

A Design of Dual Band Amplifier Using Left Handed Transmission Lines

임종식[†] · 이재훈^{*} · 이준^{*} · 구자경^{*} · 정용채^{**} · 한상민^{***} · 안달[§]
 (Jongsik Lim · Jaehoon Lee · Jun Lee · Jakyung Koo · Yongchae Jeong · Sang-Min Han · Dal Ahn)

Abstract - This paper describes a design of dual band amplifier using left handed (LH) transmission line, which is a part of composite right/left handed (CRLH) transmission line. It is well known that CRLH transmission lines show dual band frequency response. At first, two single-band amplifiers for frequency f_1 and f_2 are designed, and their matching networks at both amplifiers are synthesized into the dual band matching network by adopting CRLH structure. As an example for proving the validity of the proposed design, a dual band amplifier operating at 1800MHz and 2300MHz is designed, fabricated and measured. The simulation and measurement show that the proposed amplifier operates well at the desired dual bands with the gain of 13.65dB and 19dB at 1850MHz and 2360MHz, respectively, and a good matching performances. In addition, a quite good agreement between the simulation and measurement is observed.

Key Words : Dual band amplifier, LH, CRLH

1. 서론

TEM 전자기파를 전달하는 전송선로는 여러 가지 물리적 형태가 있으나, 그림 1(a)와 같이 단위길이당 직렬 인덕턴스(L_R)와 병렬 커패시턴스(C_R)의 형태의 등가회로로 표현되는 것이 일반적이다 [1,2]. 이상적인 전송선로는 전대역 통과(all pass) 특성을 가지는데, 실제로는 전송선로의 손실과 기생성분에 의한 제약으로 어떤 주파수에서 차단 특성(cutoff)을 갖게 되는 저역통과특성을 갖는다. 물론 단위 등가회로 소자값과 기생성분의 값이 매우 작은 경우에 차단주파수는 상당히 높아서 실제 응용하고자 하는 주파수에서는 큰 영향이 없어서 마치 전대역 통과 특성처럼 보인다. 그림 1(b)는 단위길이당 등가회로를 T-형태의 대칭형 회로로 표현한 것이다.

그런데 그림 1의 등가회로에서 인덕턴스와 커패시턴스의 위치가 서로 뒤바뀐 구조인 직렬 커패시턴스(C_L)와 병렬 인덕턴스(L_L)로 표현되는 전송선로가 최근에 많이 제안되고 있다 [3-7]. 이러한 전송선로 구조는 종래의 일반적인 전송선로 구조와 비교할 때 군속도와 위상속도의 진행방향이 서로 반대인 특성을 갖는데 이를 left handed (LH) 전송선로라고 한다. 그림 2(a)는 LH 전송선로의 단위 등가회로를 보여주고 있는데 기본적으로 고역통과 특성을 갖는 구조임을 알 수 있다. 그림 2(b)는 이것을 T-형태의 대칭형으로 표현한 것이다. 종래의 전송선로 구조를 LH 전송선로 구조와 서

로 대비하기 위하여 right handed (RH) 전송선로라고 한다.

한편, LH 전송선로 구조가 RH 전송선로 구조와 혼재하여 있는 경우에 이를 composite right/left handed (CRLH) 전송선로 구조라 한다 [8]. CRLH 전송선로 구조는 의도적으로 LH와 RH 구조가 함께 혼재하도록 구성하는 방법으로 설계하는 것이 일반적이다. 그러나 LH 전송선로 구조를 실제 응용하는 측면에 있어서 상호연결(interconnection)을 위한 물리적 기반은 기존의 일반적인 RH 전송선로 구조이므로, RH 구조에 대한 특별한 구현 노력이 없어도 LH 전송선로 구조를 RH 전송선로에 연결하거나 삽입하면 결과적으로 CRLH 구조를 형성한다. 최근에는 이처럼 LH 구조를 RH 전송선로에 삽입하여 구성된 CRLH 전송선로 구조에 대한 다양한 연구 결과와 응용이 발표되고 있다 [8-10].

CRLH 전송선로 구조는 RH 부분과 LH 부분의 위상특성에 기인하는 이중대역 특성을 기본적으로 지니고 있다. 따라서 이중대역이 필요한 회로를 구성하는 전송선로 부분에 사용될 수 있는데, 이에 대한 연구들이 이미 활발하게 진행되고 있다[11-15]. 그런데 종래에 발표된 CRLH 전송선로를 이용한 이중대역 초고주파 회로들은 대부분 수동회로에 국한되어 있다. 그 이유는 수동회로들의 구현수단이 대부분 전송선로이기 때문인데, CRLH 전송선로를 사용하면 이중대역 특성을 지닌 수동회로를 설계할 수 있었다.

