 각각 전파상수 및 전송선로 길이이고  $Y_{L1}$  및  $Y_{L2}$ 는 수학식 16의 a 및 b와 같이 주어진다.

수학식 16

$$Y_{L1} = \frac{Z_{J1} Z_1 \tan \beta l - jZ_{J1} R_1 + jR_1 Z_1 \tan^2 \beta l}{Z_{J1} R_1 Z_1 \tan \beta l + jZ_{J1}^2 Z_1 \tan^2 \beta l + Z_{J1}^2 R_1 \tan \beta l} + j \frac{\tan \frac{\beta l}{2}}{Z_{12}}$$

[0131]

$$Y_{L2} = \frac{Z_{J1} Z_1 \tan \beta l - jZ_{J1} R_1 + jR_1 Z_1 \tan^2 \beta l}{Z_{J1} R_1 Z_1 \tan \beta l + jZ_{J1}^2 Z_1 \tan^2 \beta l + Z_{J1}^2 R_1 \tan \beta l} - j \frac{1}{Z_{12} \tan \frac{\beta l}{2}} \quad (b)$$

[0132]

[0133] 정합 조건을 만족하기 위해선 신호 전달 계수  $S_{11}$  및  $S_{22}$ 가 0이 되어야 한다. 따라서  $f_0$ 에서  $l = \lambda/4$ 를 가정하면 정합을 위한 임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )의 특성 임피던스  $Z_T$  값은 수학식 17과 같이 얻을 수 있다.

수학식 17

$$Z_T = \frac{Z_{J1} (Z_0 Z_{12})^{1/2}}{(Z_{12}^2 R_1^2 + Z_{J1}^4)^{1/4}}$$

[0134]

[0135] 또한, 이 방법은 더 높은 차수의 여파기에서 임피던스 변환 특성을 얻는데 적용할 수도 있다.

[0136] 도 9와 도 10은 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)와 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 특성을 비교한 것이다. 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)와 같은 균지연 특성을 나타내는 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 소자 값은 표 5에 나타나 있다.

표 5

정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 소자 값  
(도8의 (b)의 구성)

N	$Z_{12} (\Omega)$	$Z_{J1}=Z_{J2}(\Omega)$	$Z_1=Z_2 (\Omega)$	$R_1=R_2 (\Omega)$	$Z_T (\Omega)$
2	50	100	22.64	980	22.58

[0137]

[0138] 두 정합/부정합 회로 설계에 있어서 같은 음의 균지연(NGD) 시간을 얻으려면 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 경우 입/출력 단에 연결된 임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )]가 양의 균지연 시간을 가지므로 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)보다 큰 음의 균지연(NGD) 시간을 가지도록 설계해야 한다.

