(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월16일
(11) 등록번호 10-2796598
(24) 등록일자 2025년04월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01Q 3/36 (2006.01) *G01S 13/02* (2006.01)
G01S 13/933 (2020.01) *H01Q 1/28* (2006.01)
H04B 7/06 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H01Q 3/36 (2018.05)
G01S 13/933 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2024-0051377
(22) 출원일자 2024년04월17일
심사청구일자 2024년04월17일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020230146784 A

(73) 특허권자
한화시스템 주식회사
경북 구미시 1공단로 244, (공단동)
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
홍지훈
경상북도 구미시 1공단로 244 (공단동)
홍상표
경상북도 구미시 1공단로 244 (공단동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
남승희

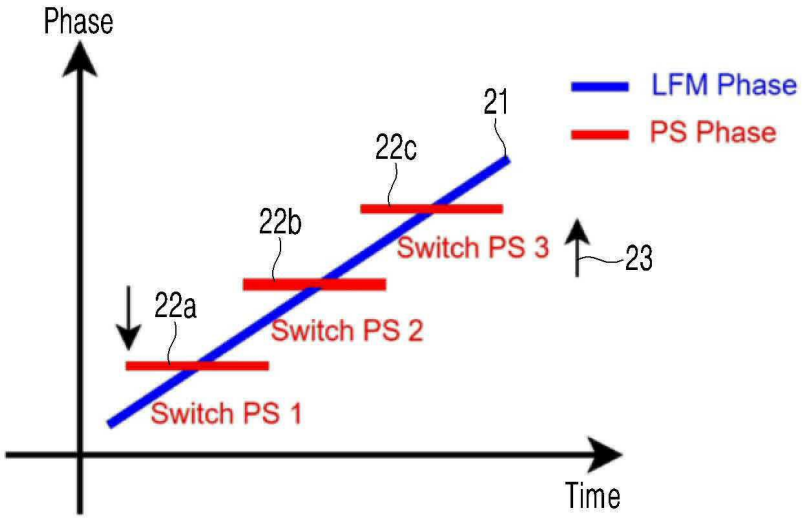
전체 청구항 수 : 총 9 항 심사관 : 김정석

(54) 발명의 명칭 **우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 LFM 신호의 위상을 조정하고 시간 지연을 보상하는 위상 쉬프터를 포함하고, 상기 위상 쉬프터는 상기 LFM 신호의 길이 및 기울기에 따라 스위칭하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치 및 방법을 제시한다.

대 표 도 - 도7



(52) CPC특허분류
H01Q 1/288 (2013.01)
H04B 7/0617 (2013.01)
G01S 2013/0254 (2013.01)
(72) 발명자
김남문
경상북도 구미시 1공단로 244 (공단동)
홍동희
경상북도 구미시 1공단로 244 (공단동)
김병관
대전광역시 유성구 대학로 99

명 세 서

청구범위

청구항 1

우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치로서,

LFM 신호의 위상을 조정하고 시간 지연을 보상하는 위상 쉬프터를 포함하고,

상기 위상 쉬프터는 상기 LFM 신호의 시간에 따른 위상 변화를 나타내는 그래프에서 그래프의 길이 및 기울기에 따라 상기 위상 쉬프터가 이동시키는 위상을 스위칭하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 위상 쉬프터가 이동시키는 위상의 스위칭 횟수(Number of switching)는 [수학식 3]과 같이 LFM 신호의 대역폭(bandwidth)을 최대 빔 허용 오차로 나눈 값에 비례하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치.

[수학식 3]

$$\frac{Bandwidth}{\text{최대 빔 허용 오차}} \propto Number\ of\ Switchig$$

여기서, Bandwidth LFM 신호의 대역폭(bandwidth)

청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 위상 쉬프터가 이동시키는 위상의 스위칭 시간(Switching time)은 [수학식 4]와 같이 첩 지속 시간(Chirp duration)을 스위칭 횟수로 나눈 값으로 설정하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치.

[수학식 4]

$$\frac{Chirp\ duration}{Number\ of\ Switching} = Switching\ Time$$

청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 위상 쉬프터는 상기 그래프의 길이가 길고 기울기가 클수록 상기 스위칭 횟수를 증가시키는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치.

청구항 5

레이다 시스템이 구동되어 LFM 파형의 신호를 생성하는 과정;

상기 LFM 파형의 파라미터를 판단하는 과정;

상기 LFM 파형의 파라미터에 따라 위상 쉬프터가 이동시키는 위상을 스위칭하여 상기 위상 쉬프터가 이동시키는 위상과 LFM 파형의 위상 오차를 줄이는 과정; 및

빔포밍 정보에 따라 위상을 조정한 후 신호를 송신하는 과정을 포함하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이

특성 개선을 위한 빔포밍 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서, 상기 LFM 파형의 파라미터는 상기 LFM 신호의 시간에 따른 위상 변화를 나타내는 그래프에서 그래프의 길이 및 기울기를 포함하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 위상 쉬프터는 상기 그래프의 길이가 길고 기울기가 클수록 상기 위상 쉬프터가 이동시키는 위상의 스위칭 횟수를 증가시키는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 상기 스위칭 횟수는 상기 LFM 신호의 대역폭(bandwidth)을 최대 빔 허용 오차로 나눈 값에 비례하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서, 상기 위상 쉬프터가 이동시키는 위상의 스위칭 시간은 첩 지속 시간(Chirp duration)을 상기 스위칭 횟수로 나눈 값으로 설정하는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 빔포밍(beamforming) 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 우주 산업의 발전으로 인해 위성 충돌 방지 및 실시간 모니터링 등 우주 감시 기술에 대한 수요가 급증하고 있다. 이에 따라 더욱 정확하고 빠른 대상 감지와 추적을 위해 레이다 시스템을 우주 감시 시스템에 적용하고 있다.

[0004] 한편, 선형 주파수 변조(Linear Frequency Modulation; LFM)는 레이다 시스템에서 사용되는 주파수 변조 기술 중 하나로, 도 1에 도시된 바와 같이 시간에 따라 주파수가 선형적으로 증가하는 파형을 생성하는 방법이다. LFM 파형을 사용함으로써 높은 거리 해상도를 가진다는 장점이 있어 현대의 많은 레이다 응용 분야에서 사용된다. 또한, 광대역 LFM 파형을 사용할 경우 기존 LFM 파형보다 대역폭이 넓기 때문에 [수학식 1]에 의해 거리 해상도가 증가한다. 이러한 이유로 광대역 LFM 레이다 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

수학식 1

[0005] $$\Delta R = \frac{c}{bandwidth}$$

[0006] 여기서, ΔR은 거리 해상도이고, c는 빛의 속도이며, bandwidth는 LFM의 대역폭이다.

