

초고주파도플러속도측정에서 신호진폭의 포화가 측정정확도에 주는 영향

정원철, 리영명, 김은룡

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《체신부문앞에 나선 중대한 임무를 성과적으로 수행하기 위하여서는 정보화시대의 요구에 맞게 체신현대화를 보다 높은 단계에서 실현하여야 합니다.》

운동하는 물체에서 반사되는 전자기파의 주파수가 도플러현상에 의하여 변한다는것은 이미 알려져있으며 그것을 리용한 여러가지 속도측정장치들이 연구되였다.

송신주파수와 수신주파수의 차이에 의하여 결정되는 도플러주파수를 측정하는 방법에는 임펄스계수법, 공진법, 푸리에변환법 등 여러가지가 있지만 일반적으로 측정정확도를 높이기 위해 푸리에변환법을 리용하고있다.[1, 2]

도플러수신신호의 출력은 거리의 4제곱에 반비례하며 진폭은 2제곱에 반비례하므로 거리가 멀어질수록 증폭도가 큰 도플러신호증폭기를 리용하여야 한다. 이 경우 가까운 거리의 목표에서는 진폭이 큰 신호가 수신되므로 증폭기가 포화되며 이때 신호의 이치러짐이 생기게 되어 신호주파수와는 다른 여러가지 주파수성분들이 나타난다. 이것은 도플러신호측정에 부정적인 영향을 주게 된다.

한편 주변물체로부터 반사된 신호의 진폭이 클 때 일어나는 증폭기의 포화가 목표의 속도측정에 영향을 주게 된다.

론문에서는 증폭기의 포화가 속도측정에 주는 영향을 분석한데 기초하여 합리적으로 증폭도를 설정하는 문제를 고찰하였다.

1. 도플러속도측정장치의 구성과 동작원리

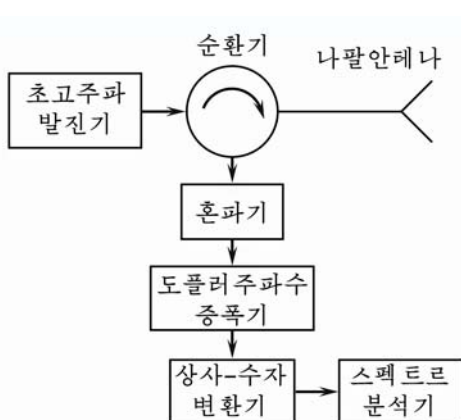


그림 1. 초고주파도플러속도측정 장치의
구성도

그림 1에 초고주파도플러속도측정 장치의 구성도를 보여주었다.

그림 1에서 초고주파발진기는 10GHz의 간발진기로서 초고주파신호를 순환기로 보낸다. 순환기는 초고주파신호를 나팔안테나를 통하여 공간으로 복사하고 일부 신호세력을 혼파기에 보낸다. 공간으로 복사된 초고주파신호는 목표에서 반사되어 다시 나팔안테나로 입력된다. 이때 목표가 움직이는 경우 수신되는 초고주파신호의 주파수는 도플러현상에 의하여 송신주파수와 차이나게 된다.

혼파기는 송신신호와 수신신호를 혼파하며 결과 그것들의 주파수차에 해당되는 도플러주파수가 얻어지게 된다.

이때 얻어지는 도플러주파수는 다음과 같다.

$$f_{\text{도}} = \frac{2v_{\text{동경}}}{\lambda} \quad (1)$$

여기서 $v_{\text{동경}}$ 은 안테나에 대한 물체의 동경방향속도, λ 는 초고주파발진신호의 파장이다.

도플러신호증폭기는 도플러신호를 필요한 준위만큼 증폭한다. 증폭된 신호는 표본화되고 상사-수자변환되어 수자자료로 넘어간다. 신호처리기에서는 수자자료들을 고속푸리에변환하여 신호스펙트르들을 얻으며 해당한 대상의 신호스펙트르로부터 식 (1)에 의하여 그것의 속도를 계산한다.

2. 증폭기포화가 신호스펙트르에 미치는 영향

혼파기에서 얻어진 도플러신호는 증폭기에서 증폭되어 다음과 같은 형태로 얻어진다.

$$U_{\text{도}}(x, t) = U(x) \cdot \sin \omega t \quad (2)$$

여기서 $\omega = 2\pi f_{\text{도}}$ 이며 $f_{\text{도}}$ 는 식 (1)에 의하여 결정된다.

