

## RF/IF 자동 이득조절 루프 해석 및 설계

正會員 金南泰\*, 黃潤善\*, 朴光亮\*

### Analysis and Design of RF/IF Automatic Gain Control Loops

Nam Tae Kim\*, Yun Son Hwang\*, Kwang Ryang Park\* Regular Members

#### 要 約

본 논문에서는 통신 송수신 시스템에 사용되는 AGC 루프를 해석하고 설계하였다. 설계자는 본 이론에 의하여 입력 신호의 스텝, 램프입력 변화와 입력전력 변조주파수에 대한 AGC\시스템의 응답특성을 예측할 수 있다. 또한 Bullock 과 Prymek의 연구결과를 보완하여 이를 일반화하였으며 AGC 시스템의 설계절차에 대하여 논함으로써 이론의 실용성을 높였다. 본 논문의 유도식들을 기존의 설계문제에 적용할 때 계산결과는 기존의 연구결과와 일치한다.

#### ABSTRACT

In this paper, analysis and design theory for automatic gain control(AGC) loops which are used in communications transceivers is presented. The use of this theory permits the designer to specify response characteristics of the AGC system with respect to the step, the ramp input and the input modulation frequency. Also, Bullock's and Prymek's results are generalized by this study and the procedure designing the AGC system is presented for high applicability to practical problems. In the particular application of the equations derived in this paper to the design problems existing, the calculated results correspond to well-known results.

#### I. 서 론

통신시스템에 사용되는 자동 이득조절 루프(AGC loop)는 입력신호의 크기가 변화해도 그 이득을 자동적으로 조절하여 항상 일정한 출력전력을 유지하는 장치이

다. 이러한 장치는 LNA 후단 또는 IF 단에 위치하여 수신신호의 복조를 용이하게 하는 역할을 하며 전력 증폭기의 전단에서 이의 동작점을 일정하게 유지하는 역할도 한다. 그러나 수신신호의 특성을 고려치 않은 AGC 시스템은 신호 왜곡과 루프 발진을 초래할 수 있으며

\*한국전자통신연구소

Electronics and Telecommunications Research  
Institute

論文番號 : 94347

接受日字 : 1994年 12月 2日

fading 등으로 인한 입력전력의 변화속도에 적절하게 반응하지 못함으로써 전체 시스템의 성능을 저하시키기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 형태의 AGC 시스템이 연구된 바 있다.<sup>(1)-(5)</sup>

근자에 이르러 Bullock<sup>(6)</sup>과 Prymek<sup>(7),(8)</sup>은 1차 및 2차 AGC 루프를 해석하였으나 Bullock의 연구는 AGC 루프의 주요 구성요소로서 출력전력에 따른 AGC 응답시간을 일정하게 유지하는 대수증폭기(logarithmic amplifier)를 고려치 않았으며 Prymek의 경우도 2차 루프의 요구 제동비(damping ratio)를 만족하는 루프이득 선정방법이 생략되어 있다.

본 논문에서는 이들의 연구결과를 보완하여 대수증폭기를 포함하는 일반적인 형태의 AGC 증폭기에 대한 루프 전달함수를 유도하며 이로부터 루프 제동비와 루프이득 간의 최적치 선정방법 및 AGC 규격으로 부터 전체 시스템을 구성하는 절차에 대하여 알아보기로 한다.

## II. 루프 전달함수

그림 1의 AGC 시스템을 생각한다. 이 시스템은 RF 또는 IF 증폭기, VCA(voltage controlled attenuator), 결합기(coupler), 포락선 검파기(envelope detector), 대수증폭기, 차동증폭기 및 저역통과 여파기로 구성되어 있다. 여기서  $G_1$ ,  $G_2$ 는 RF/IF 증폭기의 이득,  $A_d$ 는 차동 증폭기의 이득을 나타내며 검파기에는 비디오(video)증폭기가 포함되어 있다. 이 경우 AGC 루프의 출력전력 레벨은 출력전력 제어전압  $V_c$ 을 변화시킴으로서 조정되게 되며 이는 주로 통신 링크상의 fading 등으로 인한 손실을 보상하여 요구 C/N 비를 만족시키는 데 그 목적이 있다.

