

기술표준원 고시 제2000 - 176호
(제정 2000 . 7 . 25)

전기용품안전기준

K60034-17

[IEC 1998-06]

회 전 기 기

제17부 : 컨버터구동 농형유도전동기 사용설명

목 차

1 적용범위.....	2
2 참고기준	2
3 전동기의 특성.....	2
4 전압과(또는)전류의 주파수 스펙트럼	3
5 추가 손실.....	4
6 변환기 동작시의 토크감소.....	5
7 진동 토크.....	5
8 자기적으로 발생하는 노이즈.....	6
9 절연 시스템의 운용 수명.....	6
10 축 전압.....	7
11 최대 안전 작동 속도.....	7
 그림 1 - I-converter공급기에 대한 델타 연결일때의 위상 전류 i_{phase} 의 파형	8
그림 2 - 펄스 주파수 $f_p=15 \times f_1$ (예)를 가진 U-converter 공급기에 대한 델타 연결일때의 위상 전압 u_{phase} 의 파형.....	8
그림 3 - 정격 토크와 속도를 가진 케이지 유도 전동기(프레임 크기 315M, design N)의 손실에서 변환기의 영향	9
그림 4 - 동작 주파수 f_1 의 함수로써의 기본 전압 U_1 (6항 참조)	10
그림 5 - 동작 주파수 f_1 의 함수로써의 I-converter일 때 design N, IC 0141 (자동 순환 냉각기)의 케이지 유도 전동기에 대한 토크 감쇄 계수	10
그림 6 - 상승 시간 t_a 의 함수로써 전동기 단자에서의 허용 충격 전압 U_{LL} 의 제한 곡선	11
그림 7 - 전동기 단자에서 전압의 상승 시간 t_a 에 대한 정의	11

주)--- : IEC 기준과 상이한 부분

* : 적용하지 않아도 되는 부분

※ : 추가된 부분

회 전 기 기

제 17부 : 컨버터구동 농형유도전동기 사용설명

1. 적용범위

이 기술 보고서는, K 60034-12의 범위내에서, 변환기로부터 공급될때의 농형 유도 전동기의 정상 상태에서의 동작에 대해 다룬다. 여기서는 전체적인 속도조정장치부분까지 다루지만, 발동이나 일시적인 현상에 대해서는 다루지 않는다.

오직 간접적인 변환기 종류에 대해서만 다루게 된다. 이같은 종류에는, 펄스의 수나 펄스의 너비 그리고 펄스주파수의 제한없이, 또 그것이 block 형태이거나 진동 조절형태이든 상관없이 중간 회로(I-converters)에서 직류를 가하는 변환기와 직류 전압을 가하는 변환기(U-converters)가 포함된다. 이 기술보고서의 목적에 의하면, 변환기에는 어떤 전기적 스위치 소자라도 범위에 포함된다. 예를 들어 디지털이나 아날로그로 조절될수 있는, 트랜지스터(bipolar or MOSfet). IGBTs, 트리스터, GTO-thyristors등이 있다.

2. 참고기준

다음과 같은 참고기준들은 이 기술보고서의 규정들을 제정하는 조항들을 포함한다. 출판과 동시에, 지정된 간행물들은 효력을 발휘했었다. 모든 참고기준들은 개정될 수 있으며, 이 기술적인 보고서에 따라 분리될수 있다. 또한 다음과 같은 최근 참고기준에 적용 가능성에 대해 조사할수 있도록 권장받는다. IEC와 ISO의 구성원들은 널리 유효한 국제 표준에 등록되어 있다.