[0007] 한편, 위상 배열 레이다는 복수의 안테나를 포함하여 구성된 레이다 시스템으로서, 각각의 안테나에 위상 차이를 주면 도 2에 도시된 바와 같이 고정된 위치에서 특정 방향으로 빔포밍(beamforming)이 가능하여 대부분의 레이다에 사용되는 구조이다. 위상 배열 레이다에서 빔포밍의 원리를 설명하면 다음과 같다. 도 3에 도시된 바와

같이 빔포밍을 하기 위해서는 각 안테나에서 송신하는 신호가 같아야 함을 알 수 있다. 그러나, 각 안테나의 거리 차이로 인해 시간 지연(τ)이 발생하기 때문에 시간 지연을 보상하여 특정 방향에서의 송신 신호의 합성을 만드는 것이 빔포밍의 간단한 원리이다. 이러한 시간 지연을 보상하기 위하여 사용되는 소자로 TTD(True Time Delay)와 위상 쉬프터(Phase Shifter; PS)가 있다.

[0008] 상기한 바와 같이 빔포밍을 위해서는 시간 지연에 따른 위상을 보상해야 하고, 이를 위해 TTD 또는 PS가 필요하다. 시간 지연에 따른 위상 차이는 [수학식 2]로 기술할 수 있다.

수학식 2

[0009] $$\Delta\phi = 2\pi f \Delta t = \frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda}$$

[0010] $$\Delta\phi_0 = \frac{2\pi d_0 \sin\theta_0}{\lambda_0}$$

[0011] 여기서, f는 주파수, Δt는 시간 지연, d는 안테나 사이의 거리, Θ는 빔포밍 각도, λ는 파장이다.

[0012] PS를 이용한 위상 배열 레이다에서는 원하는 각도(Θ_0)로 빔포밍하기 위해서 $\Delta\phi_0 - \Delta\phi \approx 0$ 일 때 시간 지연에 따른 위상 차이를 보상해 줄 수 있다. 그러나, 광대역 신호인 경우 f와 f_0 의 차이가 많이 나기 때문에 $\Delta\phi_0 - \Delta\phi \not\approx 0$ 이다. 따라서, 위상 차이가 보정되지 않아 도 4와 같이 빔 편이 현상(Beam Squint Effect)이 나타난다. 즉, 상기한 바와 같이 거리 해상도를 증가시키기 위해서는 광대역 신호를 사용하게 되는데, 이 과정에서 PS는 도 4와 같이 주파수에 따라 빔이 달라지는 빔 편이 현상이 발생한다. 그러나, TTD 소자는 주파수에 의존적이지 않아 도 5에 도시된 바와 같이 빔 편이 현상이 나타나지 않는 장점이 있지만, 비싸다는 비용 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1584525호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 PS를 사용하여 빔편이를 줄일 수 있는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치 및 방법을 제공한다.

[0016] 본 밤령은 PS의 스위칭을 이용하여 빔편이를 줄일 수 있는 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0018] 본 발명의 일 실시 예에 따른 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치는 LFM 신호의 위상을 조정하고 시간 지연을 보상하는 위상 쉬프터를 포함하고, 상기 위상 쉬프터는 상기 LFM 신호의 길이 및 기울기에 따라 스위칭한다.

[0019] 스위칭 횟수(Number of switching)는 [수학식 3]과 같이 LFM 신호의 대역폭(bandwidth)을 최대 빔 허용 오차로 나눈 값에 비례한다.

[0020] [수학식 3]

[0021] $$\frac{Bandwidth}{\text{최대 빔 허용 오차}} \propto Number\ of\ Switchig$$

[0022] 스위칭 시간(Switching time)은 [수학식 4]와 같이 첩 지속 시간(Chirp duration)을 스위칭 횟수로 나눈 값으로 설정한다.

[0023] [수학식 4]

[0024] $$\frac{Chirp\ duration}{Number\ of\ Switching} = Switching\ Time$$

[0025] 상기 위상 쉬프터는 상기 LFM 신호의 길이가 길고 기울기가 클수록 스위칭 횟수를 증가시킨다.

[0027] 본 발명의 다른 실시 예에 따른 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 방법은 레이다 시스템이 구동되어 LFM 파형의 신호를 생성하는 과정; 상기 LFM 파형의 파라미터를 판단하는 과정; 상기 LFM 파형의 파라미터에 따라 위상 쉬프터를 스위칭하여 위상 쉬프터의 위상과 LFM 파형의 위상 오차를 줄이는 과정; 및 빔포밍 정보에 따라 위상을 조정한 후 신호를 송신하는 과정을 포함한다.

[0028] 상기 LFM 파형의 파라미터는 상기 LFM 신호의 길이 및 기울기를 포함한다.

[0029] 상기 위상 쉬프터는 상기 LFM 신호의 길이가 길고 기울기가 클수록 스위칭 횟수를 증가시킨다.

[0030] 스위칭 횟수는 상기 LFM 신호의 대역폭(bandwidth)을 최대 빔 허용 오차로 나눈 값에 비례한다.

[0031] 스위칭 시간은 첩 지속 시간(Chirp duration)을 스위칭 횟수로 나눈 값으로 설정한다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 실시 예들에 따른 우주감시레이다의 광대역 신호 빔편이 특성 개선을 위한 빔포밍 장치 및 방법은 신호의 위상을 조정하는 위상 쉬프터(PS)를 복수회 스위칭시켜 PS가 복수의 위상을 보상함으로써 LFM 파형에 따른 위상과 PS의 위상 차이를 줄일 수 있다. 이때, LFM 파형의 신호 길이와 기울기 등의 파라미터를 판단하여 스위칭 횟수와 스위칭 시간을 설정할 수 있다. 즉, 본 발명은 LFM 파형의 파라미터에 따라 PS를 소정의 스위칭 횟수 및 스위칭 시간으로 복수회 스위칭하여 PS 위상과 LFM 위상의 오차를 줄일 수 있다. 따라서, 본 발명은 TTD 보다 저렴한 PS를 이용하면서도 빔편이를 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 선형 주파수 변조(Linear Frequency Modulation; LFM)의 파형도이다.

도 2는 위상 배열 레이다의 빔포밍을 설명하기 위한 개략도이다.

도 3은 TTD를 이용한 위상 배열 레이다의 빔포밍을 설명하기 위한 개략도이다.

도 4는 PS를 이용한 광대역 위상 배열 레이다에서 발생하는 빔 편이 현상을 설명하기 위한 빔 패턴 그래프이다.

도 5는 빔 편이 현상이 발생하지 않는 TTD를 이용한 광대역 위상 배열 레이다의 빔 패턴 그래프이다.

도 6은 종래의 PS를 이용한 LFM 파형을 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 PS를 이용한 LFM 파형을 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 광대역 위상 배열 레이다의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 광대역 위상 배열 레이다의 송수신 모듈의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 광대역 위상 배열 레이다의 광대역 신호를 위한 빔포밍 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 11은 비교 예에 따른 빔 패턴을 도시한 그래프이다.

