

초음파 AFE를 위한 제어 전압을 구동하는 TGC 회로의 설계 및 분석

지금까지 TGC 애플리케이션에서 제어 전압을 생성하기 위한 저잡음 드라이브 회로를 설계하는 한 가지 방법을 살펴보았다. 고전압 DAC를 사용하고 출력을 감쇠하여 제어 전압에 요구되는 범위를 달성함으로써 신호 조절에 사용되는 레퍼런스 회로, DAC 및 연산 증폭기로부터 발생하는 잡음은 감쇠할 수 있다는 것을 볼 수 있다.

클/아난드 우두파(Anand Udupa), 아날로그 시스템 엔지니어
 샤비르 압헤라 왈라(Shabbir Amjhera Wala), 의료 사업부 특성화 관리자
 카틱 나부후샤나(Karthik Nagabhushana), 의료 사업부 특성화 관리자
 산제이 피타디아(Sanjay Pithadia), 시스템 엔지니어, 의료, 건강 및 피트니스 분야, 산업 시스템
 텍사스 인스트루먼트

서론

TGC의 저잡음 아날로그 프론트 엔드(AFE)는 시간 이득 제어(TGC, time-gain control) 기능을 통합해 시간의 함수로 수신기의 이득을 변경할 수 있으므로 초음파 애플리케이션을 지원한다. 수신기에 입사되는 초음파 신호는 전송 후 경과되는 시간의 함수로 진폭이 감소하지만, TGC는 신호 진폭이 감소하는 경우에도

최적의 가능한 신호 대 잡음비(SNR)를 달성하도록 도와준다. 이 글에서는 병렬 구성으로 여러 개의 AFE 수신기 칩을 구동하기 위해 시간 가변 V_{CNTL} 을 생성하는데 사용되는 회로의 규격과 설계 고려사항을 설명한다. 그림 1은 AFE5818 아날로그 프론트 엔드의 시그널 체인을 보여준다. TGC는 제어 전압 V_{CNTL} 로 제어할 수 있는 감쇠기를 사용하여 구현된다. 디지털-아날로그 컨버터(DAC)와 연산 증폭기로 구성된 외부 회로는 제어 신호를 발생시킨다. DAC를 위한 입력 신호는 FPGA로부터 시간 가변 디지털 제어되며, FPGA는 또한 초음파 애플리케이션에 필요한 빔 형성 동작을 처리할 수 있다.

AFE의 관점에서 V_{CNTL} 은 다음과 같은 특징을 갖는다.

AFE 제어 핀의 신호 레벨: AFE5818의 경우

V_{CNTL} 은 차동 입력 V_{CNTLP}

그림 1. AFE5818의 시그널 체인과 TGC 동작을 위한 아날로그 제어

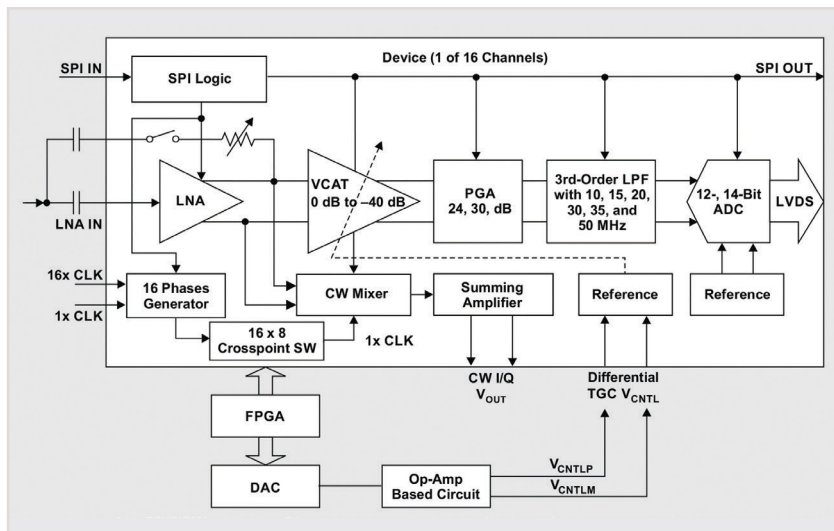
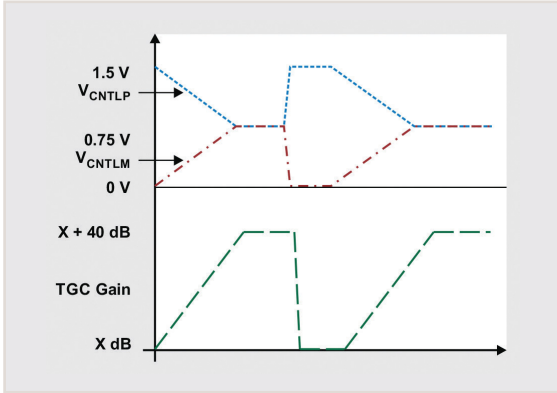