최근에 CRLH 전송선로 구조를 이용한 이중대역 class E 전력증폭기에 대한 연구결과가 발표된 적이 있다[16]. 그러나 이 연구에서는 이중대역에서의 전력특성과 효율특성을 얻어내기만 하면 되는 전력증폭기 응용이므로, 실제로 정합이 이중대역에서 정확하게 이루어지지 않은 결과를 보여준다. 즉 트랜지스터 소자가 낼 수 있는 최대출력과는 거리가 먼 낮은 출력과 매우 낮거나 또는 음(-)의 효율 특성을 보이는 등 이중대역에서 정합이 전혀 이루어지지 않은 결과를 보여주고 있다.

[†] 교신저자, 정회원 : 순천향대 전기통신공학과 조교수 · 공박
 E-mail : jslim@sch.ac.kr

^{*} 비회원 : 순천향대 전기통신공학과 석사과정

^{**} 정회원 : 전북대 전자정보공학부 교수 · 공박

^{***} 비회원 : 순천향대 정보통신공학과 조교수 · 공박

[§] 비회원 : 순천향대 전기통신공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2010년 8월 26일

최종완료 : 2010년 10월 11일

이런 선행 기술을 배경으로 본 논문에서는 CRLH 전송선로 구조를 이용하여 이중대역 정합이 명확한 증폭기를 설계하고자 한다. 증폭기는 트랜지스터 주변에 입출력 정합회로를 필요로 하는데, 정합회로 자체는 수동 전송선로 소자로 구성되므로 여기에 CRLH 선로를 삽입하면 이중대역 정합 특성을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 제안한 아이디어를 검증하기 위하여 이중대역 증폭기를 실제로 설계, 제작 및 측정하여 이득과 정합특성을 측정결과로 제시하고, 이로써 제안한 이중대역 증폭기 구조가 타당함을 보이고자 한다.

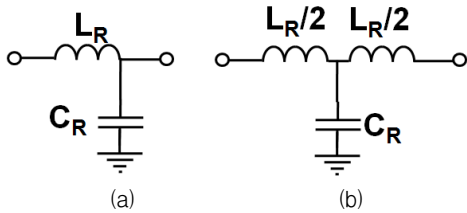


그림 1 초고주파 대역 일반 전송선로의 단위 등가회로 구조 (a) 집중소자로 표현한 등가회로 (b) 대칭형으로 변형한 등가회로

Fig. 1 Equivalent circuit of general transmission lines for high frequency (a) the unit lumped element circuit (b) symmetrical T-shape equivalent circuit

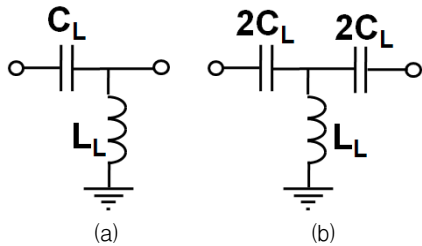


그림 2 LH 전송선로의 단위 등가회로 구조 (a) 집중소자로 표현한 등가회로 (b) 대칭형으로 변형한 등가회로

Fig. 2 Equivalent circuit of left handed (LH) transmission lines for high frequency (a) unit lumped element circuit (b) symmetrical T-shape equivalent circuit

2. CRLH 전송선로의 위상특성 고찰

LH 전송선로 구조는 등가회로가 그림 2로 표현되도록 다소 인위적인 설계 과정을 통하여 존재하게 된다. 따라서 종래의 RH 전송선로 구조와는 다른 위상특성을 보이게 된다. 그림 3(a)는 RH, LH, CRLH 전송선로의 위상특성을 보여주고 있다. 종래의 일반적인 RH 전송선로 구조의 위상특성은 매우 명백히 예측되는데, 어떤 주어진 물리적 길이에 대하여 주파수에 비례하는 전기적 길이(위상각)를 갖게 된다. RH 전송선로에서 위상이 0.5π 인 주파수를 f_{1RH} 이라 하면 위상이 1.5π 인 주파수는 $3f_{1RH}$ 이 된다. 그러나 LH 선로의 위상특성을 반영한 CRLH 전송선로에서는 위상이 0.5π 인 주파수를 f_{1CRLH} 이라 할 때, 위상이 1.5π 인 주파수는 $3f_{1CRLH}$ 이 아닌 어떤 임의의 주파수(f_{2CRLH}) 값이 된다.

