

초고주파 AB급출력증폭기의 안정성개선방법

리철영, 리순남

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《체신부문 과학자, 기술자들은 우리 나라의 실정과 체신발전의 세계적추세에 맞게 새로운 통신수단과 방식기술, 정보통신체계에 대한 연구사업을 힘있게 벌려야 합니다.》

(《김정일선집》 증보판 제17권 423페이지)

일반적으로 선행한 많은 제품들에서 모줄화된 출력증폭기들을 리용하고있지만 이들은 가격이 비싸고 제한된 대역을 지원하며 대출력의 요구를 만족시키지 못하고있다. 때문에 대출력증폭기에서 개별소자를 리용하는 방식들이 연구되고있으며 이와 관련한 이론적기초와 설계방법들에 대하여 많이 소개되고있다.[1]

현실적으로 100W이상급고주파전력증폭기의 설계에서 안정성과 관련된 상세한 설계는 구체적으로 밝혀져있지 않다.

선행연구결과들을 종합분석한데 기초하여 자료전송기의 송신출력을 보장하기 위한 100W초고주파전력증폭기의 구조를 역위상동작(push-pull)방식으로 설계하고 안정성을 평가하는 문제를 해결하였다.

1. push-pull구조에 의한 안정성개선방법

요소를 합리적으로 선택하는것은 고주파전력증폭기설계에서 중요한 첫 공정으로서 회로동작지표요구와 동작특성에 따라 진행한다. 제기되는 설계요구를 만족하자면 소자선택을 잘해야 하며 그렇지 않으면 설계와 측정과정에 많은 문제점이 발생하여 다시 소자를 선정하는것과 같은 재작업과 시간이 소비된다.

우리는 설계요구에 따라 BLF888A계렬의 전력증폭소자를 선택하였다. 이 소자는 도자기밀봉이므로 열방출성이 좋고 최대출구출력은 600W이고 출력회수를 거쳐 아주 좋은 선형성을 얻을수 있으므로 전력증폭체계에 리용할수 있다.

한편 초고주파전력증폭기설계과정에서 안정성은 우선적으로 고려해야 할 문제이다. 그것은 증폭기가 어떤 동작주파수와 종단조건하에서 자려발진현상을 일으킬수 있기때문이다. 이 경우 고주파전력증폭기입구에 RF신호가 입력되지 않아도 어떤 주파수에서 큰 출구신호가 나타나 출구파형의 비정상적현상을 일으키거나 심한 경우에는 고주파전력증폭기가 파괴될수 있다.

고주파전력증폭기의 불안정성인자는 비교적 많고 복잡하다.

일반적으로 리용되는 안정성판별식은 다음과 같다.[2]

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}||S_{21}|} \quad (1)$$

여기서

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (2)$$

이다.

이때

$$K > 1, |\Delta| < 1$$

이면 증폭기는 절대적으로 안정하다.

$f = 485\text{MHz}$ 에서 이 소자의 S-정수는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} S_{11} &= 0.863\angle -71^\circ, S_{21} = 2.12\angle 105^\circ, \\ S_{12} &= 0.07\angle 37^\circ, S_{22} = 0.577\angle -58^\circ, \\ N_{\text{최소}} &= 0.6\text{dB}, \Gamma_{\text{최량}} = 0.673\angle 79^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

식 (1)로부터 안정결수 K 를 계산하면 $K = 0.639 < 1$ 즉 소자는 잠재불안정상태에 있다.

논문에서는 2개의 소자를 리용한 push-pull증폭기를 구성하는 방안을 제기하여 증폭기의 안정성에 대한 요구를 해결하기로 한다.

push-pull증폭구조는 역위상동작방식으로서 2개의 증폭소자를 리용한 평형불평형변환기로 전체 신호를 증폭하는 방식이다.[2]

전체 회로는 증폭하려는 RF신호의 한주기에 대하여 반주기를 담당하여 증폭하므로 이 두 소자는 등가적으로 직렬연결에 대응한다.

