

論文97-34D-2-2

펄스 도플러 레이더의 수신단 이득 제어를 위한 자동 이득 조절 장치의 구현

(Implementation of Automatic Gain Control Circuit for the Gain Control of Receiving stage in Pulse Doppler Radar)

金世映*, 梁鎮模*, 金瑄周*, 田炳泰*

(Se-Young Kim, Jin-Mo Yang, Seon-Joo Kim, and Byeong-Tae Jeon)

요 약

본 논문은 펄스 도플러 레이더 시스템에 적합한 고감도 다기능 수신 장치의 중간 주파수처리부(IF processor) 이득을 제어할 목적으로 개발한 자동 이득 조절 장치(AGC; Automatic Gain Control)의 설계, 제작 그리고 개발에 관해서 기술하였다. 레이더 시스템의 수신단은 표적의 유효 거리, 유효 단면적(RCS ; Radar Cross Section) 그리고 많은 외부 환경(각종의 클러터)들로 인해 수신기의 동적 범위(Dynamic Range)를 벗어나게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 연속/펄스와 AGC 회로가 구현되어 수신기의 이득 제어 특성을 안정화시켰으며, 1 dB 압축점에 의해 제한된 수신기의 이득 기울기를 선형적으로 조절함으로써 동적 범위를 크게 증가시킬 수 있었다. 본 논문에서는 수신기의 전체 이득을 제어할 목적으로 아날로그 궤환 방식을 이용하여 AGC 회로를 설계하였다. 또한 펄스 신호에 대해서는 빠른 응답 특성을 가지는 회로가 구현되었으며, IF 단의 이득 제어 기법, 실제 제작 방식(패키지 형태의 소자) 그리고 자동이득 조절 장치의 성능이 제시되어 있다.

Abstract

This paper describes the design, the manufacture and the development of the Automatic Gain Control unit which adjusts the gain of IF processor in the High Sensitive & Multifunctional Receiver Unit (HMR) for Pulse Doppler Radar System. According to the effective distance of target, Radar Cross Section, and a lot of external environments(such as Clutter), the receiving stage of RADAR system often deviates from Dynamic Range. To solve this kind of problem, Continuous/Pulse Wave AGC are realized, make it possible to control the gain characteristics of receiver stably, and can increase dynamic range linearly by adjusting the gain slope of receiver which is limited by 1-dB gain compression point. In this study, AGC unit is designed to regulate the total gain of receiver by using the analog feedback theory. It also has rapid enough response to process pulse signal. This study presents the gain control method of IF, the real manufacture technique(the package-type components) and the measurement performance of AGC.

I. 서 론

펄스 도플러 레이더는 크게 안테나, 송수신기, 신호

처리기 그리고 통제장치로 구분된다. 그림1 은 레이더 시스템의 일반적 구조를 나타내고 있다. 주파수 합성 장치로 부터 발생된 송신신호는 선형 주파수 변조 방식에 의해 SSB 변조되어 안테나의 공간 급전기(space feeder)로 급전되어 위상 배열 안테나(phase array antenna)에 의하여 대기중으로 전파하게 된다.^[1] 이

* 正會員, 國防科學研究所
(ADD)

接受日字:1996年11月25日, 수정완료일:1997年2月11日

렇게 전파된 전자파는 그 산란특성상 목표물의 유효단면적(RCS; Radar Cross Section), 기상조건 그리고 탐지거리에 따라 반사되는 신호의 크기가 다르게 나타나기 때문에, 안테나를 거쳐 수신되는 신호의 최소레벨과 최대레벨의 차이는 매우 크게 나타나게 된다. 그러나, 설계된 RF 수신장치의 동적범위는 선택된 소자의 선형 특성상 제한되기 때문에 높은 레벨의 입력 신호가 들어오는 경우에는 보통 증폭기의 1-dB 이득 포화점에 따라 수신장치가 포화되게 된다. 일단 이렇게 포화된 수신기는 유효 정보의 주파수 스펙트럼을 상실하게 됨에 따라 후단의 신호처리에 낮은 값의 SNR을 제공함으로써 수신된 유효 정보의 거리 및 방위각 정보를 상실시키는 결과를 초래하게 된다. 안테나로부터 수신한 표적의 유효정보(위상,진폭)를 알맞게 신호처리하기 위해서, 펄스 도플러 레이더의 부체계 시스템인 수신장치는 시스템 잡음 온도를 가능한 최소화시켜야 하며, 또한 높은 시스템 이득이 요구된다. 이와같이 낮은 레벨의 신호뿐만 아니라 높은 레벨의 신호에 안정된 선형 동적 범위를 제공기 위하여 자동이득 조절 장치가 설계 제작되었다.

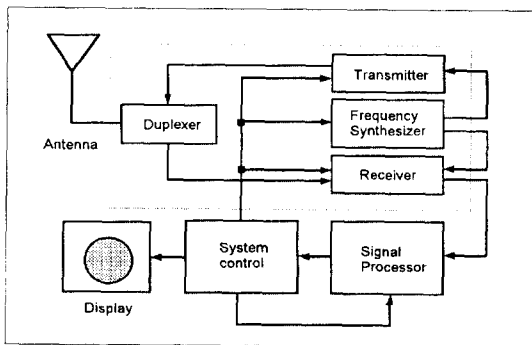


그림 1. 레이더 시스템의 일반 구조
Fig. 1. General structure of RADAR system.

본 논문에서 설계, 제작된 장치는 각종 검파기(선형/로그/위상 검파기)의 동적 범위를 확보하고 A/D 변환장치에 알맞은 레벨의 신호를 제공하는 것이 주요 목적 중에 하나이다. AGC는 실질적으로 많은 무선 수신기나 TV 수신기의 중요 회로로 사용되어지고 있으며 다양한 무선 주파수 장비의 테스트에 널리 응용되어지고 있다. 특히, 군용장비로써 사용되어지고 있는 레이더 수신기들은 신호처리의 전처리 장치로서 AGC를 시스템에 도입하여 사용하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 레이더에 적용할 수 있는 자동이득 조절 장치의 기본