그림 2. V_{CNTL} 의 신호 범위에서 이득 제어

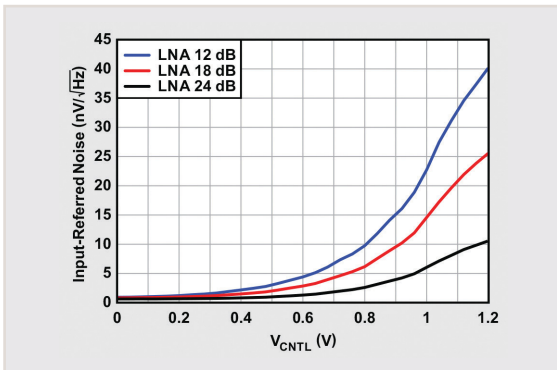


및 V_{CNTLM} 이다. V_{CNTL} 레벨($V_{CNTLP} - V_{CNTLM}$ 로 정의)이 1.5V 이상 또는 0V 미만이면, 감쇠기는 각각 최대 감쇠 레벨 또는 최소 감쇠 레벨에서 동작을 계속한다. 그림 2에서 보듯이 V_{CNTL} 은 1.5V~0V의 범위를 가지며, 40dB의 이득 제어 범위를 발생시킨다.

입력 기준 잡음

수신된 초음파 신호가 경과 시간의 함수로 감소함에 따라 V_{CNTL} 역시 감소하므로 감쇠가 작아지고 채널 이득이 증가한다. 그림 3은 TGC 회로의 이점을 보여준다. V_{CNTL} 이 감소하고 채널 이득이 증가하면서 수신기의 입력 기준 잡음도 계속 감소한다. 이와 같이 감소되는 잡음은 수신기 신호의 줄어드는 진폭과 관련된 SNR 저하를 억제할 수 있게 한다.

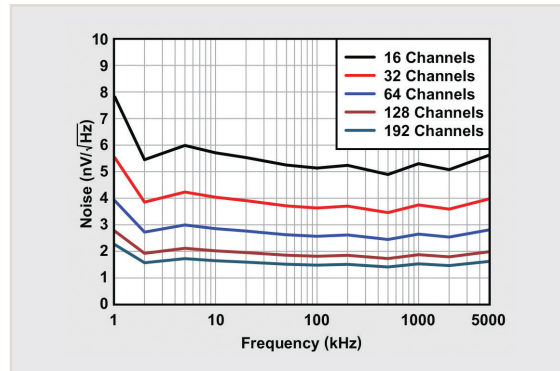
그림 3. 입력 기준 잡음과 V_{CNTL}



다중 채널의 잡음 요구사항

V_{CNTL} 드라이브 회로의 설계에서 핵심적인 고려사항은 V_{CNTL} 의 잡음 규격이다. V_{CNTL} 은 AFE의 여러 채널에 걸친 공통 제어 전압이며, 다른 AFE 칩의 채널과 공유될 가능성이 있기 때문에 V_{CNTL} 상의 모든 잡음은 동일한 V_{CNTL} 을 공유하는 여러 AFE 채널에 걸쳐 관련된 잡음원으로 나타난다. 그림 4는 동일한 V_{CNTL} 드라이브를 공유하는 채널 수의 함수로서 V_{CNTL} 에 허용되는 잡음을 보여준다.