IEC 60034-1:1996, Rotating electrical machines-Part 1:Rating and performance

IEC 60034-1:1991, Rotating electrical machines-Part 6:Methods of cooling(IC code)

IEC 60034-12:1980, Rotating electrical machines-Part 12:Starting performance of single-speed three-phase cage induction motors for voltages up to and including 690 V

Amendment 1(1992)

Amendment 2(1995)

IEC 60072, Dimensions and output series for rotating electrical machines

3. 전동기의 특성

I-converter의 출력 전류는 정류기간 동안에는 전동기의 고정자 권선을 통해서 흐른다. 그러므로 전동기의 등가회로에 대한 지식은 정류회로를 구성하는데 중요하다.

U-converter의 경우에는 전동기 등가회로에 대한 지식은 정류회로를 설계하는데 보통 중요하지 않지만, 전동기의 고조파 임피던스는 고조파로부터 발생하는 손실에 큰 영향을 미친다. 큰 영향을 미친다.

위의 상태들은 기본적인 구동 능력과 관련되어 있다. 만약 변환 동작동안에 일어나는 추가적인 토크(특히 진동토크)와 추가적인 손실등이 세부적으로 필요하다면, 그때는 고조파 스펙트럼을 포함하는 전동기의 등가회로의 매개 변수가 필요할 것이다.

N(예를 들어 구리를 심구형 회전자로, 알루미늄을 2중 회전자로 하는)을 설계하는 케이시 유도 전동기의 다양한 설계방식이 존재하고, 가장 중요한 고조파(대역 주파수대가 0에서 30KHz)의 주파수 범위가 넓기 때문에 일반적으로 적당한 전동기 등가회로가 명확히 상술될 수 없다. 일반적으로, 고조파에 의한 토크나 손실을 계산하기 위해 시스템 주파수(일반 구동 중에 나오는 누수 유도계수)에 대한 정상 상태에서의 등가회로로부터 나오는 정량값들을 이용하는것은 좋은 방법이 아니다. 전동기 제조자는 오직 확인된 변환기에 의해 생성되는 전류와, 또는, 전압의 주파수 스펙트럼에 대한 등가회로의 고유값들을 설정해야할 것이다.

4. 전압과(또는) 전류의 주파수 스펙트럼

고조파에 의해 야기되는 토크 감쇄와 진동 토크의 관점에서 볼 때, 사인파 공급 전압 상태에서 동작하는 동안의 전압 혹은 전류와 비교했을 때의 상대적인 전동기 고조파 크기에 의한 전압 혹은 전류에 대해 아는 것은 중요하다.

그림 1은 I-converter구동의 경우에 대한 전동기의 위상 전류의 전형적인 웨이브 형태를 보여준다. 생성되는 고조파는 $n=5;7;11;13...$ 일때이다. 상대적인 고조파 크기는 주로 서로 다르게 발생하는 정류시간 사이의 간격에 의해 좌우된다.

그림 2는 고조파의 차수가 $n=5;7;11;13...$ 일 때, 위상 전압에 대한 웨이브 형태이다.

U-converter 경우 다양한 펄스 형식이 사용중이다(주파수 셋팅 범위내에서 변할 것이다.)

그러므로 고조파의 영향에 대한 포괄적인 보고서는 만들기 불가능하다. 컨버터 출력전압의 고조파 성분에 대해 명확하게 규명하고 그 결과에 따라 전동기를 다루어야 한다

많은 경우에서도 적용되었던 것처럼, 비동기 펄스 형식은 이중의 주파수 진동을 만들어 낸다.

$$f=n \times f_p \pm \Delta n \times f_i$$

$n=0,1,2,3...$ 그리고 $\Delta n=1,2,3...$ 은 각각 펄스 주파수 f_p 와 기본 주파수 f_i 의 증배계수이다. 또한 정확한 진동 주파수가 사용되지 않는 분야에 대한 관리체제도 있다.

펄스 조절 변환기에서, 저주파수에서 고조파의 크기는 낮게 유지할수 있다. 반면에, 지배 고

조파(펄스 주파수 근처에 있는)는 상대적으로 전동기의 권선 유도 계수에 의해 많은 영향을 받지 않는, 큰 주파수값에서 발생한다.