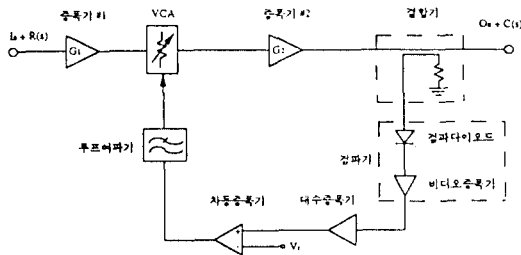


그림 1. AGC 루프 구성도  
Fig. 1. Block diagram of the AGC Loop

기존의 AGC 시스템<sup>(4),(6),(7)</sup>은 그림 1에서 대수증폭기가 생략된 구조를 갖는다. 이러한 구조에서 다이오드 입력전력에 대한 검파전압의 기울기(V/dBm)는 지수함수적으로 변화하게 되므로 이 경우 루프 응답시간은 AGC 출력전력레벨 선택상태에 따라 달라지게 된다. 그러나 루프 응답시간의 변화는 변조된 신호의 왜곡을 초래할 수 있으므로 어느 범위의 AGC 출력전력에 대하여 이를 일정하게 유지할 필요가 있다. AGC 출력전력 변화로 인한 루프응답시간의 변화는 루프상에서 검파전압을 대수적으로 변환하여, 다이오드 입력전력에 대한 검파전압의 기울기를 주어진 범위의 AGC 출력전력에 대하여 일정하게 유지함으로써 해결될 수 있다 따라서 어떤 AGC 출력전력레벨 선택상태에서도 일정한 루프 응답시간을 얻기 위해서는 검파기 후단에 대수증폭기를 추가하여 기존의 루프해석을 확장할 필요가 있다. 본 논문에서는 기존의 AGC 루프에 대수증폭기가 추가된 그림 1의 AGC 루프를 고찰해 보기로 한다. AGC 루프에 대수증폭기를 포함하면 필요에 따라 그 출력전력을 제어전압에 대하여 선형적으로 변화시킬 수 있으므로 이 구조는 출력전력 제어측면에서도 충분한 잇점을 갖는다.

Victor<sup>(11)</sup>에 의하면 AGC 루프는 신호레벨, 증폭기 이득, VCA 감쇠값 및 결합기의 결합도를 dB 단위로 표시했을 때 비선형 시스템에서 선형 시스템으로 변환되므로 본 논문에서는 이의 해석을 용이하게 하기 위하여 이들 파라미터를 dB 단위로 생각하기로 한다. 이때 그림 1의 AGC 루프는 제어이론에 의하여 그림 2와 같은 신호 흐름도(signal flow graph)로 나타낼 수 있다. 여기서  $I_n$ 과  $O_n$ 은 통상 입력전력(dBm) 및 출력전력(dBm)을 표시하며 R(s)와 C(s)는 각각 입력력 전력변동율(dBm)을 나타낸다.  $G_1$ ,  $G_2$ 와  $L_{cc}$ 는 각각 dB 단위의 RF/IF 증폭기 이득 및 결합기의 결합도이며  $L_{ct}$  역시 dB 단위로서 결합기 판통단 손실(through port loss)을 나타낸다.  $K_{det}$ 와  $A_v$ 는 각각 검파 다이오드 감도(V/dB) 및 비디오 증폭기의 이득이며  $K_{det}$ 는 다이오드 입력전력  $P_n$ (dBm)이 인가되었을 때 검파전압  $V_{det}$ 를 산출하는데 사용된다.  $V_d$ 는 대수변환된 검파전압으로서 이는  $V_d = K_1 \log(K_2 A_v V_{det})$ 의 관계에 의하여 계산된다. 여기서  $K_1$ ,  $K_2$ 는 대수증폭기 상수이다. 한편,  $K_{vca}$ 는 dB/V 단위의 VCA 감도로서 단위전압 당 RF 신호의 감쇠량을 표시하며  $A_d$ 는 차동증폭기의 이득을 나타낸다.

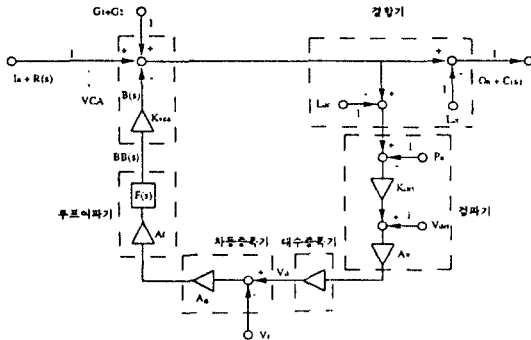


그림 2. AGC 루프의 신호 흐름도  
Fig. 2. Signal flow graph of the AGC loop

dB 단위의 AGC 루프는 선형 시스템이므로 중첩의 원리를 적용할 수 있으며 이에 일반 이득공식(general gain formula)<sup>(9)</sup>을 적용하면 각 입력으로 인한 출력전력  $O_n + C(s)$ 는 다음과 같이 된다.