- [0139] 도 10에 나타난 반사 손실 특성을 비교하면 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 특성이 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 특성보다 50 dB 개선된 것을 볼 수 있다.
- [0140] 하지만 음의 균지연(NGD) 대역폭을 보면 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 경우 부정합 음의 균지연(NGDF)와 같은 음의 균지연(NGD) 시간을 가지기 위해 좀더 높은 음의 균지연(NGD) 시간에서 설계가 되어 대역폭이 좀더 작게 나타난다. 음의 균지연 여파기(NGDF) 회로 설계에 있어서 음의 균지연(NGD) 시간이 커질수록 대역폭이 좁게 나타나고 있다.
- [0141] 2. 제작 및 측정 실시 예
- [0142] 본 발명에서 제안하는 회로의 분석 및 특성을 확인하기 위해 표 1의 소자 값들을 이용해 미국(US) 개인 통신 서비스(PCS)의 하향 대역 중심주파수인 1.962 GHz에서 단수 N=2인 음의 균지연 여파기(NGDF) 샘플을 제작하였다.
- [0143] 도 2의 (b)에 나타난 구성의 회로를 제작하였고, 각 소자 값은  $J_{12}=J_{23}=1$ ,  $J_1=J_2=0.01$ ,  $C_1=C_2=2.8153$  pF,  $L_1=L_2=2.337$  nH,  $R_1=R_2=660.8$   $\Omega$ 이다. 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 경우 사용된 소자 값은 표 4를 이용해 분포 소자로 구현하였다. 회로를 제작하는데 사용된 인쇄회로기판(PCB)은 로저스(Rogers)사의 RT/Duroid 5880이고 유전율( $\epsilon_r$ )은 2.2이고 두께는 31 mil이다. 전체 회로 사이즈를 줄이기 위해 J-인버터에 사용된  $\lambda/4$  전송선로는 구부러져 설계하였다. 시뮬레이션을 위해 앤소프트(Ansoft)사의 HFSS 13을 이용하였다.
- [0144] 도 11은 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 시뮬레이션 및 측정 결과이다. 측정 결과는 중심 주파수 1.962 GHz에서 균지연 시간은 -7.3 ns와 신호 감쇄는 22.65 dB로 나타났다. 이때 음의 균지연(NGD) 대역폭은 100 MHz로 3 dB 대역보다 약간 작게 나타났다. 도 11은 시뮬레이션 및 측정 결과들이 잘 일치함을 알 수 있다. 측정된 음의 균지연 여파기(NGDF) 샘플은 도 12의 (a)에 나타나 있다.
- [0145] A. 음의 균지연(NGD) 대역폭 확장
- [0146] 이전 설명에서 본 발명이 제안한 음의 균지연 여파기(NGDF)들은 모두 좁은 음의 균지연(NGD) 대역폭을 가지고 있다. 대역폭을 증가시키는 하나의 방법은 단수 N을 증가시키는 것이다. 하지만 단수 N의 증가에 따른 대역폭의 확장은 도 5에 보였듯이 크지 않다. 다른 방법으로는 서로 다른 주파수에서 설계된 음의 균지연 여파기(NGDF)를 직렬로 연결하는 것이다.
- [0147] 도 13은 약간 다른 중심주파수( $f_1$ )( $f_2$ )에서 설계된 음의 균지연 여파기(NGDF)를 직렬로 연결한 회로의 시뮬레이션 및 측정 결과이다. 또한, 단수 N이 4와 5인 음의 균지연 여파기(NGDF)의 특성도 함께 비교하였다. 중심 주파수가 각각  $f_1=1.940$  GHz 와  $f_2=1.984$  GHz인 두 개의 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)(NGDC<sub>2</sub>)를 직렬로 연결하여  $f_0=1.962$  GHz 를 중심으로 200 MHz의 음의 균지연(NGD) 대역폭을 얻었다.
- [0148] 시뮬레이션 및 측정 결과 또한 잘 일치함을 알 수 있다. 두 개의 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)(NGDC<sub>2</sub>)를 직렬 연결한 음의 균지연 여파기(NGDF)의 측정 결과 최대 -6.5 ns 균지연 특성에서 신호 감쇄 특성은 35.2 dB를 얻었다. 측정 결과 직렬 연결한 음의 균지연 여파기(NGDF) 제작 샘플의 음의 균지연(NGD) 대역폭은 N=5인 음의 균지연 여파기(NGDF) 대역폭보다 넓게 나타났다. 제작된 샘플의 사진은 도 12의 (b)에 나타나 있다.
- [0149] B. 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)
- [0150] 본 발명의 개선된 반사 손실특성을 갖는 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 분석 및 결과를 나타내기 위해 이를 설계 및 측정하였다. 본 발명에서 제안하는 음의 균지연 여파기(NGDF)는 표 1에 나타난 특성인 -6.5 ns를 얻기 위해 -7.5 ns로 설계하였다. 따라서 본 발명에서 제안하는 단수 N=2인 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 소자 값은 저항( $R_1$ ,  $R_2$ )을 제외하고는 표 5에 제시된 부정합 음의 균지연 여파기(NGDF)와 같다.
- [0151] 도 14는 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 균지연 특성 및 신호 감쇄 특성을 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)는 1.961 GHz에서 균지연 시간은 -6.5 ns, 신호 감쇄 특성은 21.5 dB 이다. 하지만 음의 균지연(NGD) 대역폭을 보면 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 경우 양단에 연결된 임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )]의 양의 균지연 시간 때문에 이를 상쇄하기 위해 상대적으로 큰 음의 균지연(NGD) 시간을 갖도록 설계되어 대역폭이 좀더 좁게 되었다.
- [0152] 도 15는 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 반사 손실 특성을 나타내고 있다. 측정된 반사 손실은 1.961 GHz에서

24 dB로 나타났다. 도 16은 제작한 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 샘플 사진이다.