K 60034-1의 6.2.1에서, 케이지 유도 전동기의 간섭 면적은 고조파 전압계수라고 불리는 하나의 숫자값으로 표현된다.

이 식에서 고조파는, 주로 권선의 온도상승에 의거해서 측정된다. 불행하게도, 이 계수는 변환 공급기와 관련하여 어떤 장점도 주지 않는다.

K 60034-1의 범위내의 전동기들은, 각각의 감소 계수가 전동기 제조업자에 의해 결정되어야 하는 것들과는 다르다.

5. 추가 손실

변환기로부터 공급되는 농형 유도 전동기의 전압과 전류의 고조파는 정류자와 고정자에서 추가적인 철과 권선의 손실을 가져온다. 추가적인 철 손실은 위상 전압 고조파의 크기와, 특히 주파수에 의존한다. 이같은 손실은 U-converter로부터 공급되는 motor의 경우에 아마 중요할 것이다. 그러나 그것이 I-converter로 공급될때에는 거의 무시할 만 하다.

변환 손실이라 불리는, 또 다른 철 손실은 I-converter에 의해 동작될 때 존재하게 된다. 정류기간동안의 누설전류의 빠른 변화는 고정자와 회전자의 치에서 맹돌이 전류를 발생시킨다. 정류 전류가 전동기의 권선을 통해 흐르지 않기 때문에 U-converter에 의해 작동되는 경우에는 정류 손실이 존재하지 않게 된다.

고조파에 의해 발생하는 가장 중요한 추가 손실은 고정자와 회전자 권선에서 생기는 손실이다. 두 개의 변환기 중에서 후자의 경우는 회전자의 설계에 의존한다. (슬롯의 형상에 따라) 전류의 변위에 의해 영향받는 회전자의 경우, 이같은 손실들에 대해 특히 민감하다. U-converter의 경우, 누설 감응저항이 손실에 영향을 주는 고조파 전류를 제한시키기 때문에, 전류의 변위뿐만아니라 누설 리액터스가 설계시 가장 중요한 작용을 한다. 추가적인 회전자 손실은 U-converter에 의해 공급될때에는 부하에 의존하지 않는다. 반대로 I-converter의 경우에는 그것이 부하 의존적이 된다.

추가적 손실은 간단한 방법으로 산출할 수 없고 또한 그들의 값에 대해서 일반적으로 명시할 수 없다. 서로 다른 물리적 양에 대한 그들의 의존성은 매우 복잡하다. 또한 대단히 다양한 변환기들과(예를 들어 서로 다른 펄스 주파수와 펄스 형식을 가진 I and U converter) 전동기(예를 들어 권선, 스크류, 슬롯 구조의 종류)가 있기 때문이다.

예로써 그림 3의 3번째 세로줄은, 서로 다른 고조파를 가진, 서로 다른 변환기와 사인파 발생기에 의해 공급됐을 때 특정한 전동기의 손실 구성을 계산한 것이다.(프레임 크기 315M, K 60072: design N과 K 60034-12 참조) 그 실예들은 오늘날 가장 널리 쓰이고 있는 변환기에 대한 서로 다른 손실들의 상대적인 중요성을 설명해 준다. 이같은 비교는(다른 종류의 변조 구조와 펄스 주파수를 가진) 다른 컨버터 구동 농형 유도 전동기와 다른 종류의 변환기에 적용될 수 없다.

그림 3의 비교를 용이하게 하기 위해서, 변환기 동작시의 기본적인 전압과 전류가 측정된 조건과 같다고 가정되어 진다.

6. 변환기 동작시의 토크 감소

전동기에 지정된 주파수로 변환기로부터 전원이 공급될 때, 유효한 토크는 보통 사인과 전압에서 측정된 토크보다 작은 값을 가진다. 이같은 감소는 추가적 손실에 의한 온도상승과, 전동기의 정격 주파수일때의 변환기 출력 전압과 전동기의 정격 전압의 비율에 좌우된다.