도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 빔 패턴을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

[0037] 종래 기술에서 설명한 바와 같이 PS를 이용한 광대역 위상 배열 레이다에서는 빔 편이 현상이 발생한다. 이에 본 발명은 PS를 스위칭시켜 기존 PS를 포함하는 광대역 위상 배열 레이다의 단점을 극복하고자 한다. 우선, 기존 PS를 포함하는 광대역 위상 배열 레이다의 LFM 파형은 도 6과 같다. 도 6을 보면 종래 기술에서 설명한 바와 같이 LFM 파형은 시간에 따라 주파수가 증가하기 때문에 시간에 따라 위상이 증가한다. 그러나, PS는 단일 위상을 보정하기 때문에 PS 위상과 LFM 위상 사이에 오차가 생긴다. 즉, 도 6에 도시한 바와 같이 시간에 따라 위상이 증가하는 LFM 위상(11)과 단일 위상을 보상하는 PS의 위상(12) 사이에 오차(13)가 생긴다.

[0038] 따라서, 본 발명은 PS를 스위칭시켜 PS가 단일 위상을 보정하는 것이 아니라 시간에 따라 PS가 복수의 위상을 보상하여 LFM 파형에 따른 위상과 PS의 위상 차이를 줄이고자 한다. 즉, 도 7에 도시된 바와 같이 시간에 따라 PS를 복수회 스위칭시켜 LFM 파형에 따른 위상(21)과 PS의 위상(22a, 22b, 22c)의 차이(23)를 줄일 수 있다. 보통 광대역 LFM 파형은 50㎲이고 PS의 스위칭 시간은 500ns로서 LFM 파형 동안에 PS를 복수회 스위칭이 충분히 구현 가능하다.

[0039] 이러한 본 발명의 실시 예들에 따른 광대역 위상 배열 레이다의 빔포밍 장치 및 방법을 설명하면 다음과 같다.

[0040] 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 광대역 위상 배열 레이다의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

[0041] 도 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 광대역 위상 배열 레이다는 적어도 하나의 송수신 블록(100)과, 적어도 하나의 송수신 블록(100) 각각에 대응하여 배열된 안테나부(200)를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 송수신 블록(100) 각각은 복수의 송수신 모듈(110; 110-1, 110-2, …, 110-n)을 포함하고, 안테나부(200)는 복수의 송수신 모듈(110)과 각각 대응되어 마련된 복수의 안테나들(200-1, 200-2, …, 200-n)을 포함할 수 있다. 예컨데, 제 1 안테나(200-1)은 제 1 송수신 모듈(110-1)에 대응되어 마련될 수 있다. 이때, 안테나들(200-1, 200-2, …, 200-n)은 각각 적어도 하나의 안테나를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제 1 안테나(200-1)는 하나의 안테나로 이루어질 수도 있고, 둘 이상 복수의 안테나로 이루어질 수도 있다. 한편, 도 8에는 도시하지 않았으나, 위상 배열 레이다는 여자기(exciter), 수신기 및 신호 처리기 등의 다른 구성 요소들과 연결될 수 있다.

[0042] 한편, 송수신 블록(100)은 복수의 송수신 모듈들(110) 뿐만 아니라 전력 분배/결합기(120), 전원 공급기(130) 및 제어기(140)를 포함할 수 있다.

[0043] 적어도 하나의 송수신 모듈(110) 각각은 송수신 기능을 수행하며, 특정 방향의 송신 빔을 생성하거나 특정 빔을 수신할 수 있고, 모드 변경을 수행할 수 있다. 즉, 송수신 모듈(110)은 송신 모드 및 수신 모드 중 어느 하나의 모드로 전환되어 동작한다. 구체적으로, 송수신 모듈(110) 각각은 송신 모드에서 송신 채널을 형성하여 안테나부(200) 중 자신과 연결된 안테나를 통해 송신 신호를 자유 공간으로 출력한다. 한편, 수신 모드에서 송수신 모듈(110)은 수신 채널을 형성하여 자신과 연결된 안테나를 통해 수신 신호를 입력 받는다. 송수신 모듈(110)은 각각 개별적인 송수신 채널(예: 제 1 송수신 채널, 제 2 송수신 채널, ..., 제 N 송수신 채널)을 형성할 수 있다. 이러한 송수신 모듈(110)은 본 발명에 따른 스위칭 가능한 PS를 포함하여 빔포밍에 이용될 수 있으며, 이러한 PS를 포함한 송수신 모듈(110)의 좀더 상세한 설명은 도 9를 이용하여 후술하도록 한다.

[0044] 전력 분배/결합기(120)는 송신 신호를 복수의 송수신 모듈(110) 각각에 분배하고, 송수신 모듈(110)로부터 입력된 수신 신호를 결합한다. 즉, 전력 분배/결합기(120)는 소정의 신호 생성부(미도시)로부터 생성된 송신 신호, 즉 LFM 파형의 신호를 송수신 모듈(110)에 분배한다.

[0045] 전원 공급기(130)는 주 전원 공급 장치로부터 공급된 전원을 복수의 송수신 모듈(110) 각각 및 제어기(140)에 전달한다.

[0046] 제어기(140)는 송수신 모듈(110) 각각의 전반적인 동작을 제어한다. 예를 들어, 제어기(140)는 송수신 모듈들(110) 각각의 송신 모드 및 수신 모드 간의 전환을 제어할 수 있다. 또한, 제어기(140)는 송수신 모듈(110) 각각에 대해 송수신 신호의 위상과 크기를 조절하여 안테나빔의 송수신 방향을 제어할 수 있다.

[0048] 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 송수신 모듈의 구성을 설명하기 위한 블록도로서, 제 1 송수신 모듈(100-1)을 예로 들어 설명한다. 물론, 제 1 송수신 모듈(100-1)을 포함하여 도 8에 도시된 복수의 송수신 모듈(100-

1, 100-2, ..., 100-N)은 동일한 구성을 갖는다.

[0049] 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 송수신 모듈은 순환기(111), 전력 증폭기(112), 리미터(113), 저잡음 증폭기(114), 위상 쉬프터(115), 가변 감쇄기(116) 및 복수의 스위치(117, 118, 119)를 포함할 수 있다. 송수신 모듈은 스위치들(117, 118, 119)의 동작에 따라 송신 채널 또는 수신 채널을 형성할 수 있으며, 도 9는 송수신 모듈이 송신 채널을 형성한 경우를 도시하고 있다.

[0050] 순환기(111)는 송신 채널과 수신 채널을 분리한다. 수신 채널이 형성되면 순환기(111)는 안테나(200-1)로부터 입력된 수신 신호를 수신 채널을 구성하는 요소들 중 하나인 리미터(113)로 전달한다. 또한, 송신 채널이 형성되면 순환기(111)는 송신 채널을 구성하는 요소들 중 하나인 전력 증폭기(112)로부터 입력된 송신 신호를 안테나(200-1)로 전달한다.