식 (2)에서 $U(x)$ 는 x 에 따르는 수신된 목표신호의 세기로서 다음과 같다.

$$U(x) = \left(\frac{x_0}{x} \right)^2 U_0 \quad (3)$$

여기서 x 는 안테나로부터 목표까지의 위치이고 x_0 은 안테나로부터 목표까지의 초기위치이며 U_0 은 초기위치 x_0 에서 수신된 목표신호세기이다.

목표가 안테나로부터 $U_{\text{동경}}$ 의 속도로 멀어지는 경우 수신되는 도플러신호의 주파수는 식 (1)에 의하여 결정되며 신호의 진폭은 거리의 2제곱에 반비례하여 감소하게 된다.

그림 2에 증폭기에서 수신신호가 포화되지 않았을 때 신호파형(ㄱ)과 Matlab의 고속푸리에변환함수를 리용하여 계산한 스펙트르(ㄴ)를 보여주었다.

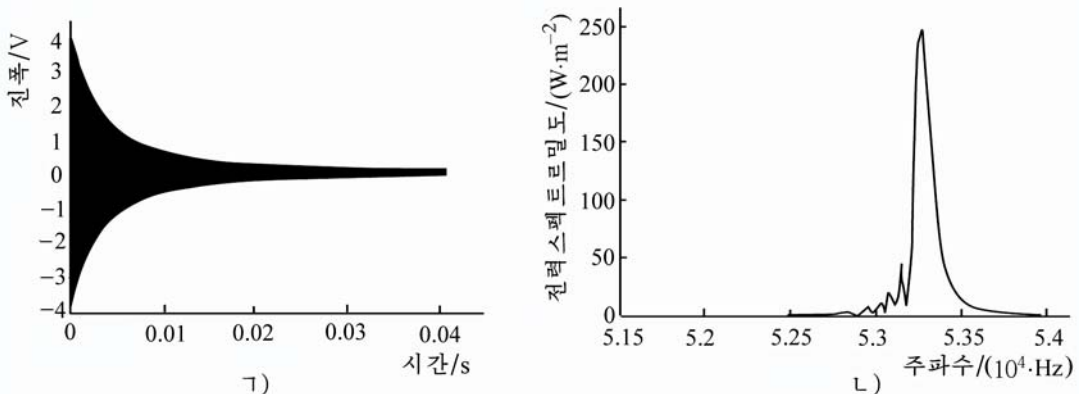


그림 2. 수신신호세기가 포화되지 않았을 때 신호파형(ㄱ)과 그 스펙트르(ㄴ)

계산에서 목표의 초기속도는 $v_{\text{동경}} = 800\text{m/s}$ 이고 가속도는 $a = -100\text{m/s}^2$, 초기위치는 $x_0 = 5\text{m}$ 로, 초기위치에서 수신신호세기는 $U_0 = 4\text{V}$ 로 정하였다. 그리고 표본화주파수는 200kHz 로, 표본화개수는 8192로 정하였다.

그림 2에서 보는것처럼 얻어진 신호파형은 시간에 따라 2제곱특성으로 감소하고 물체가 가속운동하는것으로 하여 여러가지 스펙트르들이 나타난다. 최대전력스펙트르밀도가 얻어지는 주파수는 53.27kHz 이고 이에 해당한 속도는 799.07m/s 이다.

수신신호가 포화되었을 때 신호파형과 그 스펙트르를 그림 3에 보여주었다. 이 경우 목표가 초기위치에 있을 때의 수신신호세기는 $U_0=10V$ 로, 증폭기의 포화값은 $U_{포화}=6V$ 로 정하였다.