- $I_n + R(s)$ 로 인한 출력 전력

$$O_n + C(s) |_{I_n + R(s)} = \frac{I_n + R(s)}{1 + KF(s)} \quad (1)$$

- $G_1 + G_2$ 로 인한 출력 전력

$$O_n + C(s) |_{G_1 + G_2} = \frac{G_1 + G_2}{1 + KF(s)} \quad (2)$$

- $V_d - V_r$ 로 인한 출력 전력

$$O_n + C(s) |_{V_r - V_d} = \frac{(V_r - V_d)KF(s)}{1 + KF(s)} \quad (3)$$

- $L_{cc}$ 로 인한 출력 전력

$$O_n + C(s) |_{L_{cc}} = \frac{L_{cc}KF(s)}{1 + KF(s)} \quad (4)$$

- $L_{ct}$ 로 인한 출력 전력

$$O_n + C(s) |_{L_{ct}} = -L_{ct} \quad (5)$$

여기서

$$K = K_d K_{vca} A_d A_f \quad (6)$$

$$K_d = K_1 / 10$$

이며  $F(s)$ 와  $A_f$ 는 각각 저역통과 여파기의 주파수 함수 및 이의 계수를 나타낸다.

그림 2와 같이 다수의 입력이 동시에 존재할 경우, 식 (1)~식 (5)의 결과를 종합하면 AGC 루프의 출력 전력에 대한 다음 식을 얻는다.

$$O_n + C(s) = \frac{(I_n + R(s) + G_1 + G_2) + KF(s)(L_{cc} + (V_r - V_d)/K_d)}{1 + KF(s)} - L_{ct} \quad (7)$$

식 (7)으로부터  $I_n$ ,  $R(s)$ 와  $G_1$ ,  $G_2$ 의 변화로 인한 출력전력의 변화는  $1/(1 + KF(s))$  만큼 감소한다. 따라서 그림 1의 AGC 루프는 입력전력의 변화로 인한 출력전력의 변화를 압축(compression)하는 효과를 갖는다. 또한 출력전력은 출력전력 제어전압  $V_r$ 과 검파전압  $V_d$ 에 의해서도 영향을 받으며 이 변화는  $1/K_d$  만큼 줄어든다. 대부분의 AGC 루프는  $KF(s) \gg K_d$ 의 관계가 있으므로 출력전력은  $V_r$ ,  $V_d$  및  $L_{cc}$ ,  $L_{ct}$ 에 가장 큰 영향을 받는다. 결합기는 온도변화에 대하여 그 특성이 비교적 안정되어 있으므로  $L_{cc}$ 와  $L_{ct}$ 는 온도에 대하여 크게 변화하지 않는다. 따라서 이의 변화에 대한 출력전력 변화의 영향은 무시할 수 있다. 그러나 기준전압과 포락선 검파기는 온도변화와 사용시간에 대하여 민감하게 변화하므로 이러한 소자를 선정할 때는 세심한 주의가 필요하다. 이외에도 검파기 후단에 위치하는 소자의 특성 변화 또한 출력전력 레벨에 영향을 미친다. 이러한 변화는 주로 비디오 증폭기와 차동 증폭기의 입력 off-set 전압으로 인한 것이다. 온도 및 시간에 따른 off-set 전압의 변화는  $V_r$ 의 변화와 등가하며 이에 대한 출력전력의 감도는  $1/K_d$ 과 같다. 한편, 루프상의 소자에서 발생하는 off-set 전압의 영향은 차동 증폭기 입력단의 off-set 전압으로 환산하여 평가할 수 있다.<sup>(8)</sup>

루프 오차의 또 다른 원인은 RF 또는 IF 경로 상에 존재하는 RF/IF 여파기와 루프 구성시 사용되는 연산 증폭기(OP amp.)의 극(pole)이 된다. 이 경우, RF/IF 여파기의 대역폭이 루프 여파기의 대역폭과 비교가 가능(comparable)하면 그 영향은 무시할 수 없으며 이의 전달함수는 루프해석에 포함되어야 한다.<sup>(10)</sup> 한편, 루프 여파기로서 연산증폭기를 사용할 때도 이의 대역폭이 루프 대역폭 보다 작으면 이 또한 루프해석에 포함하여 그 영향을 고찰하여야 한다. 그러나 범용

(general purpose) 연산증폭기는 fading으로 인한 출력변동을 보상할 수 있는 충분한 대역폭을 가지므로 대부분의 경우 이의 대역폭은 문제가 되지 않는다.

