

장거리 전송선로 인버터 출력 필터 분석 및 검증

김옥진, 김동희, 유승희, 김민중, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Verification and Analysis of Inverter Output Filter for Long-distance Line Impedance

Og Jin Kim, Dong Hee Kim, Seung Hee Ryu, Min Jung Kim, and Byoung Kuk Lee*
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 인버터와 모터 사이의 선로가 긴 경우 장거리 전송 선로의 부유 임피던스로 인하여 발생하는 출력전압의 오버슈트 및 링잉현상을 저감하기 위하여 장거리 전송선로를 모델링하고 인버터의 출력 필터를 설계한다. 이때, 전송선로의 임피던스 모델링을 위하여 다양한 방식으로 접근하고 효율적인 전송선로 모델링 방식을 결정한다. 전체과정은 이론적인 분석과 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

분포정수회로는 단위 길이 당 전송선로의 임피던스를 측정하여 단위 임피던스를 구성하고, 선로의 길이만큼 직렬로 연결하여 그림 2와 같이 모델링하는 방법이다. 실제 상황을 그대로 모의하기 때문에 가장 정밀도가 높으나 해석이 복잡하고 회로가 비대해지는 단점이 있다.

본 논문에서의 인버터 출력전압과 모터의 입력전압 사이의 길이는 30m, 선로 부유임피던스 값은 $C_c = 0.03nF$, $L_c = 1.18\mu H$ 이다[1].

1. 서론

최근 전력 반도체 및 전력전자 기술의 향상으로 전력변환 장치는 고효율 및 경량화를 이루었다. 특히, 내연기관과 비교하여 에너지 환경문제에 강점이 있는 모터와 그 제어 기술은 많은 기계적 장비들을 전기기기로 변화 시키고 있다. 이들 전기기기는 전송선로만 이어진다면 동력원과 거리가 멀어도 기기를 구동시킬 수 있다는 장점이 있기 때문에 시추를 위한 장비 등 다양한 산업 현장에서 활용되고 있다. 하지만, 인버터와 모터사이의 전송선로가 긴 경우에 전송 선로의 부유 임피던스와 인버터의 고주파 스위칭에 의하여 높은 전압 오버슈트가 발생될 수 있다. 이 문제는 모터의 수명 저감, 오동작 EMI문제를 야기할 수 있다. 따라서 긴 전송선로를 갖는 전기기기의 신뢰성과 안전성을 높이기 위해서는 전송선로의 임피던스 모델링과 필터설계가 필수적이다.

본 논문에서는 3상 인버터와 긴 전송선로를 갖는 5마력 유도전동기를 대상으로 전송선로의 임피던스를 모델링하고 필터를 설계하였다. 이때, 필터설계를 위한 선로의 임피던스 모델링을 위하여 다수의 L, C 소자를 사용하는 분포정수회로와 이를 간략하게 등가화한 집중정수회로로 모델링하고 그 결과를 비교하였다. 일련의 과정을 통하여 장거리 전송선로의 해석과 필터설계를 위하여 효율적인 모델링 방법을 제시하였다

2. 분포정수회로 모델링

그림 1은 3상 인버터와 모터 사이에 긴 전송선로를 가진 모델링이다. 전압상승률을 억제하기 위해 사용된 LRC 저역통과 필터는 인버터 출력 단에 적용하여 전압반사현상으로 인한 전압상승률을 완화시킨다.

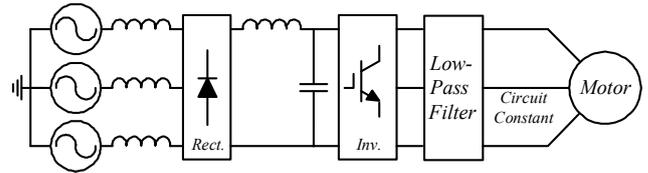


그림 1 유도전동기의 구동을 위한 인버터출력필터
Fig. 1 PWM inverter driving an induction motor with proposed inverter output filter

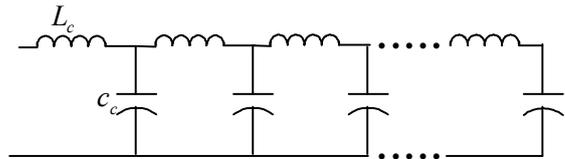


그림 2 전송선로 모델링
Fig. 2 Transmission line modeling

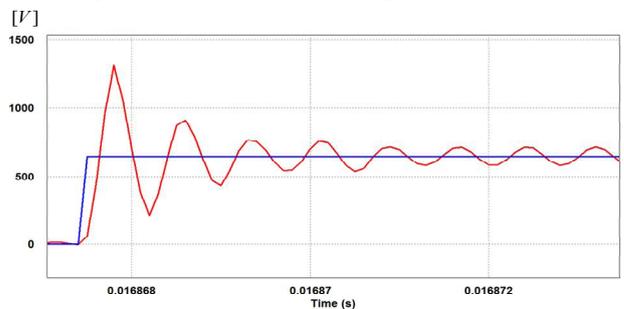


그림 3 전송선로 임피던스 출력
Fig. 3 Output of Transmission line impedance

선로가 길어지면서 모터입력전압이 불안정하게 흔들리는 현

상이 나타나며 이러한 전압 공진현상을 저감하기 위해 다음과 같이 필터 설계를 수행한다.

$$\sqrt{\frac{L_c}{C_c}} = R_f \geq \sqrt{\frac{4L_f}{C_f}} \quad (1)$$

$$60l_c \Gamma \sqrt{L_c C_c} = t_{rise\ critical} = \leq \sqrt{L_f C_f} \quad (2)$$

필터의 상수 값은 부유임피던스를 가지고 R_f 와 t_r 을 구하여 나오는 두 개의 식으로 연립방정식을 통해 L_f , C_f 값을 구할 수 있으며, 반사계수는 모터가 20마력 이하일 경우는 0.9를 사용한다. 이를 통해 적당한 마진을 주어 구해진 필터 상수 값은 $R_f = 190\Omega$, $C_f = 0.104\mu F$, $L_f = 0.95mH$ 이다.

