

## 스텝퍼 모터를 사용한 공명 방지



Portescap 스텝퍼 모터 기술

스텝퍼 모터는 일반적으로 풀 수가 많은 전기 무브러시 모터입니다. 스텝퍼 모터는 로터 위치 피드백 시스템(예를 들어, 인코더 또는 통합 홀 센서)이 필요 없이 단계별로 구동할 수 있으므로 일반적으로 간편한 비용 효율적 포지셔닝 솔루션으로 사용됩니다. 피드백 없는 이 모터 구동 방법은 "개방 루프" 제어라고도 합니다. 그러나 이러한 모터의 설계와 모터 구동 방식은 특정한 조건에서 문제가 될 수 있습니다. 이 백서에서는 이러한 문제를 방지하고 적절한 동작을 보장하는 여러 방법을 검토합니다.

### 스텝퍼 모터에 관한 일반 사항

스텝퍼 모터 위상은 이후에 하나의 안정 위치에서 다음 위치로 로터를 움직이는(일반적으로 영구 자석 전달) 외부 전자 드라이버에 의해 연속적으로 정류됩니다. 선택한 모터는 각 정류 후 로터 및 하중을 다음 단계로 이동하기 위해 충분한 토크를 제공해야 합니다. 토크가 충분하지 않거나 속도가 너무 빠르면 드라이버와 실제 로터 위치 사이에 동시성을 상실할 위험이 있습니다. 이는 단계 상실, 회전 방향 변경 가능성, 일반적인 불규칙 동작을 일으킬 수 있습니다.

그림 1은 풀 한 쌍이 포함된 매우 단순한 2상 스텝퍼 모터의 개념을 보여줍니다. 전자적으로 구동된 정류 시퀀스(A, B, -A, -B)는 4단계에 걸쳐 전체 로터 회전을 발생시킵니다(단계당 90°).

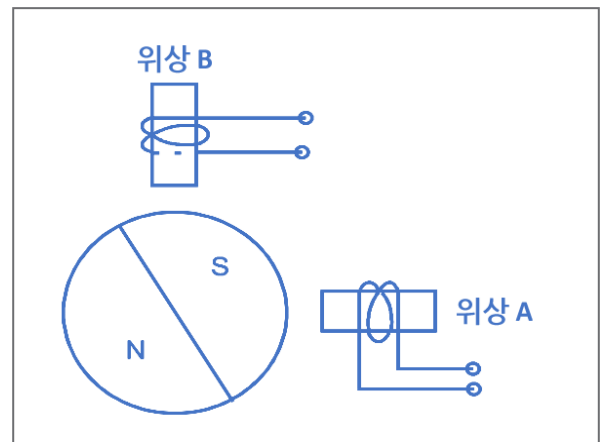


그림 1 - 1쌍의 풀이 있는 2상 스텝퍼 모터의 기본 개념

## 안정 위치 주변의 진동

각 단계에서 로터는 로터의 풀을 고정자의 풀에 정렬하는 경향이 있습니다. 하나의 단계에 연속적으로 전원이 공급되는 한(다음 단계로 전환 없음) 로터는 안정 위치를 유지합니다.