- [0153] 도 17은 대역폭이 증가된 2개의 제1 및 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)( NGDC<sub>2</sub>)를 직렬 연결한 광대역 정합 음의 균지연 여파기(NGDF) 구성을 예시 도시한 것이다. 이 구조에서는 단수 N=2이고 중심 주파수  $f_1$  과  $f_2$  에서 설계된 2개의 제1·제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>와 NGDC<sub>2</sub>)가 서로 직렬 연결되어 있다.
- [0154] 이 구조에서는 입출력 반사 손실을 얻기 위해 먼저 개방/단락 스티브를 고려하지 않고  $f_0=(f_1+f_2)/2$ 에서 입/출력 임피던스( $Z_{in1}$ ,  $Z_{in2}$ )를 구하였다. 이때,  $f_0$ 에서  $Z_{in1}$ 과  $Z_{in2}$ 는 각각  $R_{in1}+jX_{in1}$ 와  $R_{in2}-jX_{in2}$  같은 값을 갖는다.
- [0155] 따라서 특성 임피던스와 전기각이  $Z_{op}$ 와  $\theta_{op}$ 인 개방 스티브를 이용해 리액턴스 ( $jX_{in1}$ ) 성분을 상쇄시켜  $Z_{in1}=R_{in1}$  이 되도록 하였다. 마찬가지로 임피던스와 전기각이  $Z_{sc}$ 와  $\theta_{sc}$ 인 단락 전송선로를 이용해 리액턴스 ( $-jX_{in1}$ ) 성분을 상쇄한 후  $Z_{in2}=R_{in2}$  이 되도록 하였다. 끝으로 순수 저항값인  $R_{in1}$ 와  $R_{in2}$ 를  $\lambda/4$  전송선로를 이용해 중심주파수  $f_0$ 에서  $Z_0$ 로 보이도록 임피던스 변환을 하였다. 이와 같은 방법은 2 이상의 단수를 가지는 직렬 음의 균지연 여파기(NGDF)의 대역폭 확장 방법으로도 적용 가능하다.
- [0156] 본 발명에서 제안하는 서로 다른 중심주파수( $f_1$ )( $f_2$ )를 가지며 서로 직렬 연결된 제1 및 제2 정합 음의 균지연 회로(NGDC<sub>1</sub>)( NGDC<sub>2</sub>)를 포함하는 광대역 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 분석에 따른 설계와 결과를 나타내기 위해 중심주파수  $f_0=1.962$  GHz에서  $\tau_{\text{gmax}}=-6.5$  ns와 음의 균지연(NGD) 대역폭이 200 MHz인 회로를 설계하였다.
- [0157] 이를 위해 먼저 제1 음의 균지연회로(NGDC<sub>1</sub>)와 제2 음의 균지연회로(NGDC<sub>2</sub>)가 각각  $f_1=1.940$  GHz와  $f_2=1.984$  GHz에서 설계되었다. 회로의 구조 및 변수들은 도 17에 나타나 있으며 변수 값들은 저항값을 제외하고 표 4에 나타낸 값들을 이용하였다. 입출력 임피던스의 인덕티브/커패시티브 부분을 상쇄시키기 위한 개방/단락 전송선로 ( $ML_2$ )( $ML_2'$ )의 값은 각각  $Z_{op}=34 \Omega$ ,  $\theta_{op}=36^\circ$  와  $Z_{sc}=80 \Omega$ ,  $\theta_{sc}=25^\circ$  이다. 끝으로  $\lambda/4$  임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )]의 특성 임피던스는  $29.5 \Omega$  이다.
- [0158] 상기 광대역 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 시뮬레이션 및 측정 결과는 도 18에 나타나 있다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 잘 일치하고 있다. 여기서 나타난 회로 특성은 최대 음의 균지연(NGD)이  $-6$  ns, 신호 감쇄 특성이 32.94 dB, 그리고 음의 균지연(NGD) 대역폭은 150 MHz이다. 하지만 정합 직렬 음의 균지연 여파기(NGDF)의 음의 균지연(NGD) 대역폭은  $\lambda/4$  임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로( $ML_1$ )( $ML_1'$ )] 및 개방/단락 전송선로 ( $ML_2$ )( $ML_2'$ )의 양의 균지연 특성 때문에 부정합 직렬 음의 균지연 여파기(NGDF)보다 조금 작게 되었다.
- [0159] 상기 광대역 정합 음의 균지연 여파기(NGDF)의 입/출력 반사 손실 특성은 도 19에 나타났다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 잘 일치하고 있다. 입/출력 반사손실( $S_{11}$ 및  $S_{22}$ )은 중심 주파수 1.962 GHz에선 30 dB로 나타났고, 10 dB 이상 대역은 1.91 -2.01GHz이다. 임피던스 정합 특성은 중심 주파수에서 가장 좋게 설계되었기 때문에 가장 좋은 특성이 나타나고 있다.
- [0160] 또한, 도 18 및 도 19에 나타나듯이 반사 손실 대역폭은 입/출력 임피던스 변환기[임피던스 변환 전송선로 ( $ML_1$ )( $ML_1'$ )]의 협대역 특성 때문에 음의 균지연(NGD) 대역폭보다 조금 작게 나타났다. 하지만 이러한 특성은 광대역 임피던스 변환기를 이용할 경우 개선할 수 있다.
- [0161] 표 6은 본 발명에서 제안한 음의 균지연 여파기(NGDF)들과 기존 회로들의 특성을 비교한 것이다. 음의 균지연(NGD) 시간 및 대역폭은 서로 트레이드 오프 관계이기 때문에 회로 성능을 비교하기 위한 적절한 파라미터로 음의 균지연(NGD) 시간과 대역폭을 곱한 값을 기준으로 하였다. 표 6에 나타난 것과 같이 본 발명에서 제안하는 음의 균지연 여파기(NGDF) 회로들은 기존의 회로들과 비교하여 특성이 향상된 것을 알 수 있다.