그림 3(b)는 RH와 CRLH 전송선로가 같은 주파수 f_1 에서

0.5π 의 전기적 길이를 갖도록 설계된 경우, 위상이 1.5π 인 주파수가 서로 다름을 보여주는 그림이다. 위상이 1.5π 인 주파수가 RH 전송선로에서는 $3f_1$ 인 반면, CRLH 전송선로에서는 임의의 주파수(f_2)일 수 있다. 따라서 이중대역의 두 주파수 대역 f_1, f_2 가 서로 3배가 아닌, 임의의 비율을 가질 때는 RH 선로가 아닌 CRLH 전송선로에 의하여 이중대역의 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

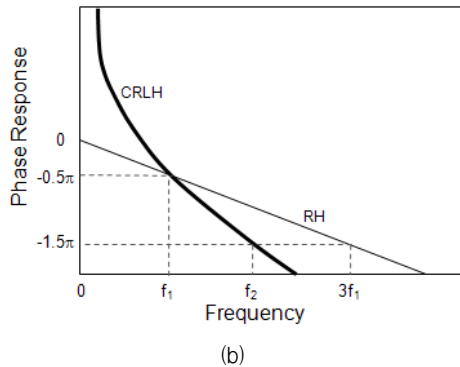
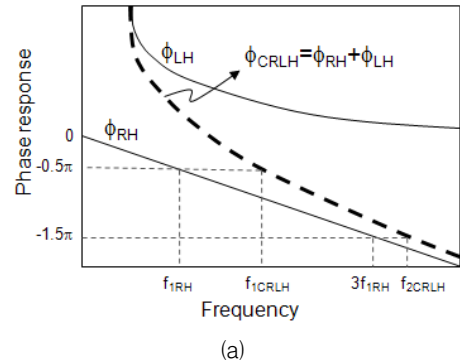


그림 3 전송선로의 위상특성 (a) 이상적인 RH, LH, CRLH 전송선로의 위상특성 (b) RH와 CRLH 전송선로의 위상이 90° 가 되도록 주파수를 f_1 으로 맞춘 경우의 위상특성

Fig. 3 Phase characteristics (a) RH, LH, and CRLH transmission lines (b) when RH and CRLH transmission lines have 90° at the same frequency(f_1)

3. CRLH 전송선로를 이용한 이중대역 증폭기 설계

그림 4는 이중대역에서 각각 이득을 갖는 증폭 응답의 개념도이다. 서로 이격된 두 주파수 f_1, f_2 각각에서 어떤 이득을 갖는 증폭특성이 있을 때, 이들을 합하여 얻어낼 수 있다면 그림의 우측 부분과 같은 주파수 응답을 얻을 수 있다. 이 때 주파수 응답은 두 주파수간의 어떤 벡터적인 합성이 아닌, 각 주파수의 독립적인 이득특성이 그대로 보존되는 상태로 합성한 주파수 응답이다.

그림 5는 본 논문에서 설계하고자 하는, CRLH 전송선로를 이용한 이중대역 증폭기의 정합회로를 설명하고 있다. 주파수 f_1 에서 이득을 갖는 증폭기1(Amp1)과 f_2 에서 이득을 갖는 증폭기2(Amp2)의 정합회로가 그림 5와 같이 존재한다

고 하자. 설명의 편의상, 또한 제안된 아이디어의 타당성을 검증하는 차원에서 정합회로는 단순한 L-section 구조로 설계된다고 하자. 주파수 f_1 에서 동작하는 Amp1의 정합회로에서 직렬 전송선로 부분의 길이는 l_1 (전기적 길이로는 Θ_1)이고, f_2 에서 이득을 갖는 Amp2의 정합회로에서 직렬 전송선로 부분의 길이는 l_2 (전기적 길이로는 Θ_2)이다. 두 증폭기를 각각 별도로 제작할 경우에 각 주파수에서 고유한 주파수 응답(이득과 정합특성)만을 갖게 된다.