개념, 적용 원리, 그리고 실질적으로 고려해야 할 특성에 대해서 설명하였으며, 연속파(Continuous Wave) 레이더에 적용할 수 있는 자동 이득 조절 장치와 펄스파(Pulse Wave) 레이더에 적용되는 AGC에 대해서 비교 설명하였다. 펄스 신호에 대한 이득 조절은 그 특성상 연속적인 신호에 비해 고려해야 할 요소가 많고 제한이 되는 특성이 많기 때문에 실질적으로 AGC에 적용되는 소자의 특성에 대해서 언급하였다. 또한, 수신된 신호의 레벨 크기를 검파하는 데 사용되는 검파용 다이오드는 그 특성이 비선형 특성을 가지므로 이와 같은 비선형 특성을 어느 정도 선형화시키기 위한 기법이 논의되었다. 실제로 제작된 AGC는 연속파 레이더와 펄스 레이더에 둘다 적용할 수 있도록 모드 선택이 되어서, 레이더 통제 컴퓨터나 운용자의 요구에 맞게 이득을 설정할 수 있는 MGC(Manual Gain Control) 기능들이 포함된다. AGC는 이득을 조절하기 위해서 수신기의 IF 단에서 제한 루프를 이용하여 전압 조절 감쇄기의 감쇄량을 자동으로 조절하며 이것에 대한 전체적인 성능에 대해서 측정하였다. 또한, 자동 이득 조절 장치의 여러 가지 제반 특성인 루프 대역폭과 상승시간 그리고 정적 조절(Static Regulation)과 동적 조절(Dynamic Regulation)에 대한 성능 분석을 하였으며, 실질적인 펄스형 AGC의 구현에 중점을 두었다.

II. 펄스 도플러 레이더용 수신단에서의 AGC 구성 및 설계

본 논문에서는 수신단의 이득 특성을 제어하기 위해 제안된 자동 이득 조절 회로가 레이더 시스템에서 실질적으로 어떻게 적용되며, 어떤 구조적 특성을 가져야 하는가 그리고 레이더 수신기에 알맞는 설계 방식에 대해서 논하고자 한다. 먼저, 펄스 도플러 레이더의 수신기가 갖는 구조적 특성을 살펴보면 레이더는 임의의 코드로 변조된 신호를 주파수 합성기에 의해 생성된 신호와 혼합한 뒤 매 PRF(Pulse Repetition Frequency) 단위로 펄스 신호를 전파한다. 이와 같은 펄스 형태의 신호를 처리하기 위해서 AGC는 펄스 형태의 신호를 처리할 수 있는 구조가 되어야 한다. 2 채널 펄스 도플러 레이더용 수신단의 구조를 살펴보면 그림 2에 나타나 있는 구조와 같다. 펄스 도플러 레이더는 목표물의 도플러 변위만큼 주파수 변조된 특성을 이용

하여 이동물체의 전자파 특성 정보를 추출할 수 있다 (방위각, 고도, 거리). 펄스 도플러 레이더용 수신단은 크게 저잡음 수신부인 LNA 부분과 RF 프로세서, IF 프로세서 및 각종 검파기들(선형, 로그, 위상 검파기)들로 구성되며, IF 프로세서의 이득을 자동으로 조절해주는 자동 이득 조절부로 크게 구성된다. IF 프로세서는 RF 프로세서로부터 수신된 신호에 대해서 주파수 변환을 하며, 선형적인 증폭과 출력 신호의 레벨을 조정하기 위해서 증폭기와 전압 조절 감쇄기로 구성되어 있다.

수신기는 안테나로 부터 받아들인 신호를 Magic-T 소자를 이용하여 입력 신호를 고각(elevation angle) 쪽으로 복사패턴의 합(SUM)과 차(DEL) 신호 형태를 만들어 내고 Front-end 부분에서 입력 신호의 수신에 필요한 대역 필터링(영상신호 제거) 및 저잡음 증폭을 수행한다. 또한 RF 처리기를 이용하여 입력 신호를 1차 주파수 변환하며 최종적으로 IF 처리기를 이용하여 2차 주파수 변환을 한 뒤 수신기의 각종 검파기들이 검파할 수 있도록 출력 신호를 분배한다. 최종적인 주파수 변환 과정을 수행한 뒤 AGC 쪽으로 입력을 넘겨 줌으로써 레이더가 표적의 정확한 고각 정보를 얻을 수 있도록 수신기의 신호 처리 레벨에 알맞은 신호 레벨로 전처리되도록 설계되어 있다.

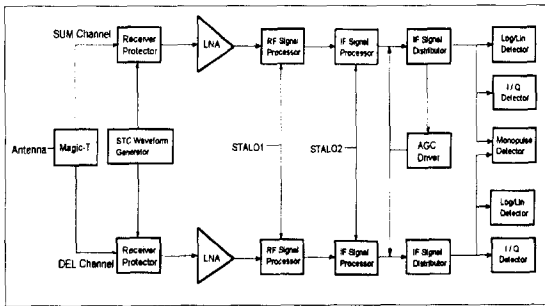


그림 2. 펄스 도플러 레이더의 수신단
Fig. 2. The Receiving Stage of Pulse Doppler Radar.

자동 이득 조절 장치를 설계할 때 고려하여야만 하는 요소들은 다음과 같은 레이더 방정식을 살펴봄으로써 알 수 있게 된다. 전파된 펄스 신호로부터 수신된 신호는 표적의 유효 단면적과 거리(레이더와 표적까지의 거리)에 따라 다른 수신 신호 레벨을 나타내므로 경우에 따라서는 입력되는 신호의 레벨차가 매우 크게 나타나게 된다. 레이더 수신기가 수신하는 입력 전력

레벨은 다음과 같은 식으로 나타내어진다.^[2]

$$P_r = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (1)$$

여기서 P_r 은 수신전력, A_e 는 수신 안테나의 유효 단면적, σ 는 표적의 RCS, R 은 표적과 레이더간의 거리, G 는 안테나 이득을 나타내는 량이다. 이와 같이 넓은 범위의 신호레벨을 신호처리가 처리하기에 알맞은 레벨로 적용하기 위해서는 자동으로 RF 혹은 IF 프로세서의 이득을 조절하여야만 한다. 또한 레이더의 운용 상태가 추적모드로 전환되는 경우에는 매 PRF 마다 수신되는 신호의 레벨 차이가 매우 크므로, 이와 같은 형태의 신호를 처리하기 위해서는 빠른 응답시간을 가지는 펄스형 AGC는 필수적이다.