AGC 증폭기의 요구 출력전력은 식 (7)의 출력 제어 전압  $V_r$ 을 변화시킴으로서 원하는 레벨로 조정할 수 있으며 이때 입력전력의 변화로 인한 출력전력의 변화는  $1/(1+KF(s))$  만큼 감소한다.  $V_d$  또한  $V_r$  만큼 출력전력에 큰 영향을 미치게 되므로 온도에 대한 AGC 루프의 출력전력 변동을 방지하기 위해서는 온도에 따른 검파기의 감도변화를 보상하는 장치가 필요하다.

AGC 시스템의 동 응답(dynamic response) 특성을 파악하기 위하여 입력전력 변화로 인한 출력전력 변화량만을 고려하면 식 (7)은 다음과 같이 된다.

$$M(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{1+KF(s)} \quad (8)$$

여기서  $M(s)$ 는 폐루프 시스템 전달함수(closed loop system transfer function)이며 이를 단일루프 제어 시스템과 비교했을 때 순방향 전달함수(forward-path transfer function)  $G(s)$  및 귀환 전달함수(feedback-path transfer function)  $H(s)$ 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} G(s) &= 1 \\ H(s) &= KF(s) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)로 부터 폐루프 귀환전달함수(closed loop feedback transfer function)  $T(s)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$T(s) = \frac{B(s)}{R(s)} = \frac{KF(s)}{1+KF(s)} \quad (10)$$

따라서 루프의  $K$ 와  $F(s)$ 가 주어진다면 입력전력의 변화로 인한 출력전력 변동율을 식 (8)로 부터 결정할 수 있으며 입력전력 변화가 루프 여파기 대역내의 주파수로 한정될 때 루프 전달이득은 매우 큰 값을 갖도록 설계되므로 출력전력의 변화는 매우 적어지게 된다.

### Ⅲ. 루프 파라미터

#### 1. 1차 AGC 루프

1차 AGC 루프로는 이를 type 1으로 만드는 적분형 여파기가 주로 사용되며<sup>(7)</sup> 이는 스텝입력 변화를 오차없이 추적할 수 있고 램프입력 변화는 일정량의 오차를 가지고 추적할 수 있다. 따라서 1차 AGC 루프는 루프여파기가 적분기인 경우를 생각하기로 한다. 귀환신호  $B(s)$ 가 최종 변화량의 5% 이내로 도달하는 데 걸리는 정착시간(settling time)  $t_s$  및 이의 3dB 주파수  $f_{3dB}$ 는 식 (10)으로부터 각각 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{3.0}{K} \\ f_{3dB} &= \frac{K}{2\pi} \end{aligned} \quad (11)$$

1차 AGC 루프 설계시 루프 3dB 주파수 및 이에 따른 정착시간은 식 (11)로 부터 적절한  $K$ 를 선택함으로써 결정된다. 적분형 루프 여파기의 경우 1차 AGC 루프는 식 (10)에서  $K$ 가 양의 값을 가질 때 안정되게 되며 그 크기는 루프 정착시간으로 부터 결정된다. 이때  $K$ 로 부터 귀환 전달이득이 1이 되는 주파수가 결정되므로 이 주파수에서 귀환전달이득의 위상이  $180^\circ$ 가 되지 않도록 루프를 설계해야 이의 발전을 방지할 수 있다.

#### 2. 2차 AGC 루프

Type 1의 1차 AGC 루프는  $K$ 에 의하여 루프 상승시간을 조정하게 되므로  $K$ 의 값이 매우 적은 경우 이의 극(pole)은 허수축에 근접하여 루프의 발전을 초래할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 AGC 루프 여파기는 전 절의 여파기에 극과 영(zero)의 조정이 자유로운 위상 지연(phase lag) 회로를 부가하여 사용한다. 이 경우 AGC 시스템은 2차 루프가 되며 이때의 루프 여파기는 그림 3과 같이 된다.