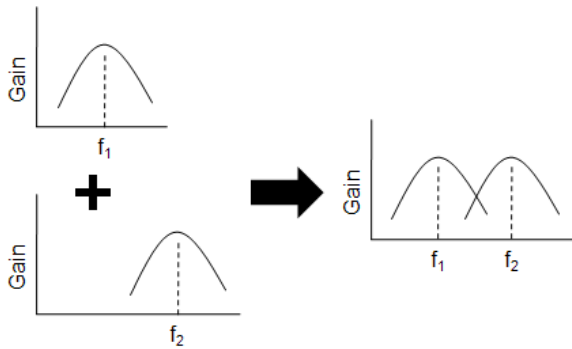


그림 4 이중대역 f_1 과 f_2 에서 이득을 갖는 주파수 응답 개념
 Fig. 4 Concept of the dual band amplification response at the frequency f_1 and f_2

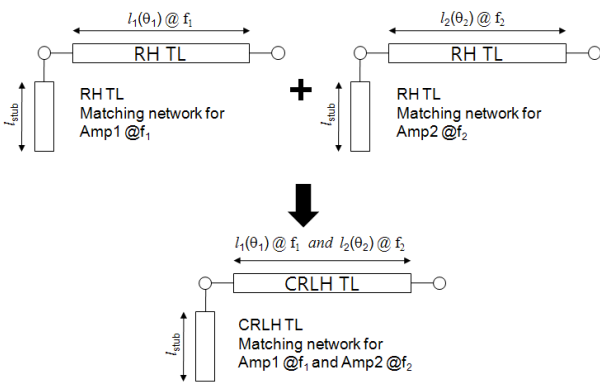


그림 5 이중대역 증폭기의 정합회로 구성 원리
 Fig. 5 Principle of the matching network for the dual band amplifier

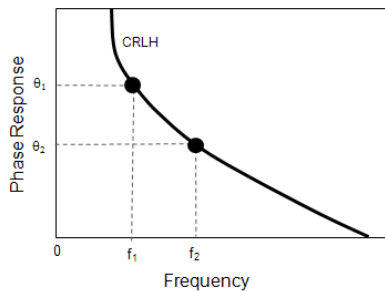


그림 6 전기적 길이가 Θ_1 과 Θ_2 일 때 이에 해당하는 CRLH 전송선로에서 주파수 f_1 과 f_2
 Fig. 6 Corresponding f_1 and f_2 for Θ_1 and Θ_2 of CRLH transmission line

한편 이중대역 증폭기용 정합회로에서 주파수 f_1 에서 전기적 길이가 Θ_1 이고, 주파수 f_2 에서 전기적 길이가 Θ_2 인 CRLH 전송선로의 위상특성을 그림 6에 표시하여 보았다. 전술하였듯이 RH 전송선로에서라면 전기적 길이가 Θ_2 인 주파수(그림 6에서 f_2)가 Θ_1 과 Θ_2 의 비례관계로 정해지므로 항상 $f_2=f_1\Theta_2/\Theta_1$ 의 관계를 가진다. 따라서 임의의 원하는 주파수 f_2 에서 전기적 길이가 Θ_2 가 되게 하려면 RH 전송선로로는 구현이 곤란하므로 CRLH 구조를 이용하여야 한다.

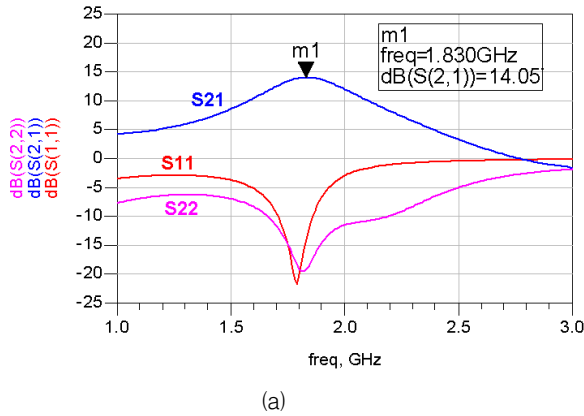
이제 하나의 증폭기가 f_1, f_2 에서 동시에 이득을 갖는 이중대역의 특성을 갖도록 하기 위해서 CRLH 전송선로를 이용하여 정합회로를 설계할 수 있다. 이 때 정합회로는 두 주파수에서 모두 정합을 이루어야 하는데, 정합회로 내의 직렬 전송선로가 f_1 에서는 Θ_1, f_2 에서는 Θ_2 의 전기적 길이를 갖도록 CRLH 구조로 설계할 수 있다. 이 때 개방 스텐브 부분에 두 주파수에서 동일한 물리적 길이(l_{stub})를 갖도록 사전에 각 주파수에서 정합회로가 설계되어 있어야 한다. 이와 같이 이중대역에서 정합회로를 설계하고 증폭기를 구성하면, 두 주파수 대역에서 모두 정합을 이루게 되므로 Amp1과 Amp2에서의 이득과 정합특성을 동시에 한 증폭기에서 얻을 수 있게 된다.