그림 4의 전체 곡선은, 사인과 공급기와 같은 종류의 기본적인 전동기 플럭스를 생산하는 변환기에 대한 것이다.

전동기 제조자는 만약 변환기의 고조파 스펙트럼을 알고 있다면 이 동작점에 대한 온도상승을 결정할수 있다. 온도 상승은 각각의 전동기 구성과 냉각기의 종류에 의해 결정된다.(IC 01 or IC 0141) 감소 계수가 결정되면, 특별한 전동기의 열 제한 조건은 중요하게 된다. 이같은 모든 영향들을 고려해 볼 때, 정격 주파수에서의 감소 계수는 0.8에서 1.0정도이다.

사실상 종종, 변환기 비율이 정격 주파수에서 기본적인 플럭스가 사인과 전압과 같다는 것을 내포하지 않는다. 그 이유는 각각의 매개 변수에 의존하는 추가 감소 토크치 때문이다.

동기 속도 감소로부터의 속도 셋팅 범위 내에서 $U_i/f_i = \text{일정}$ 이라는 법칙을 적용하면, 만약 고정자 권선 저항이 전동기 감응 저항에 비해 무시할만하면, 일정한 전체 출력 토크값이 산출된다. 전동기 고정자 저항의 영향을 보상하기 위해서, 몇몇의 변환기들은 그림 4와 같은 곡선과 일치하는 특성을 가지도록 설계된다. 이같은 보상이 없을 때 저속도에서 더 큰 토크가 발생된다.

그림 4에서 전압과 주파수 동작점이 1.0 pu이상일 때, 변환기 출력 전압은 주파수가 증가할 때 일반적으로 일정하다.(저전압장범위에서) 주파수 동작범위내에서 이같은 상황이 일어나면 감소 계수는 그림 5에서 $f_i/f_n=1.0$ 이상일때의 특성과 유사하게, 토크 용량이 빠른 속도로 감소하며 변할 것이다.

그림 5는 I-converter에 의해 공급되는 전형적인 전동기에 대한 감소 곡선의 예를 보여준다. U-converter 구동 곡선은 비슷한 모양을 가진다. 만일 고조파 스펙트럼과 변환기의 전압 주파수 상태식을 알고 있다면, 전동기 제조업자에 의해 이같은 곡선은 결정될 수 있다. 다른 냉각기(IC 01 or IC 411)와 환풍 방법(자동 순환 냉각이나 독립냉각) 때문에, 모든 경우에 적용되는 곡선을 만들기 불가능하다. 그러나 일반적으로 펄스제어형 컨버터에 의해 공급되는 전동기는(KHz 범위의 펄스 주파수), block 변환기로부터 공급되는 전동기보다 더 작은 토크 감소를 필요로 한다. 감소율은 일반적으로 펄스 주파수가 증가할 때 감소된다.

7. 진동 토크

고조파에 의해 발생하는 비동기(시간 일정)토크는 구동 동작에 적은 영향을 끼친다. 그러나 이것은 기계적 시스템에서 비틀림 진동을 발생시키는 진동 토크에는 적용되지 않는다.

여섯 개의 펄스 회로를 가진 I-converter에 의해 공급되는 삼상 유도 전동기의 경우, 기본 주파수(f_i)의 6에서 12배가 되는 크기를 가진 진동 토크는 사실상 중요하다.:그들의 크기는 약 15%(주파수 $6 \times f_i$)정도와 5%(주파수 $12 \times f_i$)정도이다. 정격 주파수의, 특히 미비하게 감쇄된 전송요소들의 기력에 대해서 신중하게 결정적인 비틀림 속도를 계산하는 것이 바람직하다.

