Final Project

*Date: 2019.07.09*

*Team: 1조*

*Name: 21400240 김형준*

*21700242 문선빈*

1. **Static Characteristic & Linearization**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 1. Static Charateristic of Motor** | **Fig 2. Motor linearization** |

Gyro 신뢰구간 : ~

Deadzone : ~

|  |  |
| --- | --- |
| CCW linearization | CW linearization |
|  |  |

수식을 이용한 linearization 수식은 위와 같다. Gyro 신뢰구간 외는 saturation 처리했다.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 3. Linearizatin Validatioin** | **Fig 4. Saqtooth Validatioin** |

Triangular wave를 통해, 설정한 deadzone과 saturation 구간이 유효함을 확인했다.

Sawtooth wave를 통해, backlash기어의 동작여부를 확인하였으며, backlash의 영향이 최소화됨을 확인했다.

1. **Modeling & Validation**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 5. Checking Motor system’s Order\_1** | **Fig 6. Checking Motor system’s Order\_2** |

Least Square Method를 사용하여 motor를 Modeling하기 전, motor의 system 차수를 확인하였다. 위 그림과 같이 10[Hz]일 때, phase shift는 임으로, motor는 2차 시스템으로 근사할 수 있다.

의 Sine wave를 인가하고 Least Square Method 로 구한 motor의 전달함수는 다음과 같다.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 42.1[rad/s] | 113 | 1.4 |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 7. Sine Wave Validation** | **Fig 8. Step response** |

Simulink상의 시간영역에서, Sine wave를 과 실제 system에 인가하였을 때 결과가 동일하였다. 이를 통해, Tustin method를 통해 구한 전달함수는 우리가 사용하는 낮은 주파수 대역에서 모델링이 잘 되었음을 보여준다. 또한 Pulse wave 인가 시, DC gain 추정치가 유효함으로, motor modeling은 유효하다.

1. **Inertial Stabilization Controller**

* **Pole placement for required specifications**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 9. Check pole placement area** | **Fig 10. Effect on** |

노랑색 영역 : , 만족하는 영역에 pole 위치

초록색 영역 : 만족하는 영역에 pole 위치

따라서, 원하는 specification과 disturbance rejection specification까지 고려한 초록색 영역 안에 pole이 위치해야 한다. 초록색 영역을 구한 과정은 아래와 같다. Disturbance rejection closed loop system을 직접 식을 유도하고 bode plot을 그려 보았다.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 11. Bode plot of** | **Fig 12. Bode plot of selecting** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 기준 | 기준충족을 위한 최소조건 | 최종 |
|  |  |  |

최종 설정 이유

1. Disturbance rejection performance를 최대치로 설정

2. I제어기 특성 고려

는 의 bandwidth 의 이다.

인 경우, 급증하는 값으로 인하여 saturation문제가 발생한다. 의 한계치인 를 초과하는 명령이 발생해, 에 오차가 누적되어 발산한다.

최종 controller gain은 다음과 같다.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 31.6[rad/s] | 0.5912 | 0.013775 | 0.470956 | 0.000071 |

**\***gain margin = inf, phase margin = 61.0750

* **Simulink and Experiment result**

Magnitude of LPF used for D controller =>

D제어기를 구현 시, 가 improper 시스템임을 고려해야 한다.

따라서, 미분기 형태로 D제어기를 구현해주어야 한다. 미분기는 D제어기와 적분기의 곱과 같다. 적분기의 cut-off frequency를 전체 closed loop system bandwidth의 약 10배 정도로 설정한다. 현 시스템은 낮은 Bandwidth 영역에서 동작함으로, LPF의 magnitude는 1로 근사할 수 있다.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 13. Simulation Result** | **Fig 14. Experiment Result** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Simulink | Experiment |
| Disturbance Reject Performance | 진폭을 6% 로 감소 | 진폭을 3% 로 감소 |

\*Experiment result는 Noise를 LPF()로 제거한 결과 값

(Noise 신호를 FFT하여 cut – off frequency 로 설정)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 15. Simulatin Result\_Step input** | **Fig 16. Experiement Result\_Step input** |

Step Response 결과, pole placement로 설계했을 때의 Overshoot 보다 1% 더 커졌다.

그 이유는 실수 Additional zero의 영향이다. 실수 additional zero는 dominant poles에서 매우 멀면 단순한 scaled factor로 근사 된다. 그러나, 주어진 system의 Closed loop system의 경우, additional zero 1개가 -48.5로 dominant pole인 -18.7보다 3배 이상 떨어져 있지 않기 때문에 Overshoot에 약간의 영향을 준다.

Nyquist Plot을 통하여 phase margin은 , gain margin은 infinity 로 모델 불확실성에 대한 specification을 만족한다.

최종적으로 모든 specification을 만족하는 제어기를 설계했다. 그 값은 아래와 같다.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tr < 0.3[seconds] | OS < 20% | PM > 60 | Disturbance Rejection Performance |
| Tr = 0.08[seconds] | OS = 11% | PM = 60 | 약3%까지 감소 |

1. **Tracking Loop Controller**

* **Outer Loop Sensor Modeling**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| **Fig 17. DIR characteristic** | **Fig 18. DOA characteristic** | **Fig 19. Potentiometer linearization** |

DOA(magnitude)와 DIR(sign) 신뢰구간 : ~

Deadzone :

Saturation section : 이상, 이상

.DOA와 DIR 을 통해 다음과 같은, 과 사이의 관계식이 도출된다.

\*위 식은 의 경우, 선형화 식이다. 의 경우, 기울기는 동일하며, 부호가 반대이다.

Fig 19에서의 오차율은 임으로 선형적이다. Inverse 로직을 사용하여 을 얻고, 이를 통해 각도 를 구할 수 있다.

* **Pole Placement and Step Response**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 20. Whole Feedback Loop** | **Fig 21. Pzmap outer loop** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 기준 | 기준충족을 위한 최소조건 | 최종 |
| Inner loop dominant pole  (= -19) |  |  |

Inner Loop system을 상대적으로 매우 빠른 시스템임으로 1로 근사한다.

따라서 Inner Loop의 dominant pole인 -19보다 5~6배 느린 3.17~3.8로 값을 설정하면 된다. 위 그림에서 노란색으로 페인트 칠한 부분에 가 위치할 수 있다.

이에 따른, 전달함수는 다음과 같다.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Fig 22. Simulation Result Step Input** | **Fig 23. Experiment Result Step Input** |

\*Experiment Result는 offset를 제거한 그래프이다.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Simulation |  |  |
| Experiment |  |  |

의 결과는 오차율 로 일치한다.

가 차이나는 이유는, 현 system은 type 1 system으로 정상상태 오차가 존재하지 않는다. 그러 실제 system은 hardware issue 및 noise로 인해 약간의 overshoot이 발생한다

이외의 specification 다음과 같으며, 모든 specification을 만족한다.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 목표 값 |  |  |
|  |  |  | O |
|  |  |  | O |