제안한 방법의 타당성을 실험적으로 검증하기 위하여 본 논문에서는 $f_1=1830\text{MHz}, f_2=2340\text{MHz}$ 의 두 주파수에서 동작하는 이중대역 증폭기를 설계하고자 한다. 이를 위하여 먼저 각 주파수에서 정합된 두 증폭기(Amp1, Amp2)를 설계하고, 각각의 S-파라미터를 시뮬레이션하여 증폭특성을 확인하였다. 그 결과 그림 7에 보인 바와 같이 Amp1과 Amp2의 이득은 동작중심 주파수에서 각각 14.05dB와 18.02dB이다. 또한 정합특성을 볼 때 해당 주파수에서 정합이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

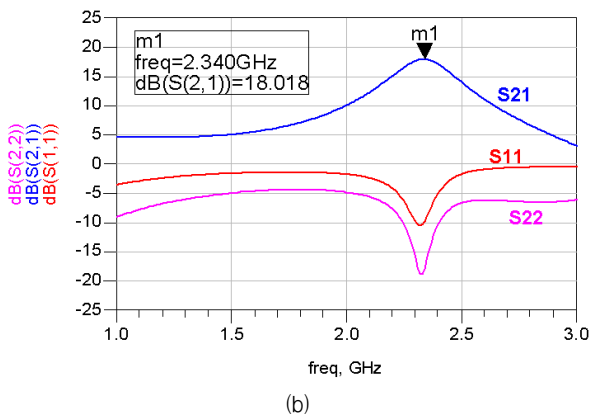
정합회로에 필요한 직렬 전송선로의 전기적 길이 Θ_1, Θ_2 는 각각 110도와 88도였다. 따라서 두 주파수에서 필요한 정합회로 내의 직렬 전송선로의 길이가 주파수의 비율과 무관한 값을 알 수 있다. 이제 상기에서 기술한 대로 두 주파수에서 필요한 위상각을 갖도록 CRLH 전송선로를 구현하여 정합회로에 삽입하면 하나의 증폭기로 이중대역 동작을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 이중대역 CRLH 구성을 위한 LH 부분의 설계를 위해 Lin의 방법을 이용하였다 [13]. 그런데 이 방법을 소개하려면 매우 장황한 설명을 곁들여야 하므로 이를 생략하고, 최종적인 결과를 제시하고자 한다. 본 논문에서는 그림 2(b)에 제시된 단위 LH 회로 4개를 사용하여, 설계하고자 하는 증폭기에 필요한 이중대역 CRLH 전송선로를 구성하였는데, 이를 그림 8에 제시하였다. 여기서 $L_1=3.9\text{nH}, C_1=1.2\text{pF}$ 인데, 기발표된 Lin의 방법을 이용하여 결정된 값이다. 이 구조에 의한 고역통과여파기 (HPF) 특성에서의 차단 주파수는 그림 9에 보인 것처럼 1250MHz이므로 본 논문의 두 주파수 f_1 과 f_2 는 안전한 통과대역에 속한다.

그림 10은 CRLH 구조를 정합회로에 포함하는 이중대역 증폭기의 설계특성을 보여주는 S-파라미터이다. 그림 7에 보인 특성과 비교할 때 미약한 주파수 이동을 관찰할 수 있으나 이중대역에서 유사한 이득특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 10의 특성으로부터 증폭기의 정합이 이중대역에서 이루어지고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7 두 주파수에서 각각 동작하는 증폭기의 이득특성
(a) 증폭기1 (1830MHz) (b) 증폭기2 (2340MHz)
Fig. 7 Gain characteristics of two amplifiers at each frequency (a) amp1 (1830MHz) (b) amp2 (2340MHz)

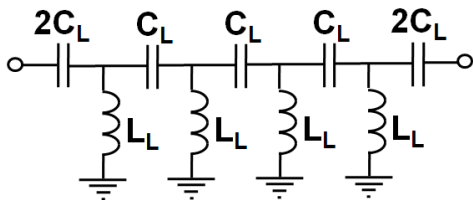


그림 8 고역통과 구조의 4단 LH 전송선로 구조
Fig. 8 4-stage LH transmission line with high pass structure

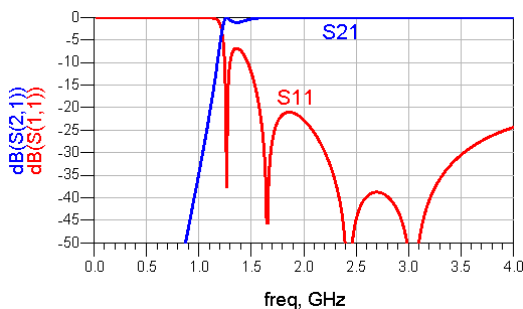


그림 9 고역통과 구조의 4단 LH 전송선로의 S-파라미터
Fig. 9 S-parameters of the 4-stage LH transmission line with high pass structure