펄스제어형 컨버터의 구동에서, 지배 진동토크의 크기가 펄스의 너비에 의존하는 반면에 지배 진동토크의 주파수는 펄스 주파수에 의해 결정된다. 그러므로, 만일 펄스 주파수가 오늘날 변환기에 일반적으로 사용되는 기본 주파수의 10배 이상을 초과하게 되면, 진동 토크의 크기는 아마 15%정도 커지게 될 것이다. 높은 펄스 주파수($21 \times f_i$ 정도)에서, 만일 적당한 펄스 형식이 적용 된다면 $6 \times f_i$ 과 $12 \times f_i$ 의 진동 토크 주파수는 사실상 무시할만 하다.(예를 들어 사인과 reference wave의 변조나 공간 위상 변조) 부가적으로 펄스 주파수의 두배의 진동 토크가 발생된다. 그러나 이것들은 진동토크의 주파수가 결정적 기기 주파수보다 훨씬 위에 있기 때문에 구동 시스템에서 영향을 주지 못한다.

8. 자기적으로 발생하는 노이즈.

사인과 공급에 의한 동작에서 보다 자기노이즈의 여기메커니즘은 고조파 때문에 더욱 복잡해진다. 현재 케이지 유도 전동기의 변환기 작동에서 발생하는 자기 노이즈에 대한 믿을만한 선행계산은 불가능하다. 특히, 속도 범위내에서 한점에서 공명이 일어날 수도 있다.

중첩된 노이즈 위상은 정격주파수의 싸인과 전압에서 작동과 비교하여 정격주파수까지 I-converter가 작동될 동안 발생하는 1dB에서 6dB의 범위안에서 그리고 U-converter를 작동하는 동안 5dB에서 15dB까지의 범위에서 증가한다.

9. 절연 시스템의 운용 수명.

전동기의 절연시스템은 사인과 전압 전류 공급의 경우보다 더 높은 절연성 압력에 의해 좌우된다. I-변환기의 경우, 모터 전압의 최고치는 중앙과 틸새 절연에 압력을 주는 정류 간격에서 발생한다. 틸새 절연에 압력을 주는 전압변화도는, 특히 선코일의 전압변화도는, U-변환기 공급의 경우 더 중요성을 띤다.

권선 절연에서의 내전압은 전압최대치와 변환기 펄스의 상승시간, 변류기와 모터사이 연결 단자의 길이와 특성, 권선구성과 다른 시스템 변수에 의해 결정된다. 특히, 권선과 접지 사이의 전압차는 평가의 주요한 토대가 된다.

연구실과 실제 응용에서의 더 심도있는 조사결과, 현재의 통상관례에 맞게 제작된 권선 절연 시스템을 갖춘 모터의 경우 수명의 심각한 저하없이 그림 6과 같은 과동전압을 입력선에서 쓸 수 있다.

상승시간이라는 용어는 굴곡 사이의 일시적 현상을 참작한 다음의 정의에 기반한다.(그림 7 참조)

전압 범위 ΔU 는 전압 펄스의 바로 직전과 직후의 순간적 수치의 차이이다. 이 펄스는 전압이 그 첫 번째 최대치에 이르는 순간 끝난다. 상승시간 t_a 는 전체 전압 범위 ΔU 의 10%에서 90%로 전압값이 변경되는 동안의 간격이라 정의되어있다.

복잡한 상호관계의 관점에서 볼 때, 전체 구동의 신중한 설계가 요구된다. 때로는 변환기 출력쪽에 필터의 사용이 필요하다.

10. 축 전압

변환기 동작동안 부가적인 축전압이 대칭적 위상량에 전압, 전류의 최대치에 의해 발생한다. 최대치가 대략 500mV를 넘는 축전압은 대개 얼혀진 구형이나 원형막대기(롤러) 형태의 베어링 절연이 필요하다는 것이 밝혀졌다. 그러나, 어떤 변환기에서는 낮은 값의 축전압에 의해 축전압이 증폭되고 이것이 축전압 손실의 원인이 되는 경우도 있어 주의해야한다. K 60034-12 범위내의 모터들은 거의 대부분 베어링 절연과 맞지 않으므로, 변환기가 작동할 때 축전압을 측정하는 것이 권장된다.