그림 3의 루프 여파기의 전달함수  $F(s)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$F(s) = \frac{s + \tau_2^{-1}}{s(s + \tau_1^{-1})} \quad (12)$$

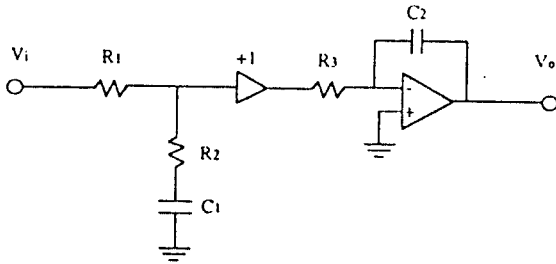


그림 3. 2차 AGC 루프 여파기  
Fig. 3. Loop filter in the second order AGC loop

여기서

$$\begin{aligned} \tau_1 &= (R_1 + R_2)C_1 \\ \tau_2 &= R_2C_1 \end{aligned} \quad (13)$$

이며 식 (12)와 식 (13)을 식 (10)에 대입한 후, 이를 2차 제어계(second order control system)의 표준형으로 변환하면 다음과 같이 된다.

$$T(s) = \frac{\omega_n^2(\tau_1^{-1}s + 1)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (14)$$

여기서

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{K + \tau_1^{-1}}{2\omega_n} \\ \omega_n &= \sqrt{\frac{K}{\tau_2}} \\ K &= K_d K_{vca} A_d \frac{\tau_2}{\tau_1 \tau_3} \\ \tau_3 &= R_3 C_2 \end{aligned} \quad (15)$$

이며  $\zeta$ 와  $\omega_n$ 은 각각 시스템의 제동비와 고유진동 각주파수(natural angular frequency)를 나타낸다.

식 (14)에 의하여 표시되는 2차 AGC 시스템의 과도 응답 특성은 식 (12)를 식 (10)에 대입한 후  $1 + KF(s)$ 의 근을 s 평면 상에 도시함으로써 파악할 수 있다. 이때 이의 근궤적(root loci)은 그림 4와 같다.

그림 4에서 K가 0일 때 2차 AGC 시스템의 두 극은  $s=0$ 와  $s=-1/\tau_1$ 에 위치하게 된다. 이 경우, 적분기의 극

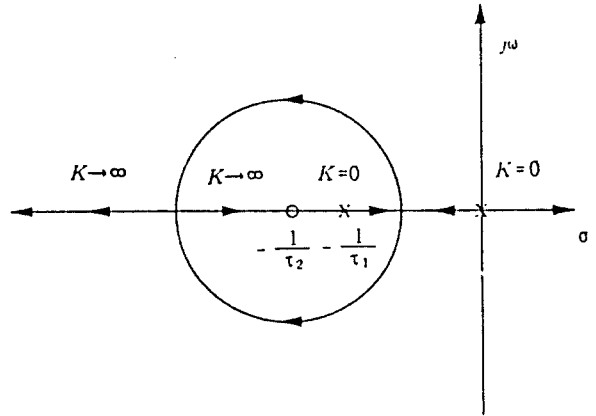


그림 4.  $1 + KF(s)$ 의 근궤적  
Fig. 4. Root Loci of  $1 + KF(s)$

이  $j\omega$  축으로 접근함에 따라 시스템은 발진하게 되나 이는  $\sigma$  축상의 다른 극으로 인하여 과제동(over-damping)이 됨으로써 전체 시스템은 안정되게 된다. K가 증가함에 따라 두 극은 각각  $\sigma$  축의  $-\infty$ 와  $-1/\tau_2$ 로 접근하게 된다. AGC 시스템 설계에 있어서 이의 요구 제동비는 근궤적도(root locus diagram) 상에서 요구 제동비에 상응하는 K를 선택함으로써 결정된다.

식 (14)의 Laplace 역변환  $b(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$b(t) = 1 + Ae^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega t + \theta) \quad (16)$$

여기서

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \\ A &= \sqrt{\frac{1 - \zeta^2}{1 - 2\zeta\omega_n + (\tau_2\omega_n)^2}} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\tau_2\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}{1 - \tau_2\zeta\omega_n} - \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{-\zeta}$$

이다. 한편, 최대 overshoot가 일어나는 시간  $t_{max}$  및 AGC 정착시간  $t_s$ 는 식 (16)으로부터 결정할 수 있으며 이는 각각 다음과 같이 된다.

$$t_{max} = \frac{\pi - \phi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

$$t_s = \frac{3.0 - \ln A}{\zeta \omega_n} \quad (18)$$

여기서

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\tau_2 \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}{1 - \tau_2 \zeta \omega_n} \quad (19)$$

이며 이들은  $\tau_2$ ,  $\zeta$  및  $\omega_n$ 으로 부터 결정됨을 알 수 있다. 루프 정착시간은 식 (16)의 정현함수 포락선이 75% 증변화의 5% 까지 도달하는 데 걸리는 시간이다.