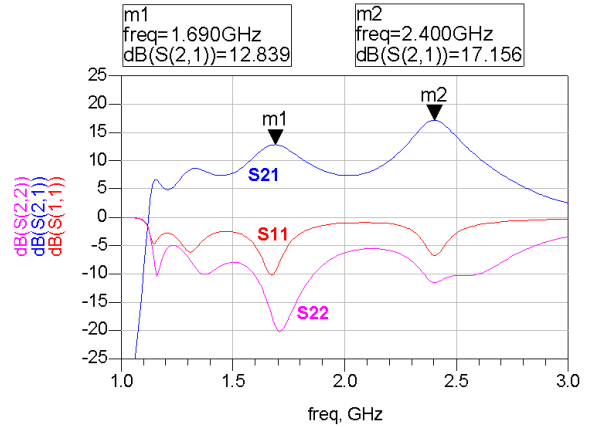


그림 10 CRLH 전송선로로 정합회로를 구성한 이중대역 증폭기의 설계 특성
Fig. 10 Simulated S-parameters of the dual band amplifier with CRLH matching network

4. 이중대역 증폭기의 제작 및 측정 결과

그림 11(a)는 실제로 제작한 이중대역 증폭기의 사진을 보여주고 있다. 이중대역 증폭기의 설계 및 제작을 위하여 마이크로파 대역의 증폭소자인 FHX35LG를 사용하였고, 두께가 20mils이고 유전율이 2.55인 유전체 기판을 사용하였다. 그림 8의 4단 LH 구조를 삽입하였으며, 칩 인덕터와 커패시터의 납땜 및 물리적 지지 기반을 위하여 각 단마다 짧은 전송선로 패드(RH 부분에 해당)를 삽입하였다. 그림 11(b)는 타원형으로 표시한 LH 부분을 확대한 그림이다.

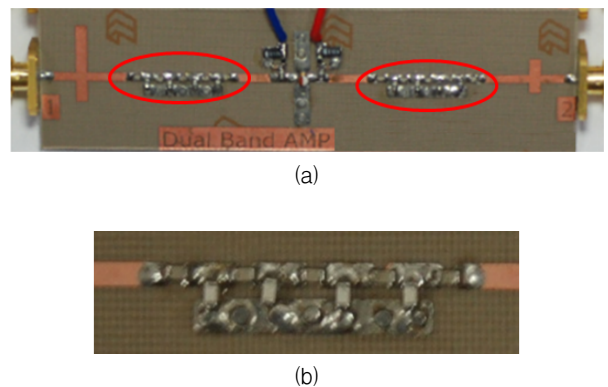


그림 11 CRLH 전송선로로 정합회로를 구성한 이중대역 증폭기 (a) 제작 사진 (b) CRLH 부분의 확대사진
Fig. 11 Fabricated dual band amplifier with CRLH matching network (a) photograph (b) magnified CRLH section

그림 11(a)의 회로를 관찰하면 LH 구조가 high pass 구조여서 커패시터가 직렬로 삽입되므로 본질적으로 DC가 차단되는 구조임을 알 수 있다. 따라서 일반적인 증폭기 설계시 필수로 삽입되는 DC 차단용 커패시터가 불필요함을 알 수 있다. 그러므로 CRLH 구조를 이용하는 증폭기 설계시 DC 차단용 커패시터에 대한 고려를 전혀 할 필요가 없다는 것이 그림 11에 제시된 구조의 장점이기도 하다.

그림 12는 제작한 증폭기의 실제 측정된 S-파라미터를 보여주고 있다. 측정 결과 1850MHz와 2360MHz에서 각각 13.65dB와 19dB의 이득 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과와 약간의 주파수 천이와 이득특성의 개선을 보이고 있는데, 사용한 칩 인덕터와 커패시터에 존재하는 오차를 고려하면 설계값과 유사한 결과임을 알 수 있다. 측정결과 이득이 시뮬레이션보다 약간 증가했는데, 이것은 칩 인덕터와 커패시터의 오차, 능동소자 자체 및 능동회로 제작 과정에서 삽입되는 불확실성의 오차(uncertainty) 등이 이득을 키우는 방향으로 반영된 결과로서 본 논문에서는 이것이 어떤 중요한 의미를 갖는 것으로 판단하지는 않는다. 한편 이득특성을 보이는 이중대역 주파수에서 정합특성이 선명하게 관찰되고 있어서 제작한 증폭기에서도 이중대역 정합이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