11. 최대 안전 작동 속도.

만약 전동기를 평가된 속도보다 더 빠른 속도에서 작동시키려 한다면, K 60034-1의 8.5로부터 최대안전속도를 얻을수 있다. 모터 설계에 따라 높은 속도의 작동이 허용되지만 이 가능성은 제작자에 의해 입증되어야 한다.

평가된 속도보다 더 작동속도가 빠를 경우, 잡음과 진동의 수준이 높아진다. 또한, 평가속도를 넘어서는 것이 수용가능한지에 대한 균형점을 상세히 논할 필요가 있을 수 있다.

제한속도 가까이 동작시키는 시간이 너무 지속되면 베어링의 수명을 단축시키는 요인이 될 수도 있다. 더욱이 축 밀봉과/또는 재윤활 간격(혹은 평생 윤활베어링의 경우 윤활 수명)이 영향을 받을수 있다.

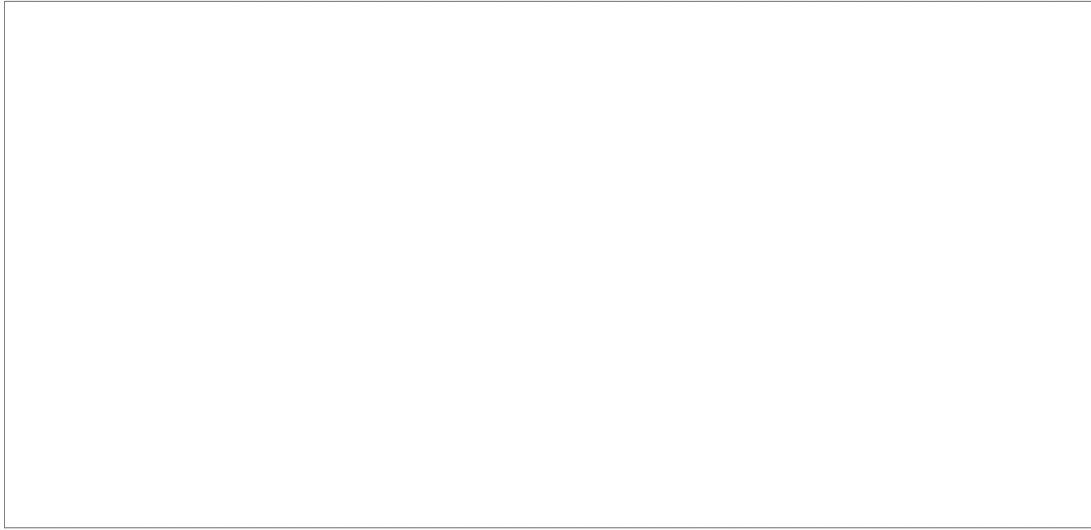


그림 1 - I-converter공급기에 대한 델타 연결일때의 위상 전류 i_{phase} 의 파형

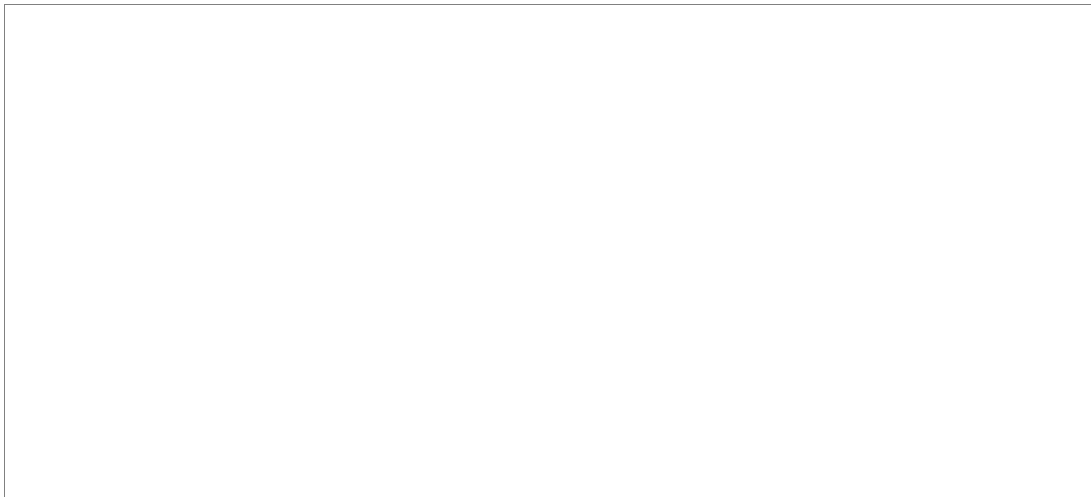