#### IV. 시스템 설계

본 장에서는 상기 식들을 이용하여 주어진 규격을 만족하는 2차 AGC 시스템을 설계하기로 한다. 설계에 앞서 이론의 타당성을 검토하기 위하여 Bullock의 설계문제<sup>(6)</sup>에 본 논문의 결과를 적용해 보기로 한다. Bullock의 설계문제는 입력 퍼라미터로서 입력신호의 최소 변조주파수는  $f_{min}=30(\text{Hz})$ ,  $\omega_n=10(\text{rad/sec})$ ,  $\zeta=0.707$ , 검파기의 감도  $K_d=0.15(\text{V/dB})$ , VCA의 감도  $K_{vca}=15.0(\text{dB/V})$ 가 주어졌을 때 루프 퍼라미터  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ ,  $K_d$ 의 값을 결정하는 것이다. 이 경우 AGC 루프는 대수증폭기가 생략된 경우이므로  $K_d$ 는 이 값을 계산한 특정한 AGC 출력전력 레벨에서만 사용할 수 있다. 이때 이 문제의 설계결과는 본 논문의 유도식에 의하여 다음과 같이 계산된다.

우선, 주어진 조건의  $\zeta$ 에 상응하는 K를 선정하기 위하여 영 및 극의 위치를 각각  $-2\zeta\omega_n$  및  $-\zeta\omega_n$ 으로 두면 식 (15)로부터  $\tau_1$ 과  $\tau_2$ 는 각각 0.1414, 0.0707로 계산된다. 그 다음,  $\tau_3$ 를 계산하기 위해서는 K 값이 지정되어야 하며 이는 식 (15)에 의하여 7.07로 주어진다. 계산된 K로부터  $\tau_3$ 와  $K_d$ 의 값을 구하기 위하여  $K_d$ 의 값으로서 루프상에 대수증폭기가 포함되어 있는 경우인 식 (6)의 값 대신, 위에서 주어진  $K_d$ 값 0.15(V/dB)를 사용하고 VCA의 감도  $K_{vca}=15.0(\text{dB/V})$ 를 이용하면 식 (15)로부터  $K_d=6.27$ ,  $\tau_3=1.0(\text{sec})$ 의 값을 얻는다. 여기서 차동증폭기의 이득은 K가 양의 값을 갖도록 그 부호를 적절하게 선정하면 된다. 이상의 결과를 식 (14) 및 식 (15)에 대입하여 본문의 근을 구해보면 이는  $s=-7.07 \pm j7.07$ 로 주어지므로 상기 절차에 의하여 K는 주어진  $\zeta$ 에 상응하는 값으로 선택되어 있음을 알

수 있다. 이때 계산된  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ ,  $A_d$ 의 값은 Bullock의 연구결과와 일치한다. 따라서 본 논문의 유도식들은 식 (6)의 값 대신, 이의 특수한 경우로서 특정한 AGC 출력전력 레벨에서 지정된  $K_d$  값을 사용함으로써 대수증폭기가 생략된 형태의 AGC 루프에도 적용할 수 있음을 알 수 있다.

그 다음은 본 논문의 결과를 이용하여 주어진 규격으로 부터 대수증폭기가 포함된 2차 AGC 시스템을 설계하는 방법에 대하여 살펴보기로 한다. AGC 시스템 설계는 주어진 규격의 입출력 전력범위로 부터 AGC 루프가 가져야 할 RF/IF 증폭기의 이득 및 VCA의 감쇠량을 계산하는 것으로 부터 시작된다. 증폭기의 이득 및 VCA의 감쇠량이 계산되었다면 검파다이오드의 자승법칙 또는 선형영역 중 어느 영역을 사용할 것인지를 결정하고 AGC 출력전력이 선택된 영역의 다이오드 입력신호 레벨에 상응하도록 결합기의 결합도를 결정한다. 그 다음, 입력신호의 특성 및 AGC 정착시간으로 부터 시스템의 고유진동 각주파수  $\omega_n$ 을 결정하고 최대 overshoot 요구조건으로 부터 제동비  $\zeta$ 를 적절하게 선택한다. 이렇게 해서 결정된  $\omega_n$ 과  $\zeta$ 로 부터  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ , K,  $A_d$  등을 계산한다. 이 계산에 필요한  $K_d$  및  $K_{vca}$ 는 AGC 루프를 실제로 구성하는 검파기, 대수증폭기 및 VCA로 부터 주어지게 된다.