전체 회로에 대한 S-정수를 구하기 위하여 개별적인 소자의 S-행렬을 Z-행렬로 변환한다.

$$[Z_1] = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - S_{11} - S_{22} + \Delta S} \begin{bmatrix} 1 + S_{11} - S_{22} - \Delta S & 2S_{12} \\ 2S_{21} & 1 - S_{11} - S_{22} - \Delta S \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[Z_2] = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - S_{11} - S_{22} + \Delta S} \begin{bmatrix} 1 + S_{11} - S_{22} - \Delta S & 2S_{12} \\ 2S_{21} & 1 - S_{11} - S_{22} - \Delta S \end{bmatrix} \quad (5)$$

결과적으로 push-pull증폭소자의 Z 행렬은 다음과 같이 표시된다.

$$[Z_m] = [Z_1] + [Z_2] = \begin{bmatrix} Z_{m11} & Z_{m12} \\ Z_{m21} & Z_{m22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$[Z_m]$ 을 다시 S-정수로 변환하면

$$[S_m] = \frac{1}{1 + Z_{m11} + Z_{m22} + \Delta Z_m} \begin{bmatrix} \Delta Z_m + Z_{m11} - Z_{m22} - 1 & 2Z_{m12} \\ 2Z_{m21} & \Delta Z_m - Z_{m11} + Z_{m22} - 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

이다. 여기서

$$\Delta Z_m = Z_{m11}Z_{m22} - Z_{m12}Z_{m21} \quad (8)$$

이다.

2. 모의실험 및 결과분석

식 (8)에 따라 주어진 1개의 증폭소자의 S-정수로부터 소자전체의 S-정수를 계산하면 주파수에 따르는 안정성결수를 평가할수 있다.

논문에서는 RF분석프로그램 ADS를 리용하여 증폭기의 안정성을 판별하여 K 인자가 1보다 작은가 그렇지 않은가를 모의하였다.

1개의 소자를 리용했을 때와 2개의 소자를 리용했을 때의 주파수에 따르는 안정결수 K 를 보면 그림 1, 2와 같다.

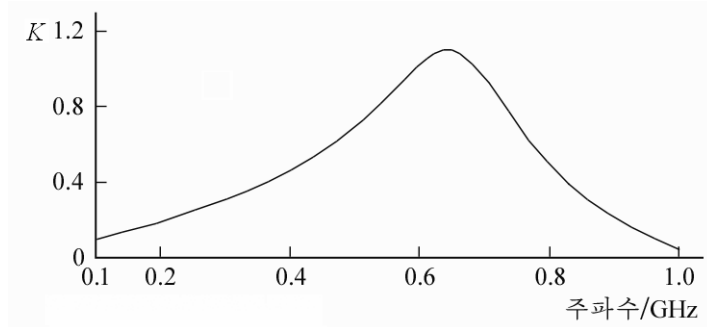


그림 1. 단일증폭회로를 구성했을 때 주파수에 따르는 안정성

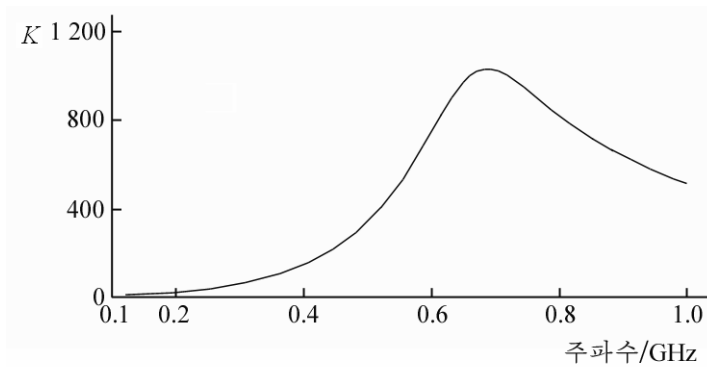


그림 2. push-pull증폭회로를 구성했을 때 주파수에 따르는 안정성

그림 1, 2에서 보는바와 같이 단일증폭기를 구성했을 때 안정성결수 K 는 0~600MHz사이에서 불안정하지만 push-pull구조에서는 전구간에서 안정하다.

맺는 말

단일증폭기를 구성할 때와 push-pull구조에 의한 합성을 진행할 때의 안정성결수를 소자의 S-정수로부터 평가하고 push-pull구조에서 회로의 안정성이 훨씬 높아진다는것을 확증하였다.

참고 문헌

- [1] Andrei Grebennikov; RF and Microwave Transmitter Design, John Wiley & Sons. Inc, 120~136, 2011.
- [2] Abdullah Eroglu; Linear and Switch-Mode RF Amplifiers, CRC, 46~130, 2018.

주체109(2020)년 2월 5일 원고접수

Study on Stability Augmentation Method of Microwave AB-Class Power Amplifier

Ri Chol Yong, Ri Sun Nam

We calculated S-parameter related to stability of amplifier in single amplifier and push-pull amplifier, and confirmed that the push-pull configuration the stability was improved than in the single amplifier.

Keywords: amplifier, microwave, stability