[0051] 전력 증폭기(112)는 송신 신호의 이득을 증폭시키고, 증폭된 송신 신호를 순환기(111)로 전달한다. 즉, 전력 증폭기(112)는 안테나(200-1)로 송신되는 신호의 강도를 증폭시킨다. 전력 증폭기(112)에 의해 송신 신호의 강도가 강화되어 더 멀리 신호를 전달하거나, 더 높은 수신 감도를 제공할 수 있다.

[0052] 리미터(113)는 순환기(111)를 통해 입력되는 수신 신호의 레벨을 기 설정된 레벨로 제한함으로써 저잡음 증폭기(114) 이후의 수신 채널의 구성 요소들이 손상되는 것을 방지한다. 즉, 리미터(113)는 수신 신호의 과다한 신호나 잡음을 제거하거나 제한하여 시스템의 성능을 최적화하고, 장비를 보호한다.

[0053] 저잡음 증폭기(114)는 리미터(113)로부터 전달된 수신 신호의 이득을 저잡음으로 증폭시킨다. 즉, 저잡음 증폭기(114)는 수신된 신호를 증폭하여 신호의 강도를 높히고, 그에 따라 수신된 신호의 강도가 충분히 높아져 다음 단계의 처리나 분석을 용이하게 할 수 있다. 또한, 저잡음 증폭기(114)는 수신된 신호를 증폭하는 동시에 잡음을 최소화할 수 있다. 즉, 저잡음 증폭기(114)는 수신된 신호에 섞인 잡음을 최소화하여 신호 대 잡음 비율(SNR)을 증가시키고, 이를 통해 시스템의 성능을 향상시키고, 더 정확한 신호 분석을 가능하게 한다.

[0054] 위상 쉬프터(Phase Shifter)(115)는 제어기(140)로부터 전달된 제어 신호에 따라 송신 신호 및 수신 신호의 위상을 조정한다. 이에 의해 안테나를 통해 원하는 방향으로 전파를 집중시키거나 빔의 방향을 제어할 수 있다. 즉, 위상 쉬프터(115)는 복수의 안테나에서 원하는 방향으로 빔을 형성하기 위해, 즉 빔포밍을 위해 각 안테나로의 신호를 조절한다. 이때, 본 발명에 따른 위상 쉬프터(115)는 도 7에 도시된 바와 같이 복수의 스위칭 동작을 통해 LFM 파형에 따른 위상과 위상 쉬프터(115)의 위상의 차이를 줄일 수 있다. 광대역 LFM 파형은 예를 들어 50㎲이고 위상 쉬프터(115)의 본 발명에 따른 스위칭 시간은 500ns로서 광대역 LFM 신호가 출력되는 동안 위상 쉬프터(115)를 복수회 스위칭할 수 있다. 한편, 복수의 스위칭 동작은 등간격으로 실시될 수 있다. 따라서, 본 발명에 의하면 위상 쉬프터(115)를 이용하면서도 빔 편이 현상을 줄일 수 있다. 한편, 위상 쉬프터(115)는 주파수에 따라 전압을 변화시키는 변압기와, 캐패시턴스 또는 인덕턴스를 전기적으로 조절 가능한 캐패시터(Capacitor) 또는 인덕터(Inductor)와, 캐패시터 또는 인덕터를 회로에 연결 또는 분리하여 위상을 조절하는 스위치를 포함할 수 있다. 이때, 스위치는 제어 신호에 따라 캐패시터나 인덕터를 회로에 연결하거나 분리함으로써 입력 신호의 위상을 변화시킬 수 있다. 제어 신호는 위상 쉬프터(115)의 스위칭 동작을 위한 별도의 제어 회로를 이용하여 생성할 수도 있고, 제어기(140)를 이용하여 생성할 수도 있다. 이러한 본 발명에 따른 위상 쉬프터(115)의 동작은 추후 더욱 상세히 설명하겠다.

[0055] 가변 감쇄기(116)는 제어기(140)로부터 전달된 제어 신호에 따라 송신 신호 및 수신 신호의 크기를 조정한다. 즉, 가변 감쇄기(116)는 제어 신호에 따라 가변 감쇄기로 입력되는 신호, 즉 송신 신호 및 수신 신호의 크기를 조절하여 가변 감쇄기를 통해 출력되는 신호를 원하는 수준으로 제어할 수 있다.

[0056] 복수의 스위치(117, 118, 119)는 제어기(140)로부터 전달된 제어 신호에 따라 스위칭되어 송신 채널 및 수신 채널을 분리하여 형성한다.

[0057] 다만, 도 9에 도시된 송수신 모듈(110-1)의 구조는 예시에 해당하며, 위상 배열 레이다 시스템의 성능 파라미터들, 공간 활용도 및 비용 등을 고려하여 도 9와 다른 구조로도 구현될 수 있다.

[0059] 상술한 바와 같이 본 발명은 LFM 파형에 따라 PS의 위상 값을 스위칭하여 위상 오차를 최대한 줄인다. 이러한 본 발명을 적용하기 위해서는 LFM 신호의 파라미터(parameter)가 필요하다. LFM 신호의 파라미터는 발신 주파수(Transmit Frequency), 주파수 변화율, 출력 신호의 대역폭, 신호의 지속 시간, 펄스 반복 주기, 신호의 길이, 신호의 기울기 등을 포함할 수 있다. 예를 들어, 신호의 길이가 짧고 위상의 기울기가 작다면 PS를 여러 번 스위칭할 필요가 없게 된다. 반대로, 신호가 길이가 길고 위상의 기울기가 크다면 PS를 복수회 스위칭할 필요가 있다. LFM 신호의 파라미터를 이용하여 신호 정보, 예를 들어 신호의 길이 및 기울기를 알게 된다면 본 발명에

서 제안된 방법을 통해 PS의 스위칭 시간 및 스위칭 횟수를 알게 되고, 해당 정보를 기반으로 PS에 입력되는 클럭(clock) 신호, 즉 스위칭 제어 신호를 변경하게 된다. 또한, 여러 개의 PS가 들어가는 빔포밍 장치의 경우 안테나 요소마다 해당 방법을 반복하게 된다. 스위칭 횟수는 각도 에러 허용 오차와 LFM 파형의 대역폭으로 결정되는데, 대역폭은 500MHz, 0.1° 의 빔 허용 오차를 기준으로 시뮬레이션 결과 21번의 스위칭이 필요하다.

[0060] 최대 빔 허용 오차는 중심 주파수와 해당 대역 내의 최소 주파수와 최대 주파수를 빔 패턴으로 변환하였을 때, 각 빔 패턴의 최대 피크(Peak)의 각도 차를 통해 정의할 수 있다. 또한, 최대 빔 허용 오차가 결정되면 중심 주파수와 대역폭을 알고 있기 때문에 스위칭 대역폭을 추정할 수 있다. 대역폭을 스위칭 대역폭으로 나누게 되면 스위칭 횟수가 나오게 된다. 따라서, 스위칭 횟수는 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 스위칭 횟수는 대역폭(bandwidth)을 최대 빔 허용 오차로 나눈 값과 비례한다. 또한, 스위칭 시간은 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 스위칭 시간은 첩 지속 시간(Chirp duration)을 스위칭 횟수로 나눈 값으로 정의될 수 있다.