표 6

본 발명의 음의 균지연 여파기(NGDF)와 다른 회로들 간의 특성 비교

	Center Frequency $f_0$ (GHz)	Circuit Type	Maximum Achieved NGD Time (ns)	NGD BW (MHz)	$SA_{max}$ (dB)	NGD Time x BW Product
[3]	2.14	Passive	-9	30	-63	0.270
[10]	1	Active	-10	40	30	0.400
[11]	1	Active	-10	40	30	0.400
[12]	1	Active	-2.3	150	2.3	0.345
[15]	4.5	Passive	0.05	3000	-10	0.150
[17]	1.03	Active	-2.3	150	1.68	0.345
[19]	0.454	Active	-1.52	103	0.69	0.156
<b>This Work<sup>I</sup></b>	<b>1.962</b>	<b>Passive</b>	<b>-7.3</b>	<b>100</b>	<b>-22.65</b>	<b>0.730</b>
<b>This Work<sup>II</sup></b>	<b>1.962</b>	<b>Passive</b>	<b>-6.5</b>	<b>200</b>	<b>-35.2</b>	<b>1.300</b>
<b>This Work<sup>III</sup></b>	<b>1.962</b>	<b>Passive</b>	<b>-6.5</b>	<b>90</b>	<b>-21.20</b>	<b>0.585</b>
<b>This Work<sup>IV</sup></b>	<b>1.962</b>	<b>Passive</b>	<b>-6.0</b>	<b>150</b>	<b>-32.94</b>	<b>0.900</b>

$SA_{max}$ : Maximum Signal Attenuation ( $|S_{21}|$ ) at  $f_0$

I : Unmatched NGDF with  $N=2$

II: Unmatched NGDF with cascading two filters operating at different center frequencies

III : Matched NGDF with  $N=2$

IV: Matched NGDF with cascading two filters operating at different center frequencies

[0162]

산업상 이용가능성

[0163]

본 발명의 음의 균지연 여파기는 더 많은 단수의 음의 균지연 여파기 회로 설계에 적용할 경우 쉽게 제작이 가능하여 여러 무선 통신 시스템에 적용할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0164]

NGDC : 음의 균지연 회로

NGDC<sub>1</sub> : 제1 음의 균지연 회로

NGDC<sub>2</sub> : 제2 음의 균지연 회로

BSF : 대역 억제 여파기

J<sub>12</sub>...J<sub>N-1,N</sub> : J-인버터(어드미턴스 인버터)