일반적으로 사용되는 검파기의 선형 동적범위는 한정되어 있기 때문에 수신되는 최소신호가 검파기의 최소 입력으로 정합시키기 위해 충분한 이득으로 선형증폭을 한다면 고전력의 수신신호들은 선형증폭기를 포화시킨다. 결국 수신장치는 고전력의 유입시 수신신호의 진폭 변화를 유지할 수가 없으며, 신호자체를 일그러지게 함으로써 원하는 주파수 스펙트럼 이외에 원치않는 고조파 스펙트럼을 생성하게 된다. 그러므로 수신되는 신호의 크기에 따라 거의 일정한 신호대 잡음비를 유지할 수 있도록 선형 증폭기의 이득을 제어할 필요가 있다. 이와 같은 요구 조건에 알맞게 설계된 것이 본 고감도 다기능 수신기의 AGC이다.

AGC의 기본적인 동작원리는 그림 3에 보이는 것과 같이 수신경로상에서 임의의 수신전력을 검파회로를 이용하여 모니터링한 뒤 임의로 설정하여 놓아둔 문턱값(Threshold Level) 과 레벨 비교를 수행한 뒤 문턱값 보다 큰 값이 들어온 경우 그 차이만큼 차동신호를 증폭한 뒤 앞단에 있는 수신기의 증폭기 이득을 조절하며 신호 레벨의 값을 낮추는 것이다. 이와 같이 신호 레벨을 제한 루프를 이용하여 조절함으로써 신호 처리에 알맞은 신호를 생성하게 된다. 지금 부터는 연속과 및 펄스 AGC의 기본적인 특성이론, 주요 소자의 선택에 있어서 고려해야 하는 점, 그리고 실질적인 회로의 구성에 대해서 논의 하고자 한다. 이러한 AGC의 시스템 특성을 표현하는 변수로는 아래와 같이 세가지로 정의할 수 있다.^[2-6]

1) 정적 조절(Static Regulation)

자동 이득 조절 루프가 광범위한 입력 전력의 변동

폭을 얼마만큼의 좁은 출력 변화량으로 압축시킬 수 있는지를 나타내는 양으로써 시스템의 성능에 따라 실질적으로 조절이 가능하게 설계된 양이다.

$$\text{정적조절} = \frac{\Delta P_o(dB)(= \text{출력 전력 변동폭})}{\Delta P_{in}(dB)(= \text{입력 전력 변동폭})} \quad (2)$$

2) 동적 조절(Dynamic Regulation 혹은 Input Modulation Reduction) : IMR

이것은 자동 이득 조절 루프가 입력측의 동적 변조 (M_{pin}) 범위를 출력측의 동적 변조(M_{po}) 허용 범위내로 유지할 수 있는지를 나타내는 양이다. 이 양은 특히 conical scanning/sequential lobing 레이더와 같은 추적 레이더에서 특히 중요한 양으로써 루프의 이득(LG)에 달려있다.

$$\text{동적조절} = \frac{M_{po}}{M_{pin}} = \frac{1}{1 + LG} \quad (3)$$

여기서 $e_{IF}(Peak)$ = 최대치 IF 출력 전압, $M_{po} = \frac{\Delta e_o(Peak)}{e_o(Peak)}$, $M_{pin} = \frac{\Delta e_i(Peak)}{e_i(Peak)}$ 을 나타낸다.

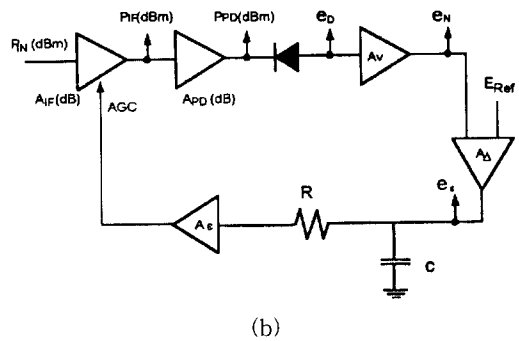
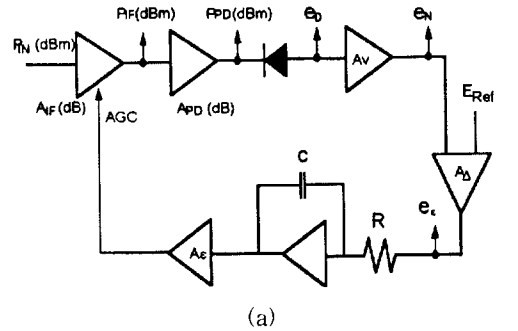
3) 루프의 상승시간, τ_r

루프의 상승시간은 AGC의 입력측에 계단형 전력(Step Power)을 인가했을 때 루프가 10%에서 90%까지 응답하는 시간으로 페루프의 3dB 대역폭과는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$f_{3dB} = \frac{0.35}{\tau_r} \quad (4)$$

AGC의 특성은 사용되어지는 루프 필터의 형태(저역 통과 필터 형태, 적분기 형태), 또한 검파기의 형태(선형, 제곱형)에 따라 특성값이 변한다. 연속과 입력에 동작하는 AGC의 형태는 그림 3과 같다. 그리고 입력되는 전력을 전압으로 변환시키기 위해 사용되는 다이오드 검파기는 입력 전력이 낮을 때는 제곱(Square-law)특성이고, 고전력의 신호에 대해서는 선형(Linear) 특성이므로 전체 시스템의 성능을 두가지 영역으로 분리하여 고려하여야만 한다.

다이오드 검파기의 전력-전압 변환효율을 제곱영역과 선형영역으로 분리하여 정적 이득(Static Gain)과 동적이득(Dynamic Gain)을 계산하여 보면 제곱영역에서 동작하고 있는 다이오드 검파기의 경우, 검파기의 정적이득을 K_{SL} 이라 했을 때 출력전압은 다음과 같이 나타내어 진다.