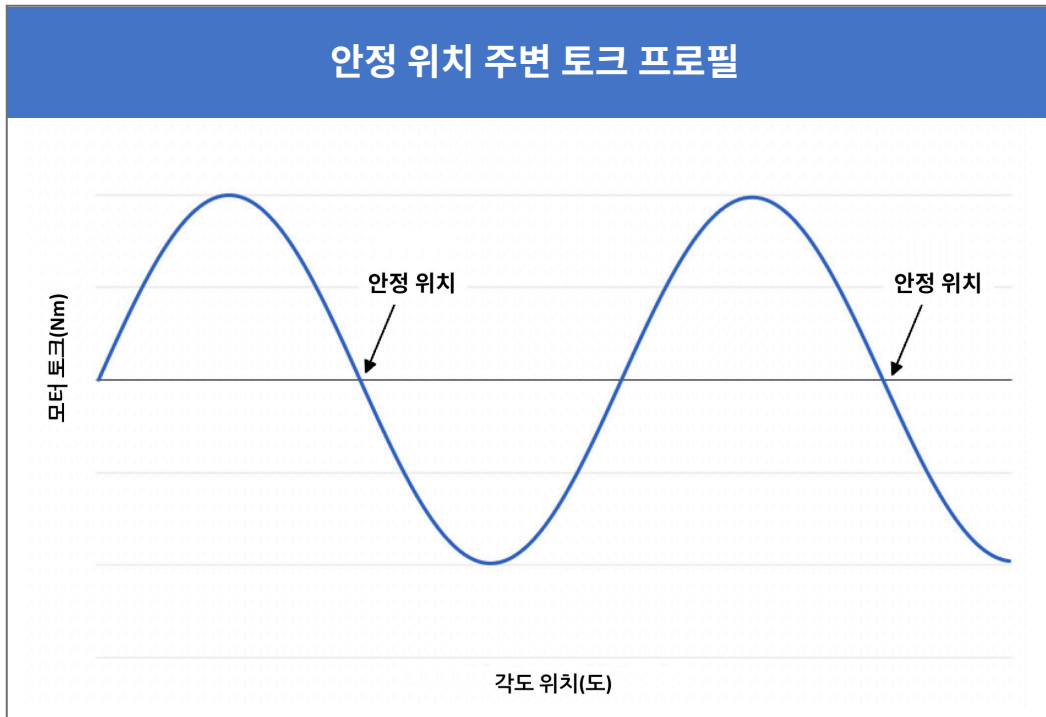


그림 2 - 1단계 전원 공급이 있는 스텝퍼 모터 토크 프로파일

위의 그래프는 로터가 목표 위치보다 앞으로 이동하는 경우 모터가 목표 위치로 로터를 다시 잡아당기는 경향이 있는 음의 토크를 발생시킨다는 것을 보여줍니다. 반면, 로터가 목표 위치(왼쪽) 전에 있으면 양의 토크가 로터를 목표 위치 방향으로 앞으로 밀어줍니다. 이러한 조건에서 로터 관성(있는 경우 하중의 관성 포함)은 로터가 안정 위치에서 정확히 멈추지 못하도록 하므로 진동 현상이 쉽게 발생할 수 있는 것 같습니다. 로터가 안정 위치에서 다음 안정 위치(한 단계 이후)로 움직일 때마다 각도 위치는 일반적으로 로터가 접근함에 따라 로터의 운동 에너지로 인해 로터의 목표 위치를 지나칩니다. 그러면 음의 토크가 로터를 목표 위치로 다시 이동시키자마자 위치 주변에서 진동을 시작합니다. 이 주기적 진동의 자연적인 주파수는 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{T_{\text{고정}} * N}{J_{\text{합계}}}}$$

$T_{\text{holding}}$ : 고정 토크(Nm)

$N$ : 풀 쌍의 수

$J_{\text{total}}$ : 관성의 총 모멘트 ( $J_{\text{rotor}} + J_{\text{load}}$ )

그러나 이 진동은 시스템의 손실 덕분에 시간이 지남에 따라 규모가 줄어듭니다. 이 진폭 감소는 일반적으로 "댐핑"이라고 하고 몇 가지 요인에 좌우됩니다. 결국 댐핑은 항상 하나의 단계에만 전원이 공급되는 경우 로터를 정지 위치로 가져오지만, 일부 경우에 단계에 연속적으로 전원이 공급되는 경우에는 댐핑을 최적화하는 것이 합당합니다.

높은 속도에서 정류 기간이 짧아지고 다음 단계 명령이 내려지기 전에 진동이 끝나지 않으면 공명 위험이 있습니다(기계 시스템이 더 큰 진폭에 반응하는 경향). 이 현상은 정류 주파수가 위에서 확인한 시스템의 자연적인 주파수에 가까운 경우에 발생할 가능성이 있습니다.

공명은 모터의 불규칙한 작동으로 이어져 단계를 상실하고 회전의 방향을 무작위로 바꿀 수 있습니다. 따라서 명령과 실제 로터 위치 사이의 적절한 동시성을 보장하기 위해 공명이 발생하지 않도록 방지하는 예방 조치를 취하는 것이 중요합니다.