J<sub>1</sub>...J<sub>N</sub> : 단락 J-인버터

RC<sub>1</sub>...RC<sub>N</sub> : 병렬 RLC 공진회로

Port 1 : 입력단자

Port 2 : 출력단자

$J_{12}, J_{23}, \dots, J_{N-1,N}, J_{12}'$  : J-인버터 전송선로

$J_1, J_2, \dots, J_N, J_1', J_2'$  : 단락 J-인버터 전송선로

$LC_1, \dots, LC_N, LC_1', LC_2'$  : 병렬 RLC 공진기 전송선로

$ML_1, ML_1'$  : 임피던스 변환 전송선로

$ML_2, ML_2'$  : 전송선로

$Z_{12}, \dots, Z_{N-1,N}$  : 특성 임피던스

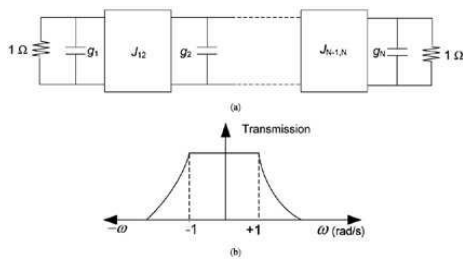
$Z_{J1}, \dots, Z_{JN}$  : 특성 임피던스

$Z_1, \dots, Z_N$  : 특성 임피던스

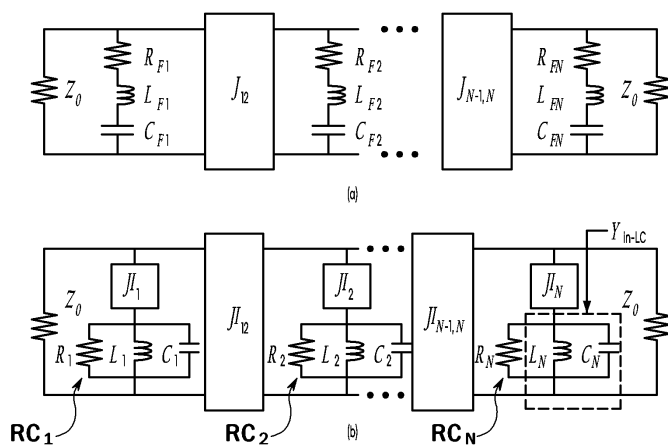
$Z_T$  : 특성 임피던스

도면

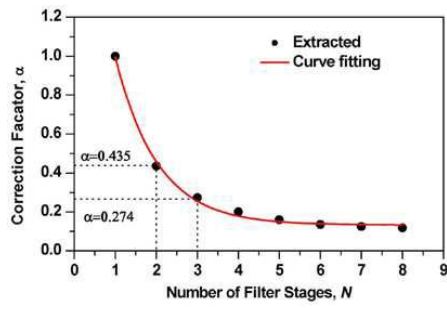
도면1



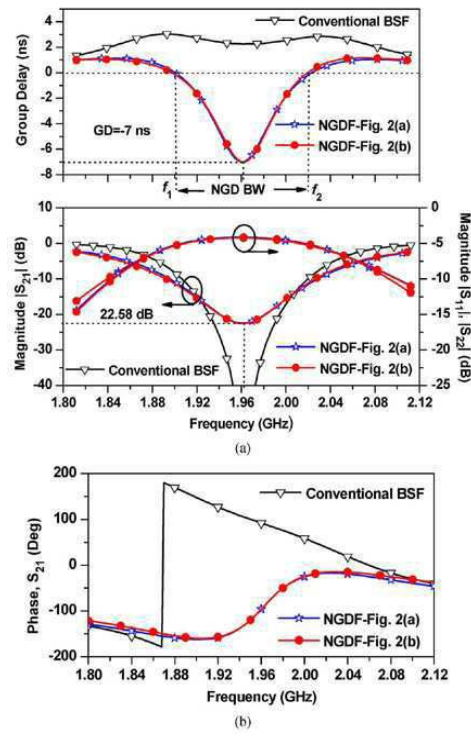
도면2



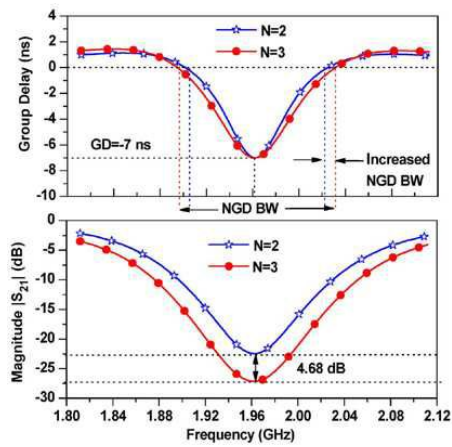