위의 설계절차를 다음의 AGC 시스템 규격에 적용하여 주어진 성능을 만족하는 AGC 루프를 설계해 보기로 한다.

- 입력전력 변화범위 : -51~-33 dBm
- 요구 출력전력 : -15 dBm~-2 dBm
- 최대 overshoot : 최종 변화량의 10% 이내
- 루프 정착시간 : 0.1 sec

상기 규격에 의하여 주어지는 AGC 시스템은 입력전력이 fading 등으로 인하여 -51~33 dBm 사이에서 변화할 때 그 출력전력을 식 (8)에 의하여 주어지는 레벨로 일정하게 유지할 수 있으며 그 레벨은  $V_f$ 을 조정함으로써 -15 dBm~-2 dBm 사이에서 고정시킬 수 있다.

요구규격으로 부터 RF 증폭기가 가져야 할 이득은 49dB, VCA가 가져야 할 감쇠량은 31dB로 계산된다. 여기서 schottky barrier 다이오드를 검파다이오드로

사용하고 이의 자승범칙영역을 동작영역으로 선택하면 이의 자승범칙영역은 통상 -20dBm 이하이므로 결합기의 결합도는 약 18dB가 되어야 한다. 그 다음, AGC 정착시간을 만족하는  $\omega_n$ 을 결정하기 위하여 영과 극의 위치를  $-2\zeta\omega_n$  및  $-\zeta\omega_n$ 으로 두고 시스템의 최대 overshoot를 10% 이내로 제한하기 위하여  $\zeta$ 는 0.707로 선택하기로 한다. 이 경우 식 (17)의 A는 1이 되며 식 (18)로부터  $\omega_n$ 은 약 42.4(rad/sec)로 주어지므로 식 (15)에 의하여  $\tau_2$ 는 0.017(sec)로 주어진다. 한편  $\tau_1$ 은 식 (15)로부터 0.034(sec)로 주어지며 이때 K는 30.5의 값을 갖는다. 여기서 루프 구성소자로 부터 주어지는  $K_d$ 는 식 (6)의  $K_1$ 이 1인 대수증폭기(예: AD 759N)를 사용한다고 하면  $K_d=0.1(V/dB)$ 가 되며, VCA의 감도  $K_{vca}$ 를 38.0(dB/V)라 하면 식 (15)에 의하여  $A_d=16.1$ ,  $\tau_3=1.0(sec)$ 로 계산된다. 이상의 퍼라미터를 식 (14)에 대입하여 계산했을 때 스텝입력에 대한 2차 AGC 루프의 응답특성은 그림 5와 같이 주어진다. 이러한 특성은 루프상의 대수 증폭기에 의하여 상기 규격의 출력범위에서 일정하게 유지된다.

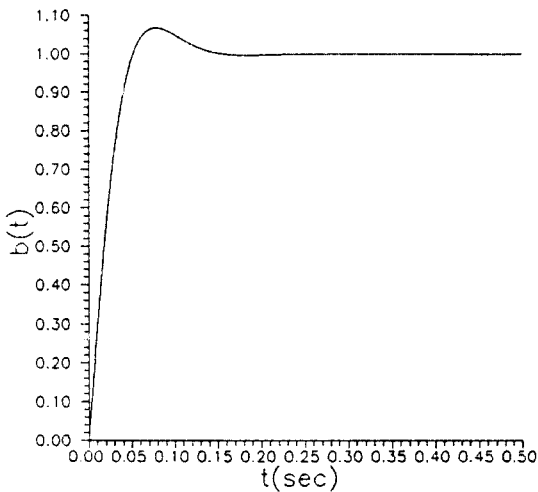


그림 5. 2차 AGC 루프의 스텝 응답  
Fig. 5. Step response of the second order AGC loop

그림 5에서 최대 overshoot는 최종치의 6.8%이고 AGC 정착시간은 0.1(sec)로서 주어진 설계치를 만족한다. 이상의 절차에 의하여 설계자는 요구규격에 부응하는 AGC 시스템을 설계할 수 있다. 여기서 AGC 루프

프 정착시간은 입력신호의 특성을 고려하여 적절하게 선택하여야 신호의 왜곡을 방지할 수 있으며 이는 시스템의 고유진동 주파수를 변화시킴으로서 조정할 수 있다.