A_{IF} : IF 증폭기 이득, A_{IFD} : 사전검파기 증폭기 이득
 A_V : 비데오 증폭기 이득, A_{Δ} : 차등 증폭기 이득
 A_{Σ} : 오차 증폭기의 전압 이득, V_{AGC} : 이득 제어전압

그림 3. 연속과 AGC의 구조

(a) 저역통과 여과기를 사용한 경우 (b) 적분기를 사용한 경우

Fig. 3. Structure of CW AGC

(a) Low pass filter (b) Integrator.

$$e_{D,SL}[mV] = K_{SL} * 10^{\frac{P_{PD}(dBm)}{10}} \quad (5)$$

$$= 2.51 * K_{SL} * (e_{PD(p-p)})^2$$

검파기의 동적 이득을 $A_{D,SL}$ 이라 한다면, 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{D,SL} = \frac{de_D}{de_{PD(p-p)}} = 3.76 * 10^{-3} * K_{SL} * 10^{\frac{P_{PD}(dBm)}{20}} [V/V] \quad (6)$$

$$= 0.23 * 10^{-3} * K_{SL} * 10^{\frac{P_{PD}(dBm)}{10}} [V/dBm]$$

또한, 선형 영역에서 동작하고 있는 다이오드 검파기의 경우, 출력 전압과 동적 이득 관계식을 나타내면 각각 식 (7)과 식 (8) 처럼 표현된다.

$$e_D, \ln[mV] = K_{in} * 10^{\frac{P_{in}[dBm]}{20}} \quad (7)$$

$$= 1.59 * K_{in} * e_{PD(\rho - \beta)}$$

$$A_D, \ln = \frac{de_D}{de_{PD(\rho - \beta)}} \quad (8)$$

$$= 1.59 * 10^{-3} * K_{in} [V/V]$$

$$= 116 * 10^{-6} * K_{in} * 10^{\frac{P_{in}[dBm]}{20}} [V/dBm]$$

정적 조절 특성을 살펴보기 위하여 AGC의 제어 전압 (V_{AGC})에 따른 IF 증폭기의 최대 이득을 A_0 라 하고 곡선의 기울기를 X라 할때 IF 증폭기의 이득은 다음과 같은 식에 따라 선형적으로 변한다고 가정하자.

$$A_{IF}[dB] = A_0[dB] - X * V_{AGC} \quad (9)$$

$$: X = \frac{\Delta A_{IF}}{\Delta V_{AGC}}$$

그리고 제어전압은 입력전력의 변화를 Δe_D 라 한다면 다음과 같이 주어진다.

$$V_{AGC} = A_{\Delta} A_{\epsilon} (E_{ref} - A_V e_D) \quad (10)$$

$$\Delta V_{AGC} = A_{\Delta} A_{\epsilon} A_V \Delta e_D$$

식 (10)을 이용하여 다이오드 검파기의 제공영역과 선형영역에서의 입력변동에 따른 출력변화 관계식을 구하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$\Delta P_{IF,SL} [dBm] = 10 * \text{Log} \left(\frac{\Delta P_{in}[dB]}{X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N} + 1 \right) \quad (11)$$

$$\Delta P_{IF,LN} [dBm] = 20 * \text{Log} \left(\frac{\Delta P_{in}[dB]}{X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N} + 1 \right) \quad (12)$$

여기서 e_N 은 다이오드 검파기의 출력전압 평균값이다. 그리고 식 (11)과 식 (12)에서 알 수 있는 것은, 이득 기울기 X는 임의의 선택된 IF 증폭기에 대해서 일정한 값을 가지고 있기 때문에 조절 특성을 최소화하여 출력의 변화폭을 줄이기 위해서는 비데오 처리단의 이득을 가능한 최대로 하여주면 가능하게 된다. 다음으로 고려하여야 하는 동적 조절 특성은 정의식에서 나타낸 바와 같이 루프의 이득에 관계하는 양이므로 AGC의 루프이득을 결정하면 된다. 이때 저역통과 필터는 이득이 1이고 단지 루프의 주파수 응답특성에 대해서만 영향을 주기 때문에 무시하고, 만일 적분기를 사용하는 경우에는 저역통과 필터를 사용한 조정기의 루프이득에 적분기가 주파수에 의존하는 이득을 곱해 주면된다.

저역통과 필터를 사용한 AGC의 루프 이득은 다음과 같이 얻어진다.

$$LG_{SL} = 0.23 X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N = 0.23 \left\{ \frac{\Delta P_{in}[dB]}{10^{\frac{\Delta P_{in}[dB]}{10}} - 1} \right\} \quad (13)$$

$$LG_{LN} = 0.115 X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N = 0.115 \left\{ \frac{\Delta P_{in}[dB]}{10^{\frac{\Delta P_{in}[dB]}{20}} - 1} \right\} \quad (14)$$

또한, 적분기를 사용하는 경우에는 다음과 같은 식으로 표현되어진다.

$$LG_{SL} = \frac{0.036 X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N}{fRC},$$

$$LG_{LN} = \frac{0.018 X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N}{fRC} \quad (15)$$

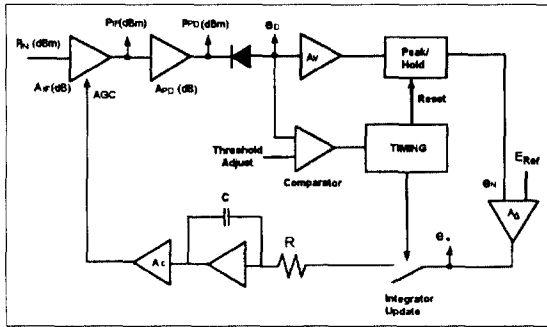
마지막으로 고려하여야 하는 변수로서 루프의 추적시간이 있다. AGC의 입력측에 계단과 전력을 인가하여 출력 특성을 보았을 때 입력되는 신호의 10%에서 90%까지 응답하는 시간을 루프의 상승시간이라 하며, 수식적으로는 다음과 같이 유도된다.

$$t_{r,SL} = \frac{9.56RC}{X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N}, \quad t_{r,LN} = \frac{19.13RC}{X A_{\Delta} A_{\epsilon} e_N} \quad (16)$$

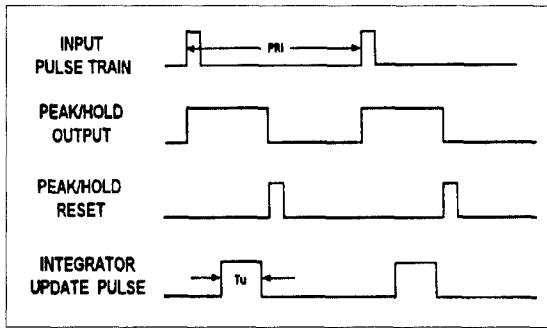
그리고 저역통과 필터를 이용하는 시스템이나 적분기를 이용하는 경우의 루프 상승시간은 거의 비슷한 값을 가지지만, 루프가 정상상태에 이르렀을 때 적분기를 이용하는 경우에는 오차전압이 0 이고 저역통과 필터의 경우에는 임의의 유한한 오차전압을 갖는다.