도면3



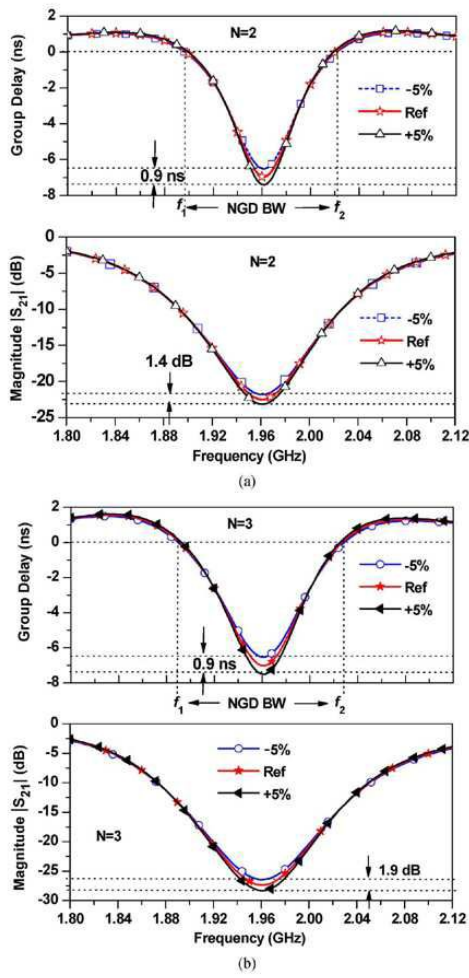
도면4



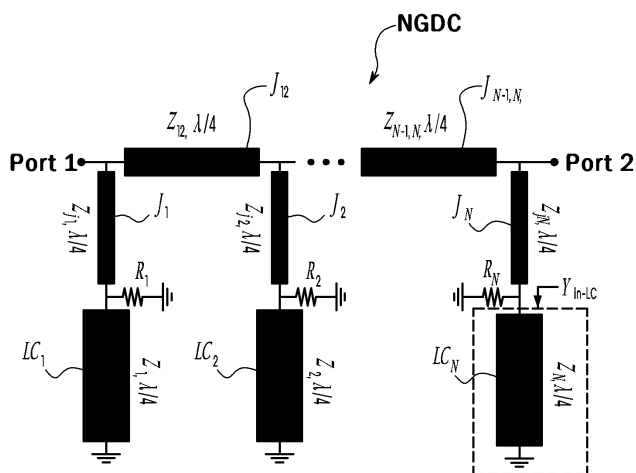
도면5



도면6

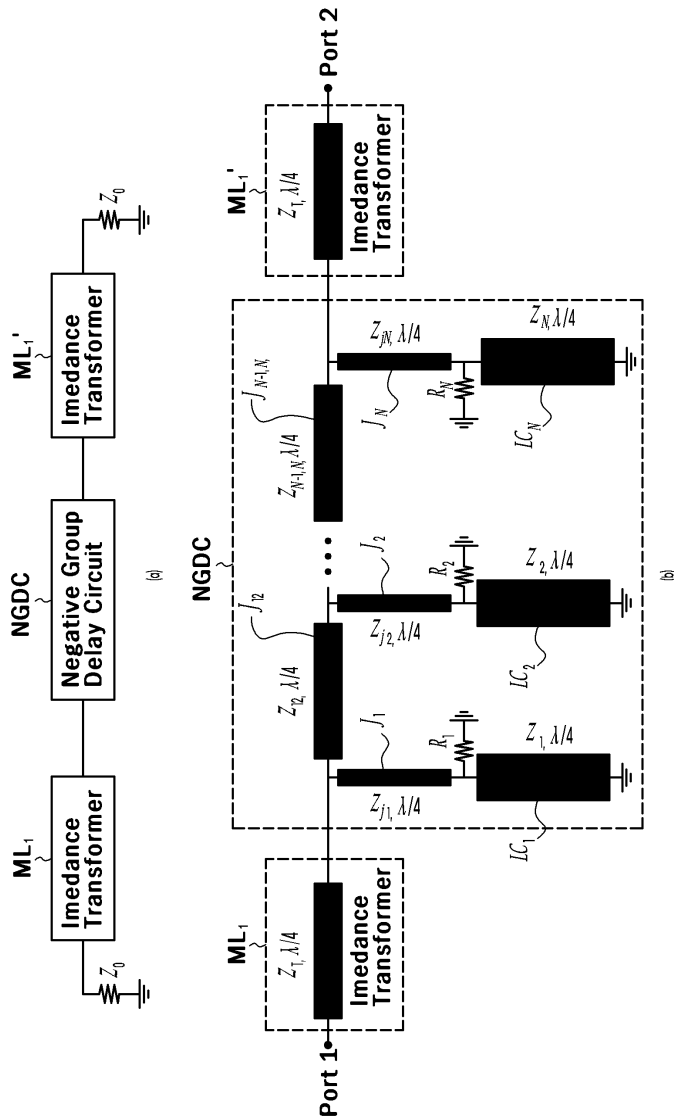


도면7

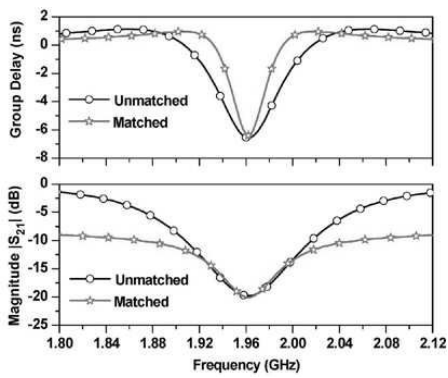




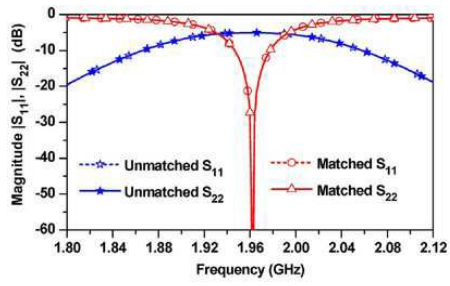
도면8



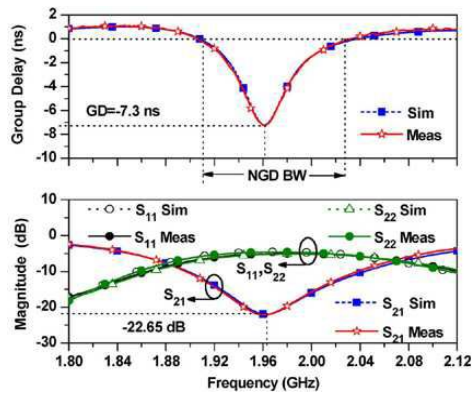
도면9



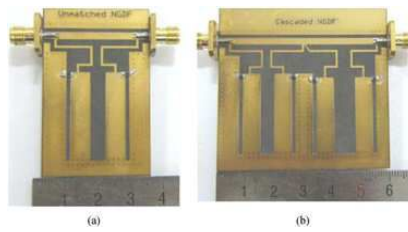