수학식 3

[0061] $$\frac{Bandwidth}{\text{최대 빔 허용 오차}} \propto Number\ of\ Switchig$$

수학식 4

[0062] $$\frac{Chirp\ duration}{Number\ of\ Switching} = Switching\ Time$$

[0063] 앞서 구한 스위칭 횟수와 LFM 파형의 첩 지속 시간(Chirp duration)을 통해 PS의 스위칭 시간이 결정되고 이는 PS가 하드웨어적으로 해당 방법의 구현 가능성을 판단하게 된다.

[0064] 이러한 본 발명에 따른 PS 스위칭을 이용한 빔포밍 방법은 도 10에 도시된 바와 같은 과정을 통해 이루어질 수 있다. 즉, 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 광대역 신호를 위한 빔포밍 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 도 10에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시 예에 따른 광대역 신호를 위한 빔포밍 방법은 레이다 시스템이 구동되면(S110) LFM 파형의 신호를 생성한다(S120). 이때, LFM 파형의 파라미터를 판단한다. 예를 들어, LFM 파형의 신호 길이와 기울기 등을 판단한다. LFM 신호의 길이와 기울기에 따라 PS를 복수회 스위칭한다(S130). 스위칭 횟수와 스위칭 시간은 [수학식 3] 및 [수학식 4]에 따라 설정한다. 즉, 스위칭 횟수는 대역폭(bandwidth)을 최대 빔 허용 오차로 나눈 값과 비례하도록 설정하고, 스위칭 시간은 첩 지속 시간(Chirp duration)을 스위칭 횟수로 나눈 값으로 설정할 수 있다. 이렇게 LFM 파형의 파라미터에 따라 PS를 소정의 스위칭 횟수 및 스위칭 시간으로 복수회 스위칭하여 PS 위상과 LFM 위상의 오차를 줄일 수 있다. 이렇게 PS를 스위칭하여 PS 위상과 LFM 위상의 오차를 줄인 후 빔포밍 정보(S140)에 따라 위상을 조정한 후(S150) 신호를 송신한다.

[0066] 도 11은 비교 예에 따른 빔 패턴을 도시한 그래프이다. 즉, 도 11은 도 6에 도시한 바와 같이 LFM 파형의 시간에 따른 위상을 PS의 단위 위상으로 보정할 때의 빔 패턴이다. 도 11은 주파수 대역이 3~3.5㎓인 광대역 LFM 파형을 가정하였고, 실제와 유사하게 시뮬레이션하기 위해 안테나 개수는 64개, f_c=3.25㎓로 설정하였다. 도 11을 통해 알 수 있는 바와 같이 비교 예에 따른 시뮬레이션 결과는 도 4에 도시된 바와 같이 광대역 신호에 대하여 빔 편이가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

[0067] 도 12는 실시 예에 따른 빔 패턴을 도시한 그래프이다. 즉, 도 12는 본 발명의 실시 예에 따라 LFM 파형의 시간에 따른 위상을 PS를 복수회 스위칭하여 생성된 빔 패턴을 도시한 것이다. 실시 예는 50㎲의 LFM 파형을 10㎲ 간격으로 스위칭하였고, 그에 따라 도 12에 도시된 바와 같이 본 발명을 적용한 후 빔 편이가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

[0069] 상술한 바와 같이 본 발명은 신호의 위상을 조정하는 위상 쉬프터(PS)를 복수회 스위칭시켜 PS가 복수의 위상을 보상함으로써 LFM 파형에 따른 위상과 PS의 위상 차이를 줄일 수 있다. 이때, LFM 파형의 신호 길이와 기울기 등의 파라미터를 판단하여 스위칭 횟수와 스위칭 시간을 설정할 수 있다. 즉, 본 발명은 LFM 파형의 파라미터에 따라 PS를 소정의 스위칭 횟수 및 스위칭 시간으로 복수회 스위칭하여 PS 위상과 LFM 위상의 오차를 줄일 수 있다. 따라서, 본 발명은 TTD 보다 저렴한 PS를 이용하면서도 빔편이를 줄일 수 있다.

[0071] 상기한 바와 같은 본 발명의 기술적 사상은 상기 실시 예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기 실시 예는 그 설명을 위한 것이며, 그 제한을 위한 것이 아님을 주지해야 한다. 또한, 본 발명의 기술분야에서 당업자는 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 다양한 실시 예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0073] 100 : 송수신 블록 200 : 안테나부