지금까지는 연속파 신호를 처리하는 AGC에 대해서 알아보았다. 만일 펄스 처리를 해야하는 자동 이득 조절 시스템의 경우에는 앞서 예시한 연속파 구조에 펄스 동작을 위한 몇가지 회로가 추가되어야 한다. 이와 같은 연속파 AGC 구조에 펄스 형태의 신호를 처리할 수 있는 회로를 첨가한 펄스 AGC의 구조와 시간 흐름도는 그림 4 와 같다.

펄스 AGC의 증폭된 입력펄스 신호는 다이오드에서 검파되어(펄스 출력) 기준전압과 비교하기 위하여 샘플/홀드에 의해 샘플링된 후 캐패시터에 의해 홀드되어진다. 입력 신호를 샘플하는 데 생기는 오차와 홀드신호를 유지하기 위한 회로의 오차가 펄스 AGC의 주요 문제점이다. 또한 검파되어 비데오 증폭된 전압은 시간 흐름도를 초기화 시키기 위해 비교회로를 트리거시킨다.



(a)



(b)

그림 4. 펄스 AGC의 기본 구조 및 시간 흐름도
 (a) 기본 구성도 (b) 시간 흐름도
 Fig. 4. Basic configuration/timing diagram of pulse AGC.
 (a) Basic configuration (b) Timing diagram

펄스 AGC는 연속파 AGC와는 달리 적분구간을 설정하는 회로가 있어야 하는 데, 이것이 연속파 AGC와는 크게 다른점이다. 적분기의 Update 스위치는 매 펄스마다 임의의 구간(T_u)동안만 on 시켜서 적분기로 하여금 루프를 Update시키도록 한다. 그러므로 펄스형 AGC의 상승시간은 연속파 자동 이득 조절회로의 상승시간을 Update의 Duty cycle로 나누어진 결과와 같다. 이상에서 계산된 루프 상승시간은 다이오드 검파기가 $\pm 2\text{dB}$ 이상의 신호에 대해서는 비선형 특성을 보이므로 $\pm 2\text{dB}$ 이하의 인가전력에 대해서만 유효한 결과식이다. 만일 입력전력의 변동폭이 큰 경우에 대해서도 일정한 루프 상승시간을 유지하려면 루프의 시상수를 가변하는 방법을 이용하던지 입력전력에 대한 검파기 출력 전압을 선형화하는 로그 증폭기를 차분증폭기 전단에 삽입하는 방법을 이용하여야 한다. 본 논문에서는 로그 증폭기 구조를 이용하여 루프 상승시간을 선형화하였다.^[7-10]

III. 실험 및 고찰

본 논문에서는 레이더 수신기의 이득을 제어하기 위하여 레이더의 형태 및 통제 시스템의 요구에 따라 AGC를 연속파 AGC부, 펄스 AGC부, 그리고 MGC (Manual Gain Control)부로 분류하여 제작하였다. 각 모드는 레이더 통제 장치에 의해 선택되어지며 AGC의 내부 동작은 내장된 타이밍 회로에 의해 제어되도록 하였다. 실제로 제작된 AGC 회로의 시스템 구성도는 그림 5와 같이 구성되었다.

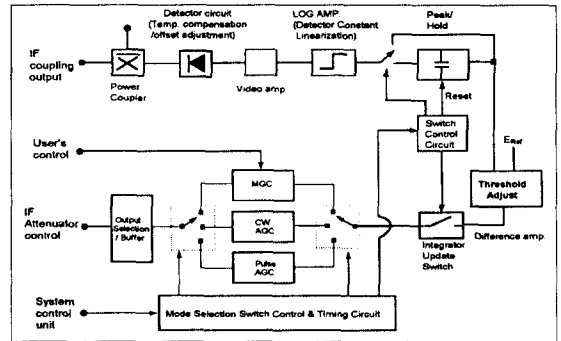


그림 5. AGC의 세부 회로 구성도
 Fig. 5. Specific circuit diagram of AGC.

1) 수동 이득 조절 (MGC) 모드

레이더 통제 컴퓨터나 운용자의 요구에 알맞게 수동적으로 수신기의 이득을 설정할 수 있는 모드로서, 전압 제어 감쇄기의 감쇄량을 제어 전압에 따라 선형적으로 조절할 수 있다. 이것은 통제로부터 오는 조절 전압값 혹은 운용자가 트림 단자에 인가하는 전압값을 내부의 출력단 버퍼에 저장하여 IF 분배기의 이득을 설정하는 방법이다. 조절 전압은 0 ~ 5V 까지이고 이 전압에 의해 실제로 감쇄기의 전력 감쇄량은 -2 ~ -60 dB 까지 변하게 된다. IF 분배기의 초단에 있는 전압 제어 감쇄기는 제어 전압에 따라 감쇄량을 선형화시키는 선형화기(Linearizer)가 내부에 내장되어 있는 형태로써 감쇄량은 대략 60dB 정도이고 선형성이 보장되는 영역은 약 40dB 이다. 또한, 전압 제어 감쇄기의 가장 중요한 특성인 응답 시간은 약 6 dB/usec 이다. 실제 제작에 사용된 전압 제어 감쇄기는 DAICO사의 PIN 다이오드 형태인 DA0098로써 실제 측정데이터는 그림 6에 나타나 있다.

2) 연속파(CW) AGC 모드

연속파 레이더의 표적 탐지시 이득을 제어하는 모드

로서, 위에서 언급한 일반적인 구성에 따라, 선형 진폭 검파기, 로그 증폭기, 차분 증폭기, 루프 필터부로 구성된다. 선형 진폭 검파기는 입력 신호의 진폭을 검파하여 비데오 신호처리할 수 있는 신호를 출력해 낸다. 본 모드에서는 검파기로서 Schottky(HP5082-2800) 다이오드를 선택하였으며 온도 보상회로를 첨가하여 온도에 따른 다이오드의 유효 변화량을 제거하였고 비데오 증폭기를 삽입하여 신호처리에 알맞은 레벨로 증폭하였다.

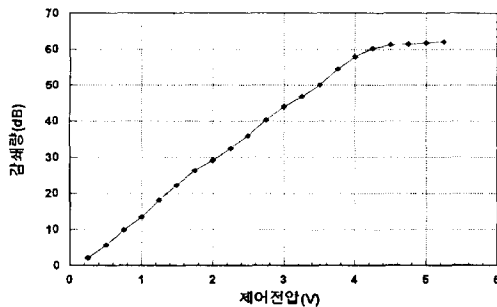
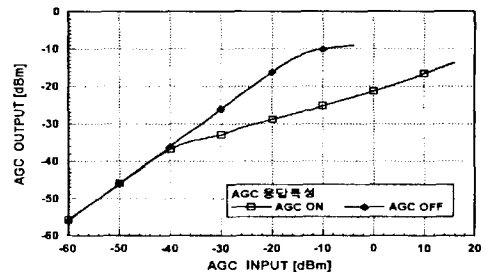


그림 6. 전압 조절 감쇄기의 전력 감쇄 특성
Fig. 6. Attenuation Response of Voltage Controlled Attenuator.