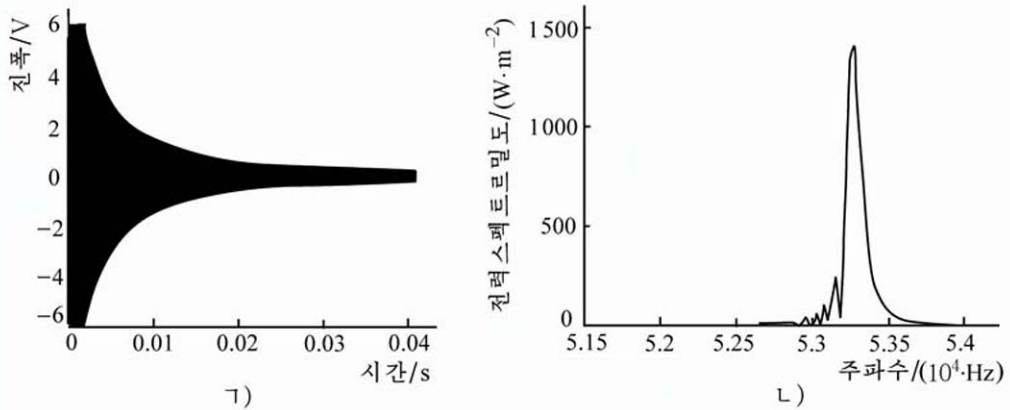


그림 3. 수신신호가 포화되었을 때 신호파형(ㄱ))과 그 스펙트르(ㄴ))

그러면 증폭기출구에서 얻어진 신호는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\begin{cases} U_{\text{도}}(x, t) = U(x) \cdot \sin \omega t, & U(x) < U_{\text{포화}} \\ U_{\text{도}}(x, t) = U_{\text{포화}} \cdot \sin \omega t, & U(x) > U_{\text{포화}} \end{cases} \quad (4)$$

수신신호가 증가하여 포화값에 이르는 경우 최대전력스펙트르밀도가 나타나는 주파수는 53.27kHz로서 변하지 않지만 신호스펙트르의 대역이 넓어진것을 알수 있다. 이것은 신호검출을 턱값검출이 아니라 최대값검출로 하여야 정확하다는것을 보여준다.

주변물체로부터 반사되는 신호가 유효신호에 주는 영향을 보기로 하자.

이 경우 증폭기에서 얻어지는 신호를 다음과 같이 표시할수 있다.

$$U(x, t) = U_{\text{도}}(x, t) + U_{\text{췌}}(t) = U(x) \cdot \sin \omega t + U_{\text{췌}0} \sin \omega_{\text{췌}} t \quad (5)$$

여기서 $U_{\text{췌}}(t) = U_{\text{췌}0} \sin \omega_{\text{췌}} t$ 는 주변물체에서 반사된 신호이다.

증폭기가 포화되지 않았을 때($U_0=4V$, $U_{\text{췌}0}=1V$) 신호파형과 그 스펙트르를 그림 4에 보여주었다.

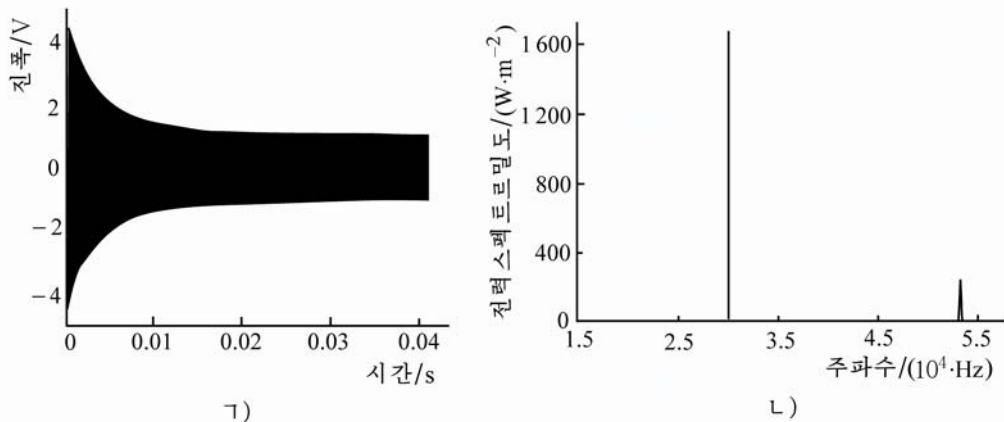


그림 4. 증폭기가 포화되지 않았을 때 신호파형(ㄱ))과 그 스펙트르(ㄴ))

그림 4로부터 주변물체에 의한 반사신호($\omega_{\text{주}} = 30\text{kHz}$)에 의하여 증폭기가 포화되지 않았을 때 목표에 의한 신호스펙트럼은 변하지 않는다는 것을 알 수 있다.

주변물체에 의한 간섭신호에 의하여 증폭기가 포화되는 경우 반사신호의 진폭에 따르는 목표의 최대전력스펙트럼밀도변화를 계산하면 표와 같다.