110-1, 110-2, …, 110-n : 송수신 모듈

200-1, 200-2, …, 200-n : 안테나

120 : 전력 분배/결합기 130 : 전원 공급기

140 : 제어기 111 : 순환기

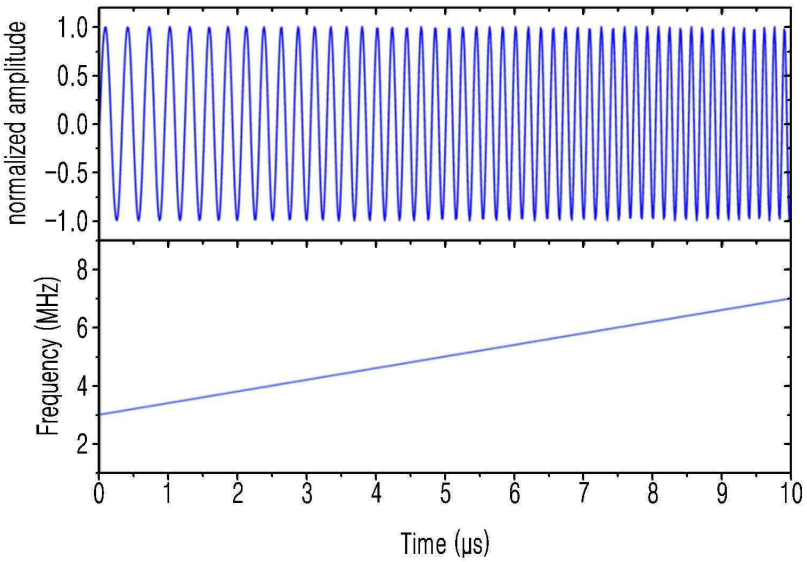
112 : 전력 증폭기 113 : 리미터

114 : 저잡음 증폭기 115 : 위상 쉬프터

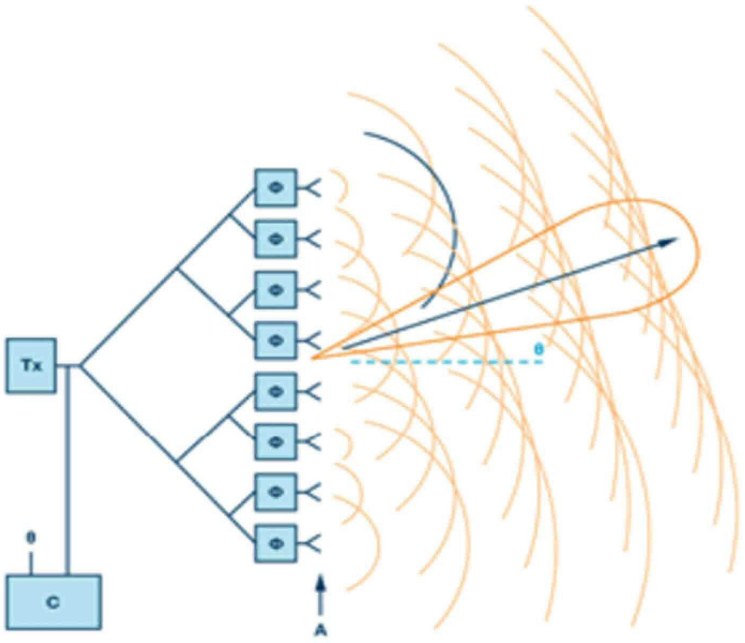
116 : 가변 감쇄기 117, 118, 119 : 스위치

도면

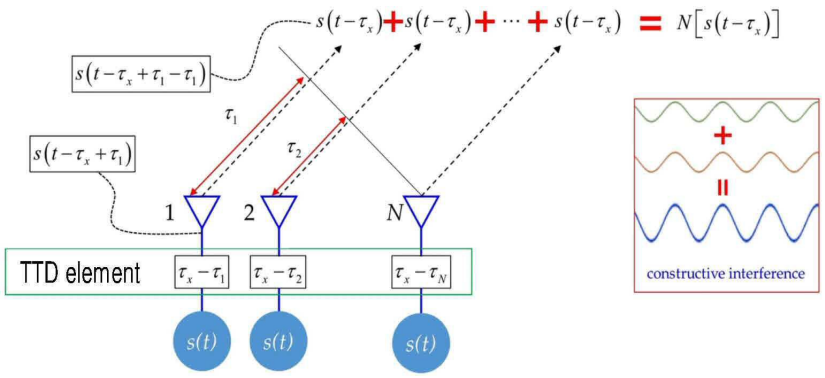
도면1



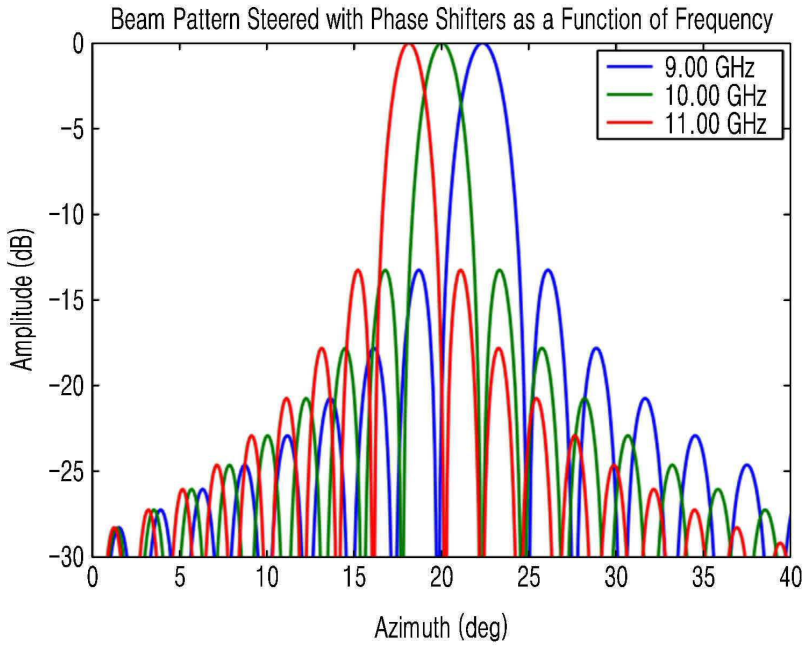
도면2


Tx
θ
C
A

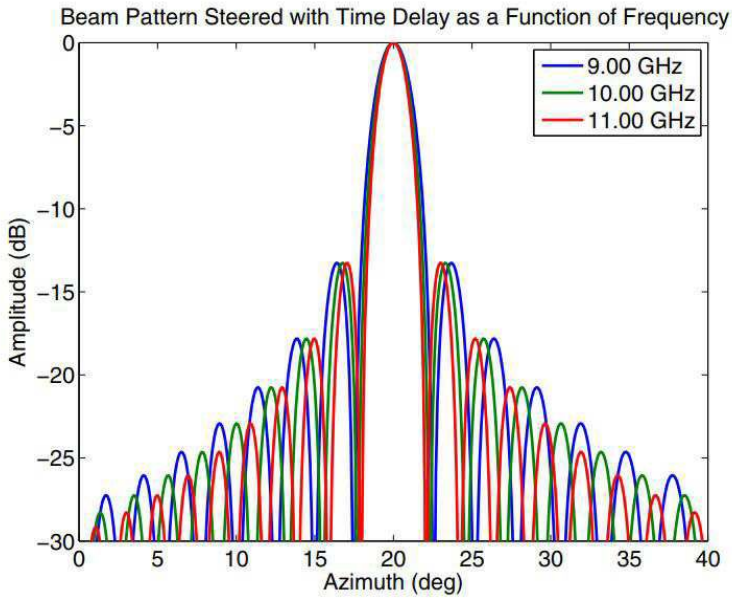
도면3


$s(t-\tau_x)+s(t-\tau_x)+\cdots+s(t-\tau_x) = N[s(t-\tau_x)]$
$s(t-\tau_x+\tau_1-\tau_1)$
$s(t-\tau_x+\tau_1)$
τ_1
τ_2
1
2
N
TTD element
$\tau_x-\tau_1$
$\tau_x-\tau_2$
$\tau_x-\tau_N$
s(t)
s(t)
s(t)
constructive interference

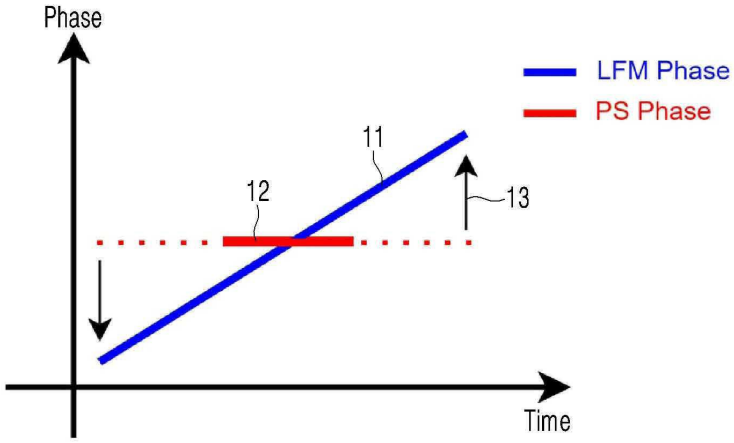
도면4


Beam Pattern Steered with Phase Shifters as a Function of Frequency
9.00 GHz
10.00 GHz
11.00 GHz
Amplitude (dB)
Azimuth (deg)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
0
5
10
15
20
25
30
35
40