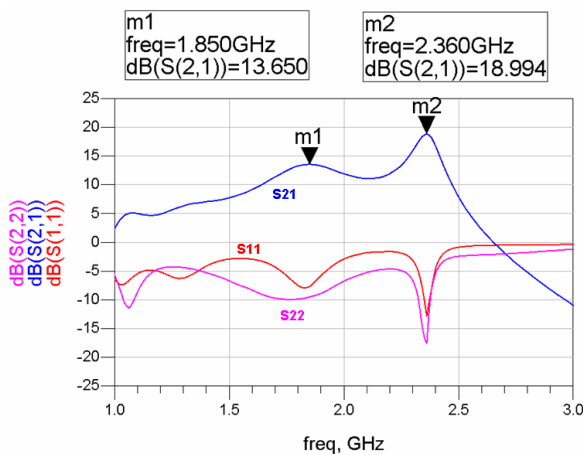


그림 12 CRLH 전송선로로 정합회로를 구성한 이중대역 증폭기의 측정 특성

Fig. 12 Measured S-parameters of the dual band amplifier with CRLH matching network

5. 결 론

본 연구에서는 CRLH 전송선로 구조를 이용한 이중대역 초고주파 증폭기의 설계에 대하여 제안하고, 그 타당성을 검증하기 위하여 실제로 이중대역 증폭기를 제작 및 측정하였다. 한 예로서 1830MHz와 2340MHz에서 독립적으로 이득 특성을 갖는 두 증폭기를 각각 설계하여, 두 정합회로에 있는 전송선로의 전기적 길이를 확인한 후, 두 주파수에서 각각 필요한 전기적 길이를 갖도록 하는 CRLH 구조를 설계하여 정합회로에 삽입하였다. 실제로 제작하여 측정한 증폭기의 이중대역 이득 특성은 시뮬레이션 특성과 유사하였으며, 이중대역에서 정합도 잘 이루어졌음이 확인되었다.

그림 11에 보인 제작 회로는 제안한 아이디어의 검증을 위하여 실험실 수준의 제작설비와 저가의 칩 인덕터, 커패시터 소자를 이용하여 만든 것이므로 회로의 크기가 크고 제작오차를 많이 포함하고 있다. 그럼에도 불구하고 예측결과와 유사한 측정성능을 보여주고 있어서 제안된 구조가 타당함을 알 수 있다. 따라서 향후에 보다 정밀한 제작 공정 및 칩 인덕터와 커패시터를 사용하고, 또한 소형화 및 집적화를

위한 반도체형 정밀 회로 제작 기술을 사용할 경우에, 시뮬레이션 결과에 보다 근접하는 정확한 측정 결과를 보이는 이중대역 증폭기를 얻을 것으로 기대할 수 있다. 제안된 이중대역 증폭기는 이중대역 동작을 필요로 하는 이동단말기 및 시스템 등에 폭넓게 응용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd edition, John Wiley and Sons, Inc., 2003.
- [2] K. C. Gupta, et al., *Microstrip Lines and Slotlines*, 2nd edition, Artech House, Boston, 1996.
- [3] R. A. Shelby, D. R. Smith, and S. Schultz, "Experimental verification of a negative index refraction," *Science*, vol. 292, pp. 77-79, Apr. 2001.
- [4] Caloz and T. Itoh, "Novel microwave devices and structures based on the transmission line approach of meta-materials," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, 2003, pp. 195-198.
- [5] K. Iyer and G. V. Eleftheriades, "Negative refractive-index metamaterials supporting 2-D waves," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, Seattle, WA, June 2002, pp. 1067-1070.
- [6] G. V. Eleftheriades, A. K. Iyer, and P. C. Kremer, "Planar negative refractive index media using periodically L-C loaded transmission lines", *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 12, pp. 2702-2712, Dec. 2002.
- [7] C. Caloz, T. Itoh, "Application of the transmission line theory of Left-Handed(LH) materials to the realization of a microstrip LH transmission line", *IEEE-APS Int'l Symp.*, vol. 2, pp. 412-415, San Antonio, TX, Jun. 2002.
- [8] C. Caloz and T. Itoh, "Unusual propagation characteristics in CRLH periodic structures," in Proc. IEEE AP-S International Symposium USNC/URSI National Radio Science Meeting, Special session EBG/PBG-Based Antennas and Wave-Guiding Structures, Monterey, CA, USA, June 2004, CD-R 55.7.
- [9] C. Caloz, "Dual composite right/left-handed(D-CRLH) transmission line metamaterial", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 16, no. 11, pp. 585- 687, Nov. 2006.
- [10] A. Sanada, C. Caloz, and T. Itoh, "Characteristics of the composite right/left-handed transmission lines," *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 14, pp. 68-70, Feb. 2004.
- [11] I. H. Lin, C. Caloz, and T. Itoh, "A branch-line coupler with two arbitrary operating frequencies using left-handed transmission lines", *Proc. IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., Special Session Metamaterials*, Philadelphia, USA, pp. 325-327, Jun. 2003.