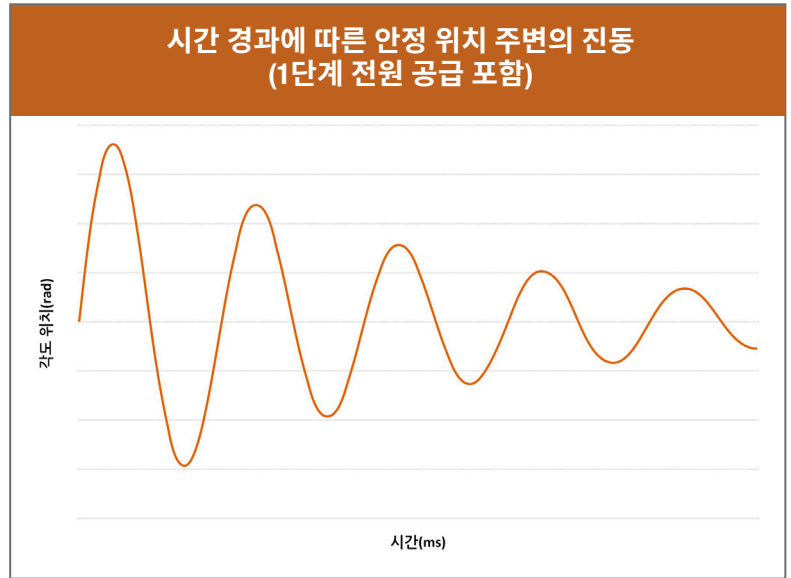


그림 3 - 시간 경과에 따라 완충된 로터 진동

## 공명을 피하는 방법

### 자연적 주파수 회피

공명은 일반적으로 정류 주파수가 기계 시스템 진동의 자연적 주파수에 가까울 때 발생합니다. 결과적으로, 공명 발생을 방지하는 가장 기본적인 방법은 설명한 매개 변수를 사용하여 정류 주파수를 시스템의 자연적 주파수에서 멀리 떨어뜨려 놓는 것입니다. 속도 변화를 보상하기 위해 다른 변화가 필요할 때도 있으므로, 정류 주파수 변경이 항상 가능한 것은 아닙니다.

### 자연적 주파수 이동

정류 주파수를 변경하는 대신 정류 주파수가 자연적 주파수와 일치하지 않도록 하기 위해 자연적 주파수를 더 높거나 낮은 주파수로 이동하는 것이 더 좋습니다. 이는 자연적 주파수에 영향을 미치는 2개의 매개 변수 즉, 고정 토크 및 시스템의 전체 관성을 처리하여 수행합니다.

- **고정 토크**

일반적으로, 모터는 고정 토크를 정의하는 정격 전류에서 사용되도록 크기가 조정됩니다. (고정 토크를 높이기 위해) 더 높은 전류를 사용하는 것은 더 높은 줄 손실이 코일 온도를 과열시키기 때문에 연속 작동을 위해 가능하지 않습니다. 그러나 더 낮은 토크가 응용분야의 요구에 충분한 경우 더 낮은 전류를 사용(더 낮은 고정 토크를 달성하고 자연적 주파수를 아래로 이동)하는 것이 가능합니다.

- **관성**

기계 시스템의 관성 움직임은 모터의 로터 관성과 하중 관성의 합입니다. 모터 개발자는 설계 변경을 구현하여 로터의 관성을 변경할 수 있습니다. 하중 없는 모터의 자연적 공명 주파수는 일반적으로 모터의 사양에 제공되어 있습니다. 그렇지 않으면 사용자는 부하 관성을 조작할 수 있습니다(모터와 완전히 독립적). 관성을 높이면 전체 시스템의 자연적 주파수가 아래로 이동하고 반대로 마찬가지로입니다. 시스템의 관성을 변경하면 응용분야에서 모터의 성능에도 영향을 미칠 수 있고 적절한 작동을 보장하기 위해 모터 공급자에게 확인해야 합니다.

## 마이크로스테핑으로 공명 방지

기계 시스템에 더 높은 에너지를 가져올수록 공명 현상을 트리거할 위험이 더 커집니다. 이를 방지하기 위해 스테퍼 모터의 전체 단계를 구동하는 대신 마이크로스테핑이 좋은 솔루션이 될 수 있습니다. 각 마이크로스텝(절반 단계, 1/4 단계 등)에는 더 작은 단계 각도가 있고 하나의 안정 위치에서 다른 안정 위치로 이동하는 데 더 적은 에너지가 필요합니다. 목표 위치 지나침이 더 적고 따라서 진동 규모도 더 적어서 일반적으로 공명을 피하는 효과적인 방법을 제공합니다.

또한, 마이크로스테핑은 일반적으로 소음이 낮고 진동이 적으며 작동이 더 원활합니다. 스테퍼 모터는 보통 마이크로스테핑으로 구동됩니다.