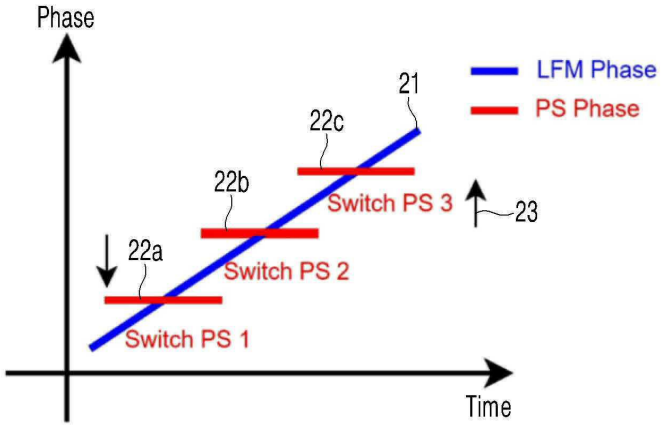
도면5


Beam Pattern Steered with Time Delay as a Function of Frequency
9.00 GHz
10.00 GHz
11.00 GHz
Amplitude (dB)
Azimuth (deg)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
0
5
10
15
20
25
30
35
40

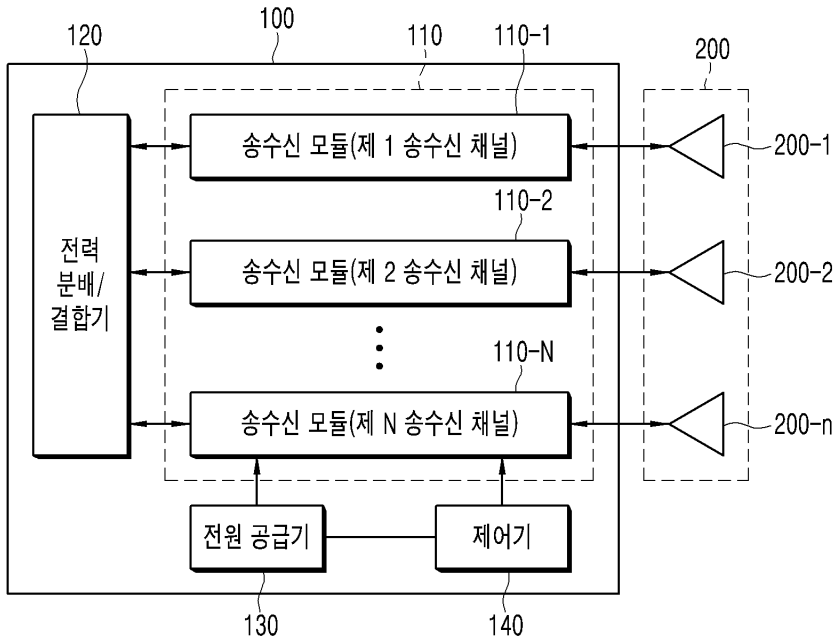
도면6


Phase
LFM Phase
PS Phase
11
12
13
Time

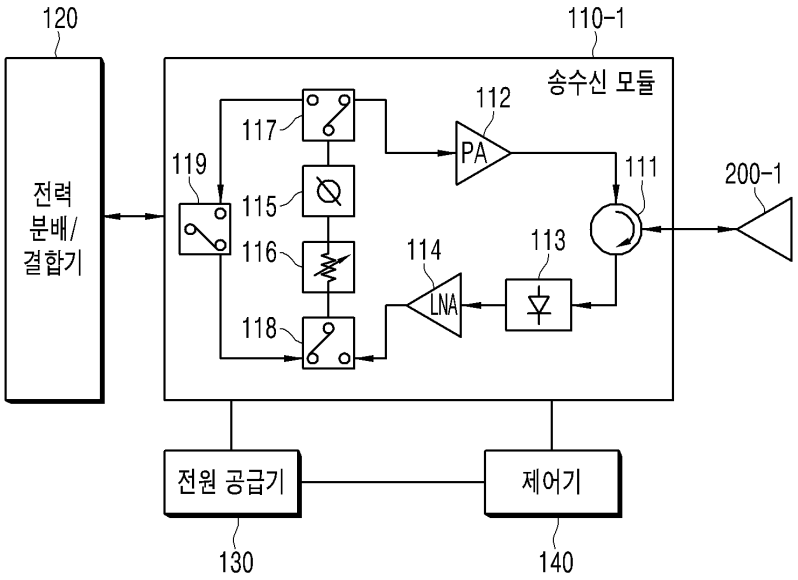
도면7


Phase
LFM Phase
PS Phase
21
22c
22b
Switch PS 3
23
22a
Switch PS 2
Switch PS 1
Time

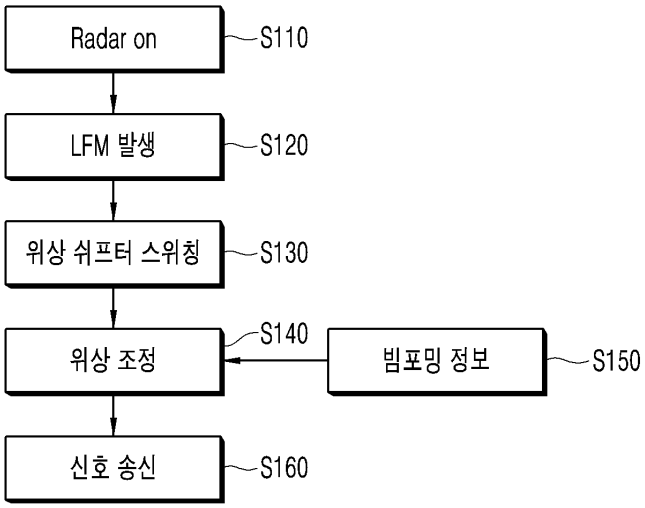
도면8


120
100
110
110-1
200
송수신 모듈(제 1 송수신 채널)
200-1
110-2
전력
분배/
결합기
송수신 모듈(제 2 송수신 채널)
200-2
110-N
송수신 모듈(제 N 송수신 채널)
200-n
전원 공급기
제어기
130
140