- [12] I. H. Lin, K. M. K. H. Leong, C. Caloz, and T. Itoh, "Dual-band sub-harmonic quadrature mixer using composite right/left-handed transmission lines", *IEEE Proc. Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 153, no. 4, pp. 153-180, Aug. 2006.
- [13] I. H. Lin, M. DeVincentis, C. Caloz, and T. Itoh, "Arbitrary Dual-Band Components Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines," *IEEE Trans. on Microw. Theory Tech.*, Vol. 52, No. 4, pp. 1142-1149, Apr. 2004.
- [14] 박민우, 구자경, 임종식, 정용채, 안달, "CRLH 전송선로 구조를 이용한 이중대역 브랜치 라인 커플러 설계", 전기학회논문지, 제 58권 제 12호, pp. 2462~2467, 2009년 12월.
- [15] 임종식, 이재훈, 이준, 정용채, 한상민, 안달, "DGS를 이용한 주파수 가변 DL-CRLH 전송선로", 전기학회논문지, 제 59권 제 8호, pp. 1429~1435, 2010년 8월.
- [16] S. H. Ji, C. S. Cho, J. W. Lee, and J. Kim, "Concurrent Dual-Band Class-E Power Amplifier Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines," *IEEE Trans. on Microw. Theory Tech.*, Vol. 55, No. 6, Part 2, pp. 1341-1347, Jun. 2007.

저 자 소 개



임 종 식 (林 鍾 植)

1991년 서강대 전자공학과 졸업(공학사).
 1993년 동대학원 전자공학과 졸업(석사).
 2003년 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(공학박). 1993~2005 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원, 2005~현재 순천향대학교 전기통신공학과 조교수.
 Tel : (041)530-1332
 Fax : (041)530-1548
 E-mail : jslim@sch.ac.kr



이 재 훈 (李 在 訓)

2010년 순천향대 정보기술공학부 졸업(공학사). 2010년 동대학원 전기통신공학과 석사과정 재학중.
 Tel : (041)530-1607
 Fax : (041)530-1735
 E-mail : ours_soul@naver.com



이 준 (李 準)

2010년 순천향대 정보기술공학부 졸업(공학사). 2010년 동대학원 전기통신공학과 석사과정 재학중.
 Tel : (041)530-1607
 Fax : (041)530-1735
 E-mail : darkyijun@naver.com



구 자 경 (具 滋 慶)

2008년 순천향대 정보기술공학부 졸업(공학사). 2010년 동대학원 전기통신시스템공학과 석사과정 졸업(석사). 2010년 10월 현재 (주)브로던 연구원
 Tel : (041)530-1630
 Fax : (041)530-1735
 E-mail : tigerjk999@nate.com



정 용 채 (鄭 龍 采)

1989년 서강대 전자공학과 졸업(공학사).
 1991년 동대학원 전자공학과 졸업(석사).
 1996년 동대학원 전자공학과 졸업(공학박).
 1991~1998 삼성전자 정보통신본부 선임연구원, 1998~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수.
 Tel : (063)270-2458
 Fax : (063)270-2461
 E-mail : ycjeong@jbnu.ac.kr



한 상 민 (韓 相 敏)

1996년 고려대 전과공학과 졸업(공학사).
 1998년 동대학원 전과공학과 졸업(석사).
 2003년 동대학원 전과공학과 졸업(공학박).
 2003년 10월~2004년 11월 UCLA Post Doc., 2005년 1월~2007년 8월 삼성종합기술원 전문연구원, 2007년 9월~현재 순천향대학교 정보통신공학과 전임강사.
 Tel : (041)530-1348
 Fax : (041)530-1548
 E-mail : smhan@sch.ac.kr



안 달 (安 達)

1984년 서강대 전자공학과 졸업(공학사).
 1986년 동대학원 전자공학과 졸업(석사).
 1990년 동대학원 전자공학과 졸업(공학박).
 1990~1992 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원, 1992~현재 순천향대학교 전기통신공학과 교수.
 Tel : (041)530-1331
 Fax : (041)530-1609
 E-mail : dahnkr@sch.ac.kr