표. 증폭기가 포화되는 경우 반사신호의 진폭에 따르는 목표의 최대전력스펙트럼밀도

| 간섭신호진폭/V | 유효전력스펙트럼의 최대값 | 최대값에 해당하는 주파수/kHz |
|----------|---------------|-------------------|
| 1 | 249.2 | 53.27 |
| 3 | 248.9 | 53.27 |
| 5 | 222.9 | 53.27 |
| 7 | 117.4 | 53.27 |
| 9 | 57.8 | 53.27 |
| 11 | 50.9 | 50.00 |
| 13 | 329.7 | 50.00 |

표에서 보는 것처럼 간섭신호에 의하여 증폭기가 포화되는 경우 간섭신호의 진폭이 클수록 유효신호성분의 크기는 급격히 감소하며 포화값의 1.5배 이상이면 정확한 유효신호성분이 얻어지지 않는다.

증폭기가 포화되었을 때 간섭신호의 주파수에 따라 나타나는 신호성분들을 그림 5에 보여주었다.

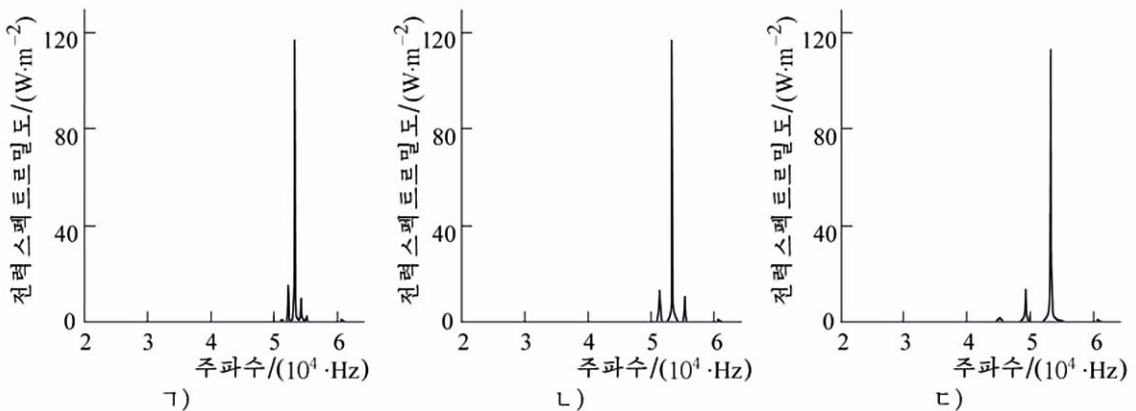


그림 5. 증폭기가 포화되지 않았을 때 간섭신호의 주파수에 따라 나타나는 신호성분

ㄱ) 500Hz일 때, ㄴ) 1kHz일 때, ㄷ) 2kHz일 때

그림 5에서 보는 것처럼 간섭신호의 주파수가 10kHz보다 작을 때 유효신호주파수근방에 간섭신호가 발생한다.

만일 간섭신호의 진폭이 증가하여 유효신호성분보다 커지면 유효신호의 검출이 어렵게 된다. 따라서 목표에 의한 신호성분을 정확히 검출하자면 주변물체로부터 반사되는 신호에 의하여 증폭기가 포화되지 말아야 하며 러파기를 리용하여 낮은 주파수성분들을 제거하여야 한다.

맺 는 말

초고주파도플러속도측정에서 목표로부터 반사되는 신호에 의한 증폭기의 포화는 속도값측정에 영향을 주지 않는다.

주변물체에 의한 간섭신호의 포화는 속도측정에 영향을 주는데 측정정확도를 높이자면 간섭신호에 의한 포화를 없애고 낮은 주파수의 간섭신호를 제거하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] X. Zhang et al.; WCECS, 2, 23, 2013.
- [2] G. Sattibabu; International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering(IJARECE), 1, 4, 22, 2012.

주체109(2020)년 5월 5일 원고접수

Influence of the Signal Gain's Saturation on Measurement Accuracy in Microwave Doppler Velocity Measurement

Jong Won Chol, Ri Yong Myong and Kim Un Ryong

In microwave Doppler velocity measurement, the saturation of an interfered signal by the circumjacent object has an influence on the velocity measurement of a moving target, thus the saturation of interfered signal should be removed when it is necessary to improve the measurement accuracy, in addition to interfered signal of low frequency.

Keywords: microwave signal, Doppler velocity, spectrum