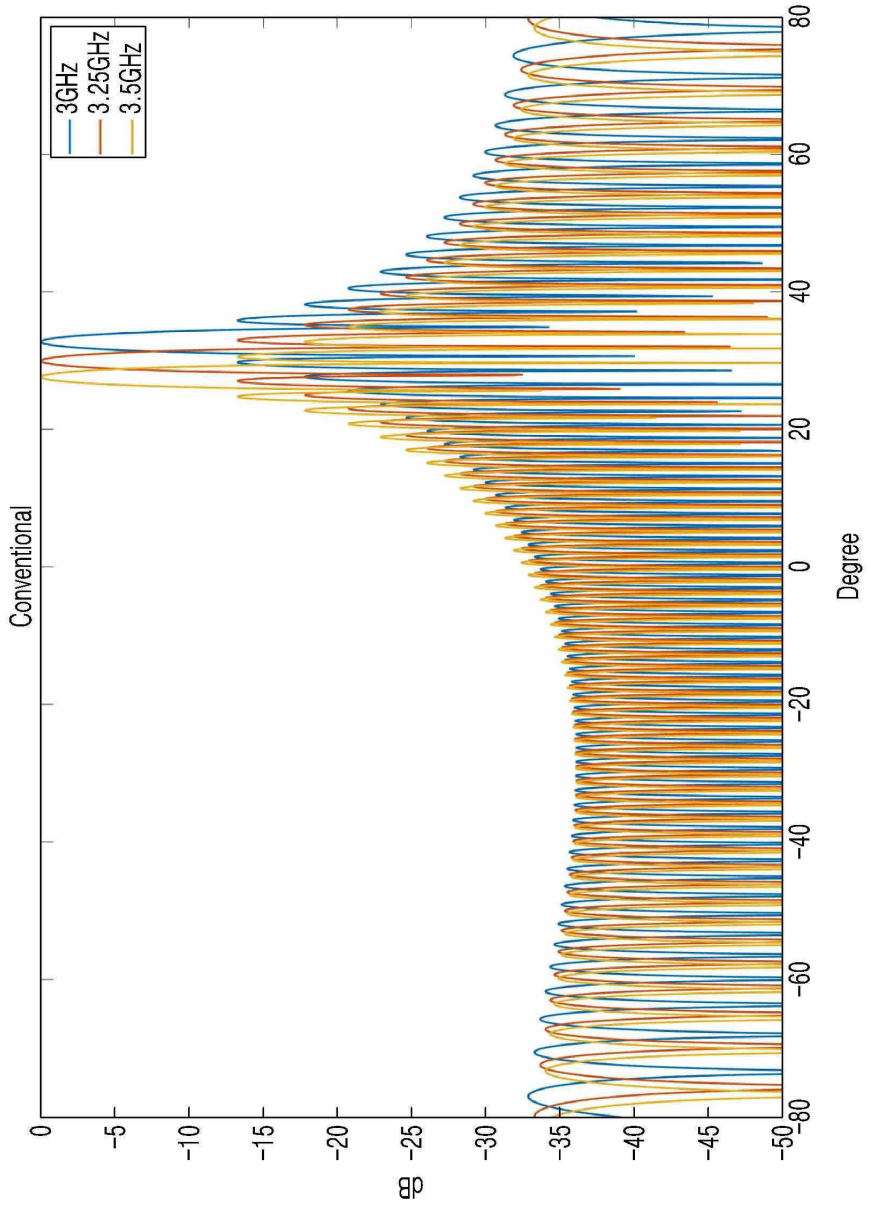
도면9


120
110-1
송수신 모듈
112
117
PA
119
115
111
200-1
전력
분배/
결합기
116
114
113
LNA
118
전원 공급기
제어기
130
140

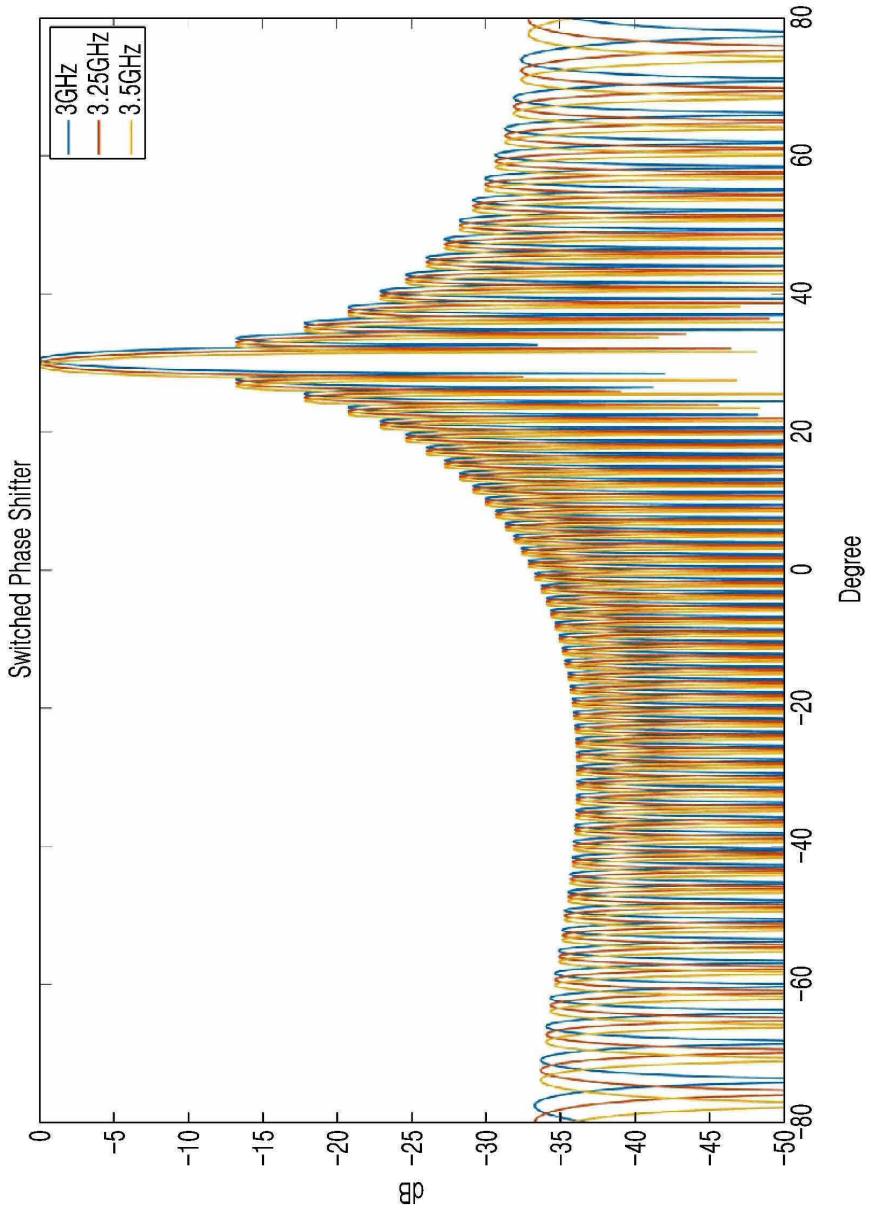
도면10


Radar on
S110
LFM 발생
S120
위상 쉬프터 스위칭
S130
위상 조정
S140
빔포밍 정보
S150
신호 송신
S160

도면11


3GHz
3.25GHz
3.5GHz
Conventional
dB
Degree
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80

도면12


Switched Phase Shifter
3GHz
3.25GHz
3.5GHz
dB
Degree
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80