## 댐핑으로 공명 방지

댐핑 요소에는 다음과 같은 다양한 유형이 있습니다.

### • 하중 마찰 및 모터 베어링 마찰

마찰은 모터 속도와 관계없이 일정한 중단 토크(회전의 즉각적 방향의 반대)를 제공합니다. 마찰은 진동을 약화시키는 데 도움이 되고 공명을 방지하지만, 마찰이 모든 속도에서 모터에 적용되는 하중도 더한다는 점을 유념해야 합니다. 따라서 마찰을 추가하여 공명을 방지하는 경우 모터의 성능이 충분한지 확인하는 것이 중요합니다.

### • 점성 마찰

점성 마찰은 중단 토크도 제공하지만, 규모가 모터 속도에 따라 다릅니다. 속도가 높을수록 점도 댐핑은 더 강합니다. 이는 일반적으로 진동 동작을 완충하기 위해 선호되는 방법입니다. 진동 진폭이 클 때는 강력한 중단을 제공하고(처음에 속도가 높을수록) 진동이 더 작으면 중단이 매우 약하기만 합니다(매우 낮은 속도에서도 동일한 중단 규모를 제공하는 건조 마찰과 다름). 결과적으로, 점성 댐핑은 아주 짧은 시간 내에 진동을 완충하는 좋은 방법이고 모터에 너무 많은 하중을 더하지 않습니다.

시스템에 점성 마찰을 가져올 수 있는 다음과 같은 다양한 현상이 있습니다.

- » 고정자의 철에서 발생하는 와전류(철 유실), 중단 토크로 작용 이러한 유실은 속도가 높을수록 더 높고 동작이 없는 경우 존재하지 않으므로 점성 마찰로 간주할 수 있습니다. 모터 설계 및 기술에 따라 철 유실은 모터마다 다를 수 있습니다. 디스크 자석 모터는 일반적으로 철 유실이 제한되어 상대적으로 높은 속도에 도달할 수 있습니다. 따라서 디스크 자석 모터의 진동을 완충하기 위해 철 유실에만 의존해서는 안 되고 그러한 모터에서 공명을 방지하는 다른 방법을 고려할 수 있습니다.
- » 역EMF(전압)가 코일에서 유도되어 전류와 중단 토크를 일으키고 진동을 완충합니다. 이 전류는 전력 비공급 단계에 쇼트 회로가 발생할 때 일반적으로 허용되고 모터 속도에 비례(속도가 높을수록 중단 토크가 강함)하기 때문에 점성 마찰로 간주할 수도 있습니다. 초퍼 드라이버(정전류)는 일반적으로 전류가 역EMF 변형에도 불구하고 일정하게 유지되므로 이 댐핑 유형을 지원하지 않습니다.
- » 전자 댐핑 솔루션은 시스템에서 기계 매개 변수를 변경하지 않고 특정한 방법으로 모터를 구동하여 적용할 수 있습니다.
- » 외부 기계 댐퍼는 또한 응용분야 또는 모터에 추가하여 점성 마찰에 의한 진동 에너지의 일부를 흡수하여 공명을 방지할 수도 있습니다.

## 결론

스테퍼 모터의 단계별 순차 작동은 공명에 유리한 조건이 동시에 충족될 때마다 공명 문제를 일으킬 수 있습니다. 때로는 이러한 조건 중 하나에만 영향을 주어도 공명을 제거하는 데 충분할 수 있습니다. 모터 기술 및 설계에 따라 자연적인 진동 주파수 외에도 공명을 트리거할 수 있는 추가 주파수 범위가 있을 수 있다는 점도 유념해야 합니다. 그중에는 예를 들어, 중간 주파수 공명이 있습니다. 모터 공급자는 공명을 트리거할 가능성이 높은 주파수 범위와 이러한 발생을 방지하는 방법을 결정하는 데 도움이 될 수 있습니다. **P**

자세한 정보:

서울 강남구 영동대로 517  
아셈타워 30층 3033호  
전화: +82 2 6001 3247  
sales.asia@portescap.com  
www.portescap.kr

엔지니어에게 문의:

[www.portescap.com/ko-kr/문의](http://www.portescap.com/ko-kr/문의)

**Daniel Muller**

응용분야 엔지니어

[Daniel.Muller@portescap.com](mailto:Daniel.Muller@portescap.com)

**Portescap**