그림 4. 주파수와 다양한 채널에 걸친 V_{CNTL} 신호에 허용되는 잡음



제안된 토폴로지

DAC 유형에 따라 TGC 제어 회로를 구현하는 다양한 방법이 있다. 그림 5는 V_{CNTL} 을 위한 드라이브를 생성하기 위해 MDAC(multiplying DAC)를 사용하는 토폴로지의 상위 수준 블록 다이어그램을 보여준다.

V_{CNTL} 범위는 0~1.5V이지만 DAC에는 훨씬 높은 레퍼런스 전압 $V_{REF} = 10V$ 가 사용된다. 레퍼런스 전압을 필터링하면 고주파수 잡음이 제거되며, DAC는 0~ V_{REF}

그림 5. 전류 출력 MDAC는 TGC 신호를 생성하는 데 사용된다.

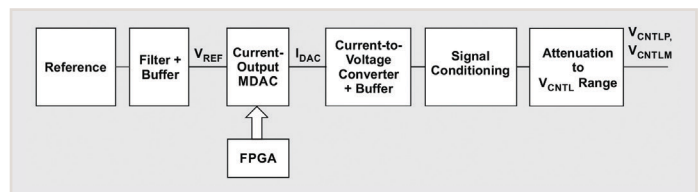
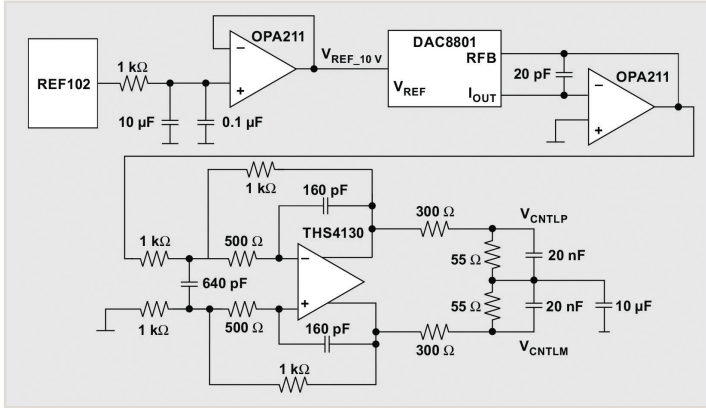


그림 6. V_{CNTL} 드라이브 회로



의 출력 범위를 발생시킨다. DAC의 출력은 연산 증폭기를 사용하여 $-V_{REF} \sim 0$ 레벨로 버퍼링 된다. 추가적인 신호 조절은 잡음 대역폭을 감소시키기 위해 저역 통과 필터링을 포함할 수 있다. 마침내 감쇠 회로는 범위를 바람직한 V_{CNTL} 범위로 감소시킨다.

높은 레퍼런스 전압과 높은 DAC 풀스케일 범위에서 시작해 감쇠로 이어지는 위의 방법은 신호 조절을 위해 사용되는 다른 연산 증폭기뿐 아니라 레퍼런스 회로와 DAC의 잡음 기여도를 감쇠시키는 데 도움을 준다. 이러한 토폴로지를 사용하는 그림 6은 제어 전압을 위한 드라이브 회로를 보여준다.

REF102는 10V 레퍼런스 전압을 발생시키고, 이 레퍼런스 전압은 필터링되고 버퍼링되어 V_{REF_10V} 를 생성한다. 이 전압은 DAC8801을 위한 레퍼런스 전압으로 사용되며, 디지털 입력 코드에 대응하는 I_{OUT} 에 전류 출력을 발생시킨다. DAC8801의 I_{OUT} 핀은 OPA211의 가상 접지(네거티브 단자)에 연결되고, 피드백 저항(R_{FB} 는 DAC8801에 내장)은 OPA211의 출력에 연결되므로 전류-전압 변환이 발생한다. OPA211의 출력은 $-10V \sim 0V$ 의 범위를 가지며, 셸런-키 필터로 구성되는 THS4130에 입력이 된다. 마지막으로 저역 감쇠기를 사용하여 10V 범위는 1.5V 범위로 감쇠되고,

0.75V의 공통 모드를 갖는다.