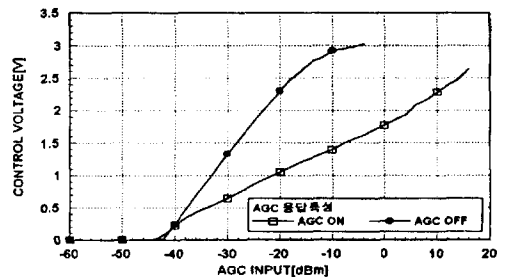
진폭검파기의 정적이득 K_{SI} 는 대략 350(mV/mW)이며 비데오 증폭기의 이득은 285(49.09 dB)로 설정하였다. 또한, 로그 증폭기의 기율기 상수는 2/3으로 정하였으며 차분 증폭기의 기준 전압(Reference Voltage)을 가변시킴으로써 AGC 시스템의 신호처리 레벨을 조절하게 하였다. 루프 필터로서는 능동 저역 통과 형태를 취했고 필터 이득은 약 9.6으로 전압제어 감쇄기의 감쇄량을 조절하여 넓은 입력 레벨에 대해 좁은 출력 레벨을 갖도록 하였다.

연속파 AGC의 정적 조절 특성을 살펴보면 다음과 같다. 그림 7에 제시된 연속파 AGC의 정적 조절 특성은 대략 -43 dBm 근처에서 자동 이득 조절이 시작되고 있는 것을 알 수 있으며 또한 정적 조절 기율기가 선형적인 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 측정 결과로부터 선형 검파기 뒷단에 로그 증폭기를 사용함으로써 입력 레벨의 순간적인 증가와 감소폭에 상관없이 선형 검파기의 출력 레벨을 선형화시키고 있음을 알 수 있게 해준다. 연속파 AGC의 정적 조절 특성은 대략 0.419 정도를 이루고 있다. 이값은 설계 당시의 값(0.35 : IF 분배기의 이득과 설계에 고려

된 이득과의 차이)과는 다소 차이를 보이고 있지만 본 연속파 AGC의 성능은 고감도 다기능 수신기의 신호처리 레벨을 기준으로 설정되었기 때문에 다소 특성에 있어서 다른점을 나타내고 있다. 또한 제작 당시 정적 조절 기율기를 조절할 수 있는 회로를 첨가하였기 때문에 이 값은 조절이 가능한 값이다. 그림 7에서 IF 프로세서의 입력을 기준으로 정규화된 출력레벨을 살펴보면 AGC에 의해 이득이 조절된 IF 프로세서의 마지막 출력 부근에서는 Self-AGC 현상이 미약하게 나타나고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. 연속파 AGC의 정적 조절 특성
(a) 연속파 AGC 응답 (b) 연속파 AGC 제어 전압

Fig. 7. Static regulation of CW AGC.
(a) CW AGC Response (b) CW AGC Control Voltage.

3) 펄스파(Pulse) AGC 모드

펄스파 레이더는 PRF(Pulse Repetition Frequency) 단위로 송신되는 전력에 대해서 펄스 형태의 수신 신호가 들어오기 때문에 연속파 신호와는 달리 빠른 신호처리가 요구되어진다. 더구나 매 PRF 마다 수신신호의 레벨차이가 크게 나타나기 때문에 수신신호의 레벨을 PRF 주기동안 수신기의 이득을 조절함으로써 신호처리가 처리할 수 있을 만큼(A/D 변환기의 출력

레벨)의 알맞은 레벨로 조절하여야 한다. 그러므로 앞에서 설명하였던 것과 같이 빠른 펄스 신호를 순간적으로 추적하기 위해서는 빠른 샘플/홀더는 필수적이다. 더구나 홀딩 캐패시터의 Droop rate 는 다음 신호가 샘플/홀더에 의해 홀딩될때까지 방전하지 않을 정도로 큰 값이 되어야 한다. 그러나 너무 큰 값의 Droop rate 는 샘플/홀더가 펄스를 추적하는 시간에 제한을 주기 때문에 적당한 값으로 선택되어야 한다. 더구나 입력 신호의 최대치를 기준으로 해서 PRF 단위로 신호처리를 해야하므로 샘플/홀더 보다는 신호에 대한 추적 기능이 빠른 피크/홀더(P/H)가 더 유리하다.

그러므로 검파기를 통하여 들어오는 입력 펄스를 순간적으로 샘플링하여 피드백 루프가 동작할 때 까지 그 값을 유지시키기 위하여 P/H를 사용하였다. 이렇게 얻어진 진폭 정보는 미리 설정하였던 문턱 전압값과 비교하여 펄스 AGC의 동작시점을 결정한다. 동작 시점이 결정되면 펄스형 AGC는 타이밍 제어기에 의해 발생된 제어 신호와 레이다 통제기로 부터의 통제에 따라 루프필터의 데이터를 UPDATE 시킨다. 이와 같은 동작과정은 P/H의 출력이 지속되고 있는 임의의 시간 동안 UPDATE 스위치를 도통시킴으로써 P/H의 출력데이터가 루프필터로 전달되는 것이다. 또한 이렇게 전달된 루프필터의 출력 전압은 최종적으로 전압 조절 감쇄기의 조절단자에 인가됨으로써 IF 프로세서의 루프이득을 조절하는 데 사용된다. 그러나 여기서 가장 중요하게 고려하여야 할 점은 루프필터의 조절전압이 다음 PRF 신호가 들어올 때까지 지속적으로 유지되어야 한다는 점이다. 이렇게 하기 위해서는 루프필터를 완전히 독립된 개별 소자만으로 구성하지 않고 UPDATE 스위치(DG 403K)의 도통 저항과 캐패시터를 삽입함으로써, 저역 통과 필터와 UPDATE 스위치를 동시에 구성하므로 불필요한 소자를 가능한 줄일 수 있었다. 이렇게 구성된 펄스 AGC의 타이밍 순차도를 그림 8에 나타내면 다음과 같다. 그림 8에서 알 수 있듯이 수신된 신호를 검파기가 탐지한 뒤 이 값은 피크/홀더에 의해 저장된 뒤, 리셀 신호가 입력될 때까지 그 값을 유지한다. 신호가 검파된 뒤 약 30usec 후에 리셀 신호가 입력됨에 따라 피크/홀더의 값이 리셀됨을 알 수 있다. 물론, UPDATE 스위치는 리셀 신호가 들어오기 전에 도통(약 10usec)됨에 따라 이전의 수신 데이터 정보는 방금 검파된 신호값으로 정보가 변하게 됨으로써 펄스 AGC가 작동하게 되는 것이다. 이와 같

은 펄스 AGC에 의해 입력 신호가 이득 조절되는 것을 시간 영역에서 측정하여 보면 그림 9에 나타나 있다. 약 5usec의 펄스 변조 신호는 입력되는 신호의 레벨에 따라 정적 조절 특성이 크게 다르게 나타나고 있다.