대수증폭기가 고려되지 않는 Bullock의 연구결과에서  $K_d$ 는 다이오드 입력전력에 대한 검파전압 특성 중 어느 한 점에 대한 값이므로 이는 AGC 출력전력의 한 점에서만 사용이 가능하다. 그러나 검파기 후단에 대수증폭기를 사용하면 이는 AGC 출력전력(dBm)에 대한 검파전압의 특성을 선형화하는 효과가 있으므로 이 경우  $K_d$ 는 다이오드의 자승범칙영역 또는 선형영역에 대하여 단일 값으로 사용할 수 있다. 따라서 AGC 출력전력을 필요에 따라 변화시킬 경우, 루프응답시간은 이들 영역에서 일정한 값을 갖게 되므로 루프응답시간의 변화로 인한 변조신호의 출력특성은 출력전력에 따라 변화하지 않고 시스템 설계시 정해지는 일정한 값으로 고정되게 된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 통신 송수신 시스템에 사용되는 AGC 루프의 해석 및 설계 방법에 대하여 살펴보았다.

제시된 AGC 모델로부터 루프 상의 각 퍼라미터 변화로 인한 AGC 출력전력 변동영향을 고찰하고 입력전력 변화에 대한 출력전력의 동 응답(dynamic response) 특성에 대한 식을 유도하였다. 또한 검파기의 검파전압을 출력전력(dBm)에 대하여 선형화하는 대수 증폭기를 루프 해석에 포함함으로써 Bullock과 Prymek의 연구결과를 일반화하였으며 유도된 수식을 기존의 설계 문제에 적용함으로써 이론의 타당성을 입증하였다. 또한 AGC 시스템의 설계절차에 대하여 언급함으로써 제시된 이론의 실용성을 높였다.

AGC 시스템을 구성하는 요소 중 검파기의 감도는 온도에 대하여 가장 민감하게 변화하므로 AGC 회로는 이 변화를 보상하는 온도보상회로가 반드시 필요하며 신뢰성 있는 AGC 시스템을 구성하기 위해서는 시간 및 온도에 따른 각 소자의 특성변화가 출력전력에 미치는 영향도 고찰하여야 할것이다.

## 참고문헌

1. W. K. Victor and M. H. Brockman, "The

application of linear servo theory to the design of AGC loops", *Proc IRE*, pp. 234-238, Feb. 1960

2. A. Ossoff, "Design of a solid state IF AGC system for pulsed carrier microwave receivers", *Microwave Journal*, pp. 43-48, July 1967
3. J. E. Ohlson, "Exact dynamics of automatic gain control", *IEEE Trans. Communications*, pp.72-75, Jan. 1974
4. R. S. Hughes, "Design automatic gain control loops the easy way", *EDN*, pp. 123-128, 5, Oct. 1978
5. H. Xu, "AGC handles transients of pulsed radar signal", *Microwaves and RF* pp. 183-190, May 1986
6. S. R. Bullock, "Simple techniques yield errorless AGC systems", *Microwaves and RF*, vol. 28, no. 8, pp. 85-93, Aug. 1989
7. R. E. Prymek, "Basic techniques guide the design of AGC systems", *Microwaves and RF*, vol. 30, no. 9, pp. 99-106, Sept. 1991
8. R. E. Prymek, "Op-amp filters control responses in AGC systems", *Microwaves and RF*, vol. 30, no. 10, pp. 111-121, Oct. 1991
9. B. C. Kuo, *Automatic Control Systems : Fourth Edition*, Prentice-Hall, pp. 95-113, 1982
10. F. M. Gardner, *Phase Lock Techniques : Second Edititon*, John Wiley & Sons, New York, pp. 160-161, 1979



**金南泰 (Nam Tae Kim)** 정회원  
 1964년 9월 18일생  
 1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1988년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)

1992년 6월~현재 : 한국전자통신연구소 탑재장치연구실 선임연구원

※ 주관심분야 : 각종 도파계와 복사계의 전자제 해석, 위성중계기용 마이크로파 회로설계 제작



**黃潤善 (Yun Son Hwang)** 정회원  
 1962년 2월 11일생  
 1989년 2월 : 단국대학교 전기공학과 졸업(공학사)  
 1990년 2월~현재 : 한국전자통신연구소 탑재장치연구실 선임연구원  
 ※ 주관심분야 : 위성통신시스템, 위성중계기 성능분석



**朴光亮 (Kwang Ryang Park)**정회원  
 1956년 8월 14일생  
 1980년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1982년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1994년 7월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

현 재 : 한국전자통신연구소 탑재장치연구실 선임연구원  
 ※ 주관심분야 : 위성통신시스템, 위성중계기 및 부품설계