TINA-TI™ 시뮬레이션

그림 6에 보이는 회로의 레퍼런스 섹션은 TINA-TI™(그림 7)에서 시뮬레이션하여 잡음 분석을 할 수 있다.

REF102의 열 잡음 기여도는 630kΩ 저항으로부터 발생하는 열 잡음으로 모델링 된다. 이 잡음은 출력에 저항-커패시터(R-C) 필터를 사용하여 대역폭이

제한된다. 그림 8은 REF102의 열 잡음 기여도에 대한 시뮬레이션된 결과를 보여준다.

그림 9는 최대 출력 전류에서 DAC8801의 모델링된 잡음 기여도를 보여준다.

그림 7. 그림 6의 레퍼런스 회로에 대한 TINA-TI™ 시뮬레이션

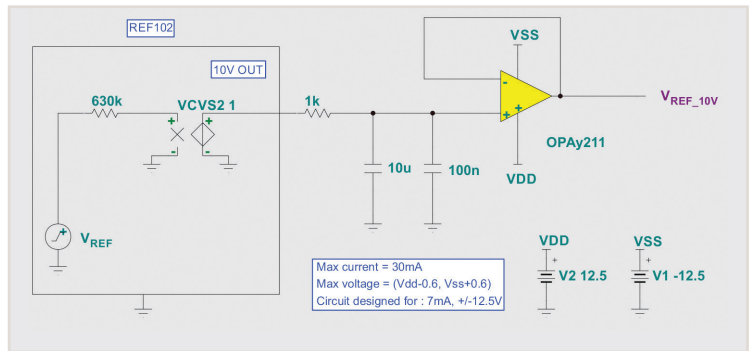


그림 8. 레퍼런스 회로의 잡음 기여도

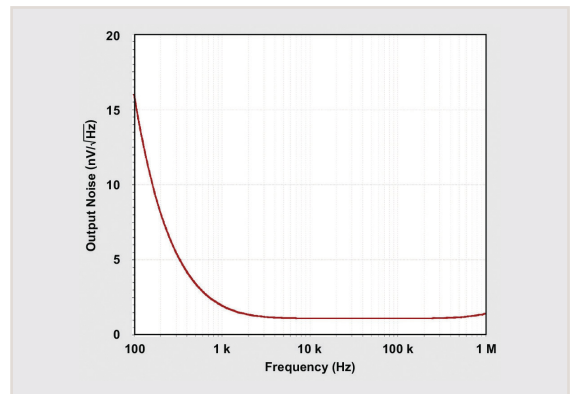
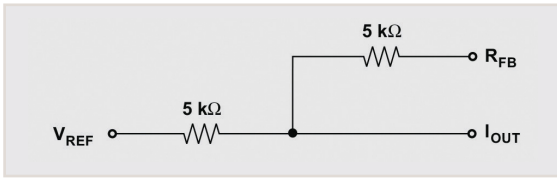


그림 9. DAC8801의 잡음 모델



결론

지금까지 TGC 애플리케이션에서 제어 전압을 생성하기 위한 저잡음 드라이브 회로를 설계하는 한 가지 방법을 살펴보았다. 고전압 DAC를 사용하고 출력을 감