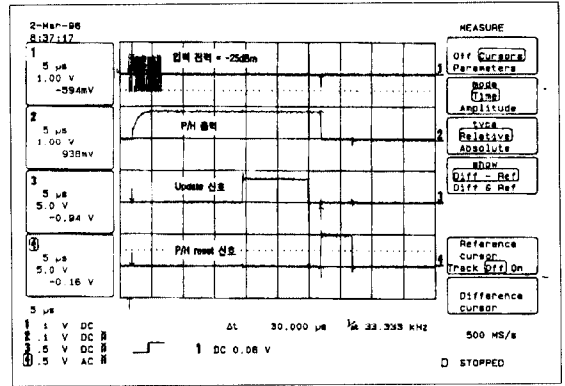
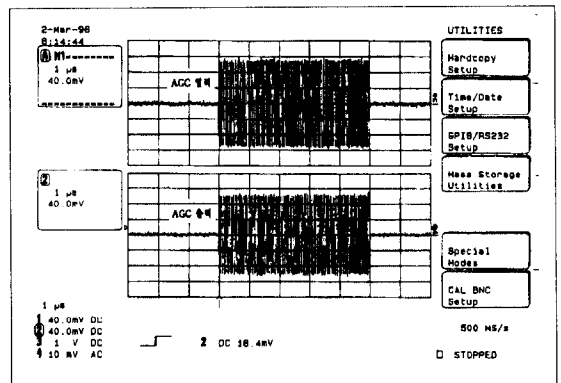
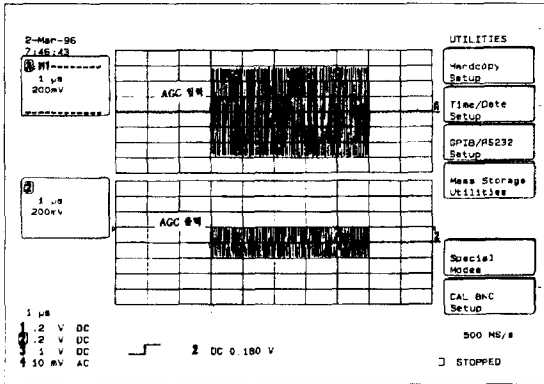


그림 8. 펄스 AGC의 타이밍 순차도
Fig. 8. Timing Diagram of Pulse AGC.

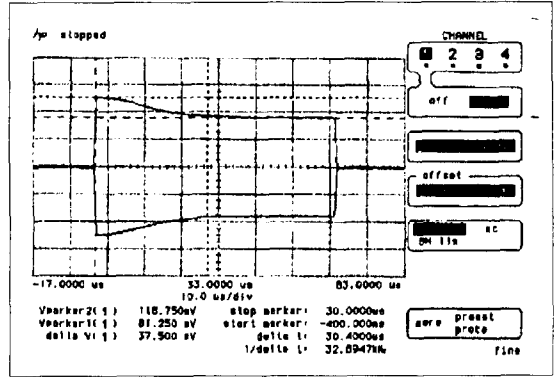
또한 연속파와 AGC의 루프 상승 시간의 선형성을 보기 위한 방법으로 IF 프로세서의 입력단에 펄스(PRF = 4KHz, 펄스폭 = 65usec) 변조파(연속파 신호를 입력해도 마찬가지임)를 인가해서 출력을 살펴보면 그림 10과 같은 응답특성을 볼 수 있다. 입력 변조파에 대해서 AGC의 루프 응답 시간은 입력 레벨에 거의 상관없이 일정한 값(약 18usec)을 유지하고 있음을 알 수 있으며, 이와 같은 루프의 응답 시간은 AGC의 루프 필터 시상수와 로그 증폭기의 상수값에 따라 결정되어지며 고감도 다기능 수신기의 신호처리에 알맞은 응답 시간을 설정하기 위해서는 루프 필터의 시상수가 시스템의 안정도를 악화시키지 않는 레벨까지 조정이 가능하도록 제작되었다.



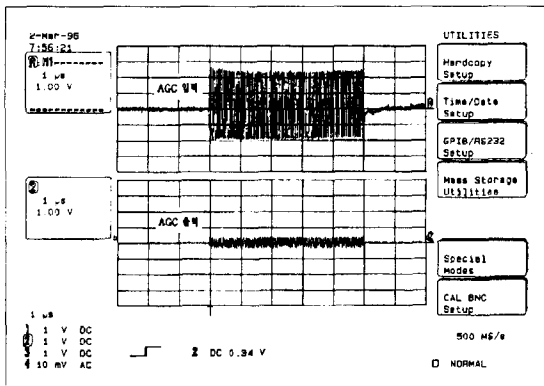
(a)



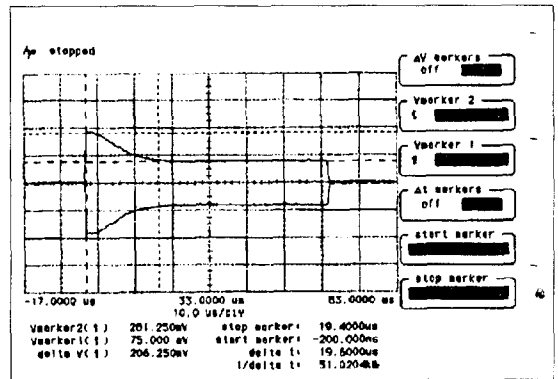
(b)



(a)



(c)



(b)

그림 9. 펄스 AGC의 정적 조절 특성

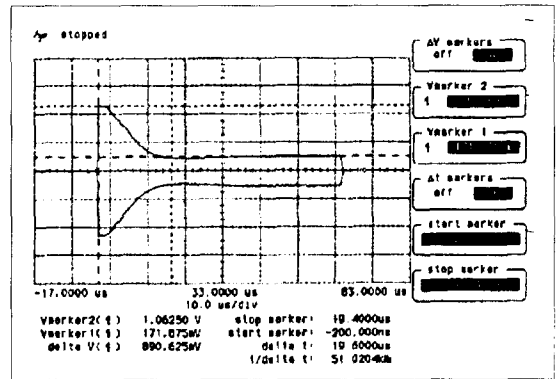
(a) 입력 레벨이 -40 dBm 인 경우 (b) 입력 레벨이 -25 dBm 인 경우 (c) 입력 레벨이 -10 dBm 인 경우

Fig. 9. Static regulation of Pulse AGC.