도면10



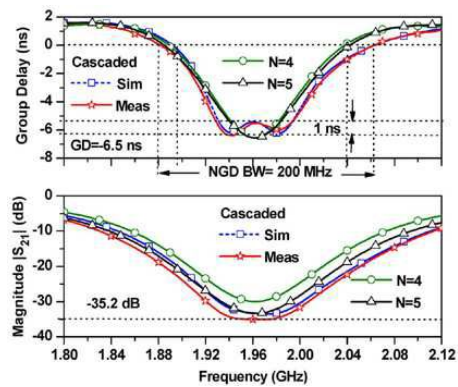
도면11



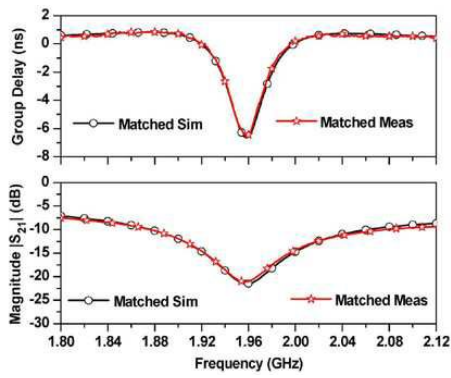
도면12



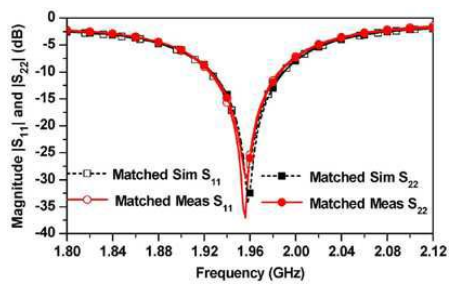
도면13



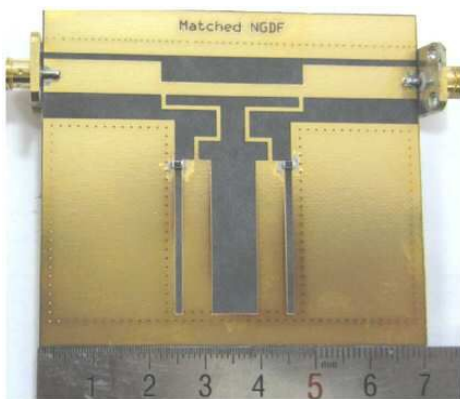
도면14



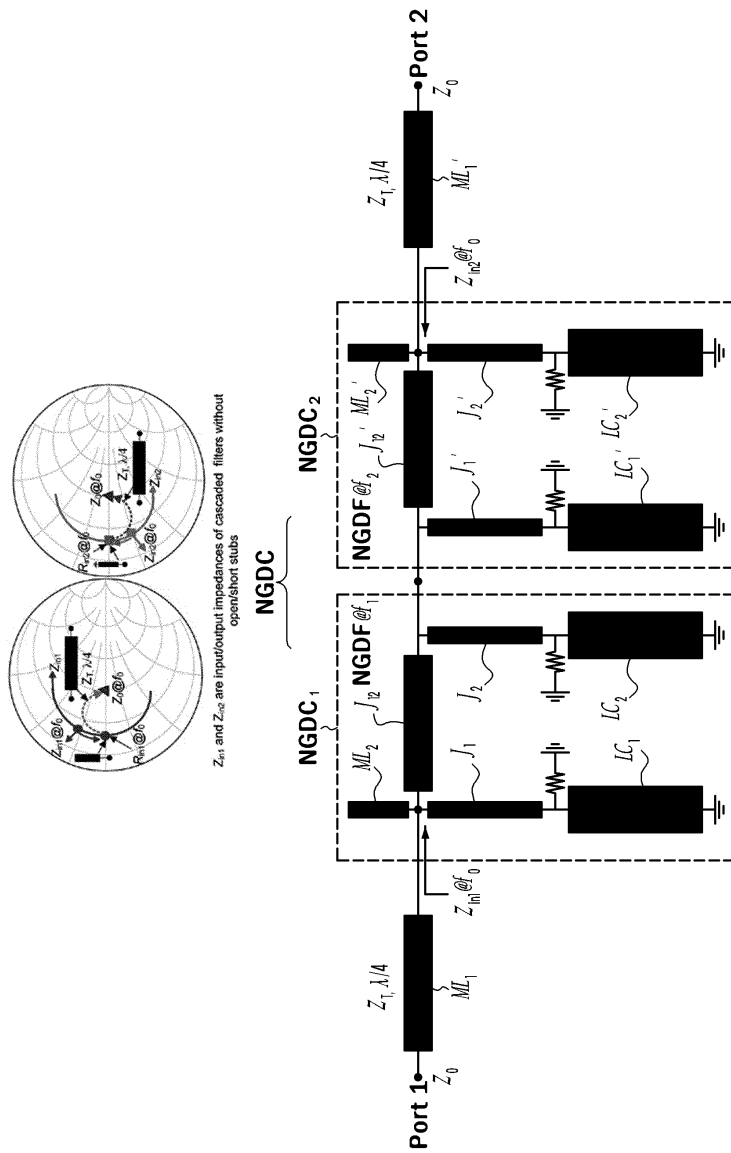
도면15



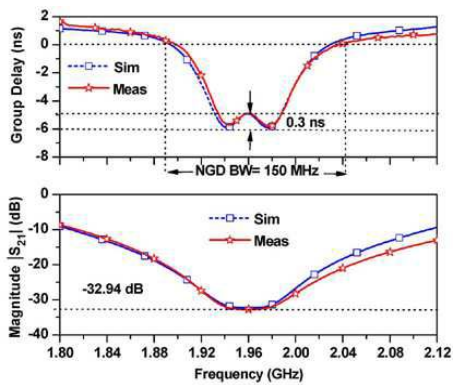
도면16



도면17



도면18



도면19