그림 10. V_{CNTL} 드라이브 회로의 TINA-TI 시뮬레이션

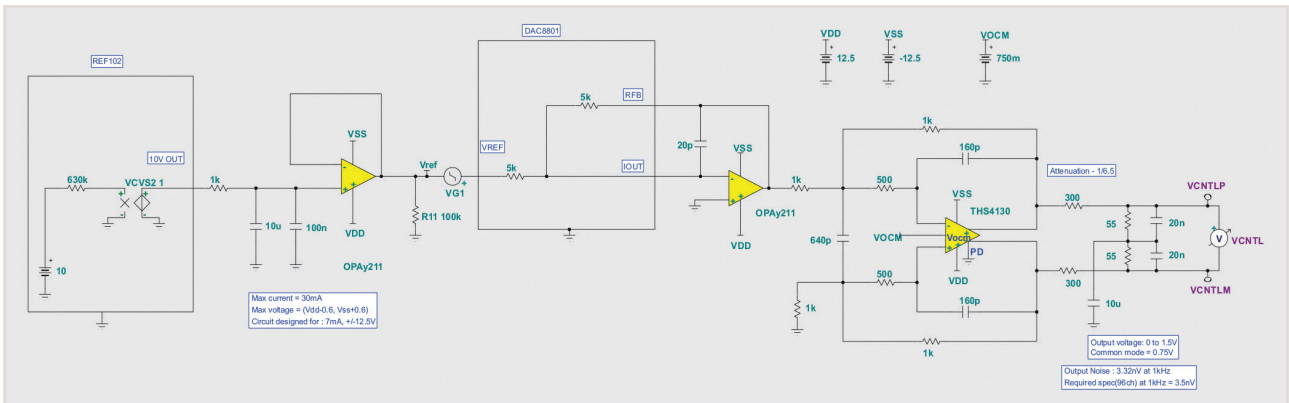


그림 11. 차동 V_{CNTL} 출력 신호

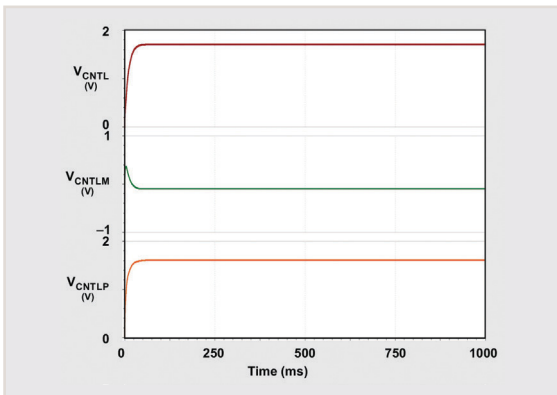
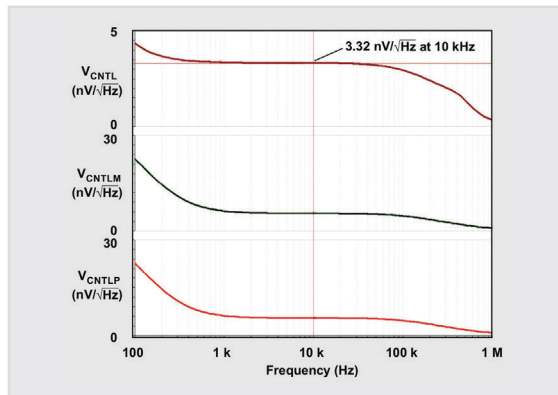


그림 12. 회로의 잡음 기여도



OPA211 및 THS4130을 위한 TINA-TI 모델은 TI에서 구입할 수 있다. (이 글의 마지막 부분에 나와 있는 관련 웹사이트를 참조) 그림 10은 전체 회로에 대한 TINA-TI 시뮬레이션을 보여준다.

그림 11과 12는 각각 회로의 차동 V_{CNTL} 출력 신호와 잡음 기여도를 보여준다. 10kHz에서 $3.32nV/\sqrt{\text{Hz}}$ 의 출력 잡음은 이와 같은 드라이브 회로가 32 ~64개 사이의 채널을 동시에 구동할 수 있음을 나타낸다.

식하여 제어 전압에 요구되는 범위를 달성함으로써 신호 조절에 사용되는 레퍼런스 회로, DAC 및 연산 증폭기로부터 발생하는 잡음은 감쇠할 수 있다는 것을 볼 수 있다. **SN**

참고 문헌

- Sanjay Pithadia and Rahul Prakash, "Time Gain Control (Compensation) in Ultrasound Applications," Texas Instruments Application Report (SLAA724), December 2016.