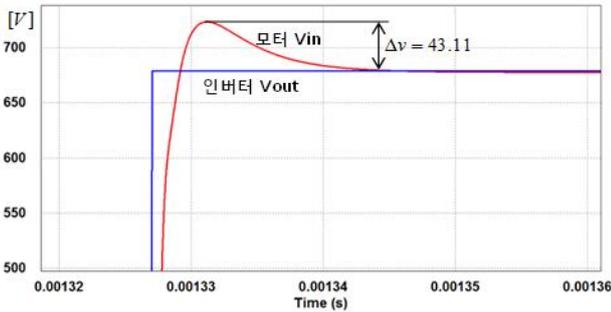


그림 4 분포정수회로 인버터출력전압과 모터입력전압 비교
Fig. 4 Comparison of inverter output voltage and motor input voltage for distributed constant circuit

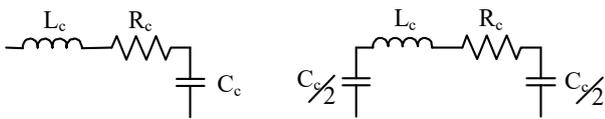
그림 4는 분포정수회로에서 필터를 추가한 인버터 출력전압과 모터입력전압을 비교한 파형으로 과전압이 721.11V까지 상승하였으나, 상승 값은 필터설계 당시 설정한 수용범위 안이므로 문제되지 않는다.

3. 집중정수회로 모델링

집중정수회로는 어떤 회로에 분산되어 존재하는 임피던스들을 모두 한 곳에 집중 할 수 있는 것처럼 회로를 등가적으로 나타내기 때문에 정밀도에서는 떨어질 수 있으나 해석이 복잡하지 않은 장점을 가지고 있다.

2절에서 나타난 분포정수회로의 전압상승률을 가지고 이 절에서는 T형, π형의 집중정수회로에서의 나타나는 파형의 전압상승률과 비교한다. 이러한 모델링을 통하여 그림 4에서 나타나는 진동현상은 T형, π형 형태의 집중정수회로에서도 확인하였다.

그림 6의 (a), (b)파형은 분포정수회로를 기준으로 T형은 약 3%의 오차율이, π형은 약 2.4%의 오차율이 발생한다.

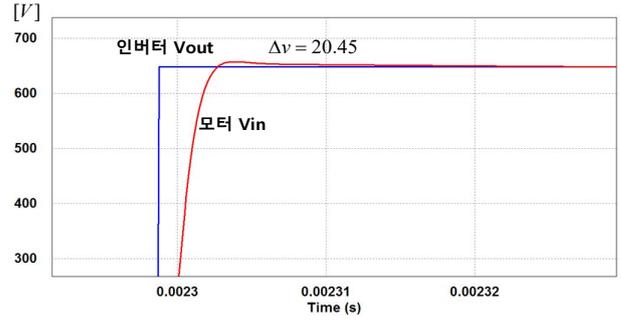


(a) T형

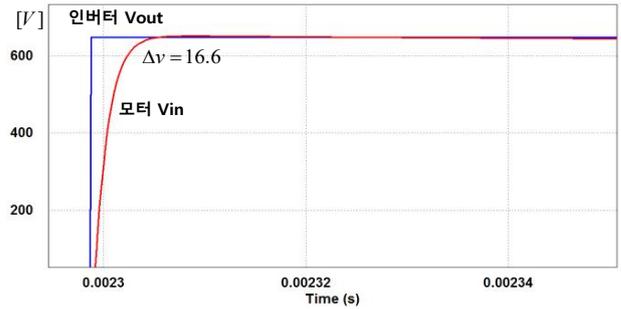
(b) π형

그림 5 집중정수회로 모델링

Fig. 5 Lumped constant circuit modeling



(a) T형



(b) π형

그림 6 집중정수회로 인버터출력전압과 모터입력전압 비교
Fig. 6 Comparison of inverter output voltage and motor input voltage for Lumped constant circuit

그 결과 T형과 π형 모두 집중정수회로로 대체 하였을 경우 비슷한 값을 얻을 수 있으나 π형이 조금 더 정확하게 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 결론

인버터와 모터사이의 긴 선로가 요구되는 장치에서 모터의 입력단의 높은 전압상승률을 억제하는 인버터 출력필터를 복잡한 분포정수회로일 경우를 기본으로 하여 좀 더 쉽게 계산을 할 수 있는 집중정수회로의 T형과 π형 두 가지를 모델링하여 출력 특성을 비교하였다. 그 결과 π형이 좀 더 분포정수회로의 전압상승률과 비슷하였다. 이로 인해 기본적인 필터의 설계와 시뮬레이션 시 복잡하고 오래 걸리는 분포정수회로보다는 간단한 집중정수회로 π형을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20104010100630 12 1 000)

참고 문헌

[1] A.K. Abdelsalam, M.I. Masoud, S.J. Finney, B.W. Williams "Vector control PWM VSI induction motor drive with a long motor feeder: performance analysis of line filter networks", *Journal, IET Power Electronics*, Vol, 5, NO. 5, pp. 443 456, 2010.