(a) input level = -40 dBm (b) input level = -25 dBm (c) input level = -10 dBm

IV. 결론

펄스 도플러 레이더의 송수신기는 표적의 유효단면적(RCS; Radar Cross Section) 및 탐지 거리에 따라 반사되는 신호의 크기가 다르게 나타나기 때문에 제한된 동적 영역을 갖는 수신기내에서 다양한 크기의 반사 신호들을 처리하기 위하여 자동 이득 조절 장치가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 수신기의 이득 기울기를 시스템에 맞게 조절할 수 있으며, 루프 응답 시간을 일정한 값으로 유지하고, 시스템의 운용 모드에 따라 모드(MGC, CW/PULSE AGC 모드) 전환이 가능한 자동 이득 조절 장치를 구현하였다.



(c)

그림 10. 연속파와 AGC의 루프 응답 특성

(a) 입력 레벨이 -40 dBm 인 경우 (b) 입력 레벨이 -30 dBm 인 경우 (c) 입력 레벨이 -20 dBm 인 경우

Fig. 10. Loop response of CW AGC.

(a) input level = -40 dBm (b) input level = -30 dBm (c) input level = -20 dBm

제작된 자동 이득 조절 장치는 입력 레벨값이 -42dBm ~ -14dBm 으로 +28dB 변화할 때 출력 레

벨값은 $-38.4\text{dBm} \sim -26.668\text{dBm}$ 으로 $+11.732\text{dB}$ 변화하였으므로 0.419의 정적 조절 특성을 얻었다. 측정된 자동 이득 조절 장치의 정적 조절 특성은 수신기의 1-dB 압축점을 -14dBm 에서 $+10\text{dBm}$ 이상의 영역으로 확장함으로써 수신기의 동적영역을 크게 개선하였다.

일정한 루프 응답 특성을 얻기 위하여 선형 검파기의 뒷단에 로그 증폭기를 삽입하여 검파기의 비선형 특성을 선형적으로 변환 시킴으로써 펄스 도플러 레이더용 수신기에서 요구되는 자동 이득 조절 장치의 루프 응답 특성을 수신 입력 레벨에 따라 일정한 값으로 유지하였다. 자동 이득 조절 장치의 루프 상승 시간은 입력 레벨값을 각각 -40dBm , -30dBm , 그리고 -20dBm 으로 변환시킴에 따라 대략 20 usec 의 응답 특성을 보였다.

지금까지 제시된 자동 이득 조절 장치는 레이더 뿐만 아니라 일반 회로에도 그 기능이 많이 적용되어 활용되리라 기대되며, 이와 같은 기반 기술을 통하여 더욱 더 향상된 기능을 갖는 시스템을 설계할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R. N. Lothes, M. B. Szymanski, R. G. *Radar Vulnerability To Jamming*, Artech House, Inc., Deadham Mass. 1990.
- [2] R. S. Hughes, *Analog Automatic Control Loops In Radar And EW*, Artech House, Inc., Deadham Mass. 1988.
- [3] R. E. Prymek, "Basic Techniques Guide The Design Of AGC System", *Microwave & RF*, pp. 99-106, Sep., 1991.
- [4] R. E. Prymek, "Op Amp Filter Control Responses In AGC Systems", *Microwave & RF*, pp. 111-121, Oct., 1991.
- [5] R. H. Delano, I. Pfeffer, "The Effect Of AGC On Radar Tracking Noise", *Proc. Of The IRE*, pp. 801-810, Jun., 1956.
- [6] J. H. Dunn, D. D. Howard, "The Effect Of Automatic Gain Control Performance On The Tracking Accuracy Of Monopulse Radar Systems", *Proc. Of The IRE*, pp. 430-435, 1959.
- [7] J. E. Ohlson, "Exact Dynamics of Automatic Gain Control", *IEEE Trans. On Comm.*, pp. 72-75, Jan., 1974.
- [8] K. H. Lansdowne, D. E. Norton, "Log Amplifiers Solve Dynamic-Range And Rapid-Pulse-Response Problems", *MSN & CT*, pp. 99-109, Oct., 1985.
- [9] R. S. Hughes, *Logarithmic Amplification*, Artech House, Inc., Deadham Mass. 1986.
- [10] I. Bahl, P. Bhartia, *Microwave Solid State Circuit Design*, Wiley & Sons, 1988.

— 저 자 소 개 —



金世映(正會員)

1968년 7월 30일생. 1991년 2월 단국대학교 전자공학 학사. 1993년 2월 단국대학교 전자공학 석사. 1993년 3월 ~ 현재 국방과학연구소, 연구원. 주관심분야는 마이크로파 회로 설계 분야 및 이동 통신 분야



梁鎮模(正會員)

1965년 12월 7일생. 1988년 2월 아주대학교 전자공학 학사. 1991년 2월 아주대학교 전자공학 석사. 1991년 2월 ~ 현재 국방과학연구소, 연구원. 주관심분야는 마이크로파 소자 및 TX/RX 모듈 설계.

金瑄周(正會員)

1963년 10월 26일 제주 출생. 1986년 2월 아주대학교 전자공학 학사. 1988년 2월 아주대학교 전자공학 석사. 1988년 2월 ~ 현재 국방과학연구소, 선임연구원. 주관심분야는 레이더용 송수신기, 주파수 합성기 및 전력 증폭기 분야

全炳泰(正會員)

1963년 10월 10일생. 1986년 2월 경북대학교 전자공학 학사. 1988년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학 석사. 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사. 1993년 7월 ~ 현재 국방과학연구소, 선임연구원. 주관심분야는 MMIC 및 MIC 분야, TR 모듈 설계 분야