그림 2 - 펄스 주파수 $f_p=15 \times f_1$ (예)를 가진 U-converter 공급기에 대한 델타 연결일때의 위상 전압 u_{phase} 의 파형



고조파에 의한 손실	기본 주파수에 의한 손실
J-정류 손실	E-마찰 손실
I-추가 부하 손실	D-추가 부하 손실
H-철 손실	C-철 손실
G-회전자 권선 손실	B-회전자 권선 손실
F-고정자 권선 손실	A-고정자 권선 손실

그림 3 - 정격 토크와 속도를 가진 농형 유도 전동기(프레임 크기 315M, 설계 N)의 손실에서 변환기의 영향



그림 4 - 동작 주파수 f_1 의 함수로써의 기본 전압 U_1 (6항 참조)

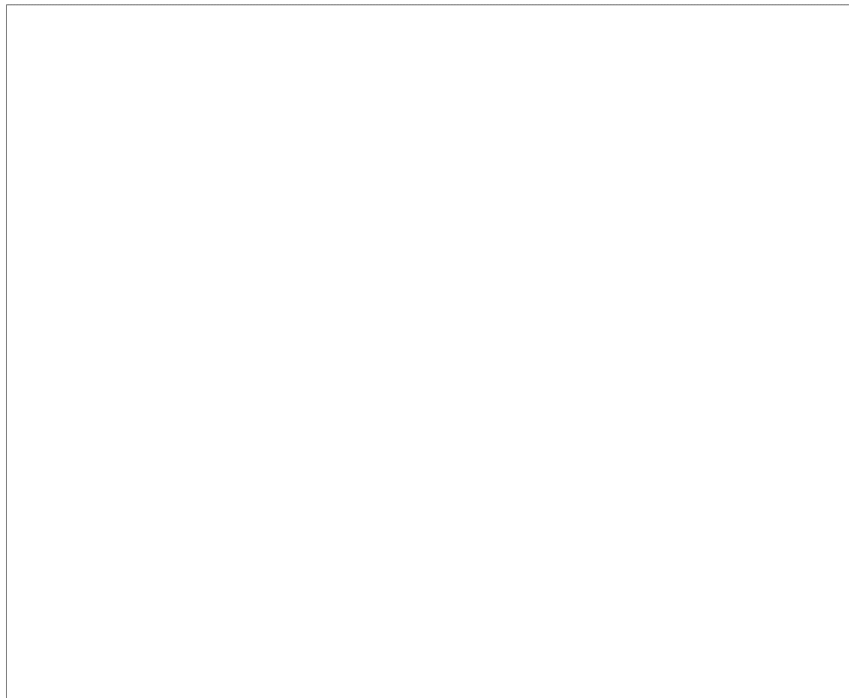


그림 5 - 동작 주파수 f_1 의 함수로써의 I-converter일 때 design N, IC 0141
(자동 순환 냉각기)의 농형 유도 전동기에 대한 토크 감쇄 계수

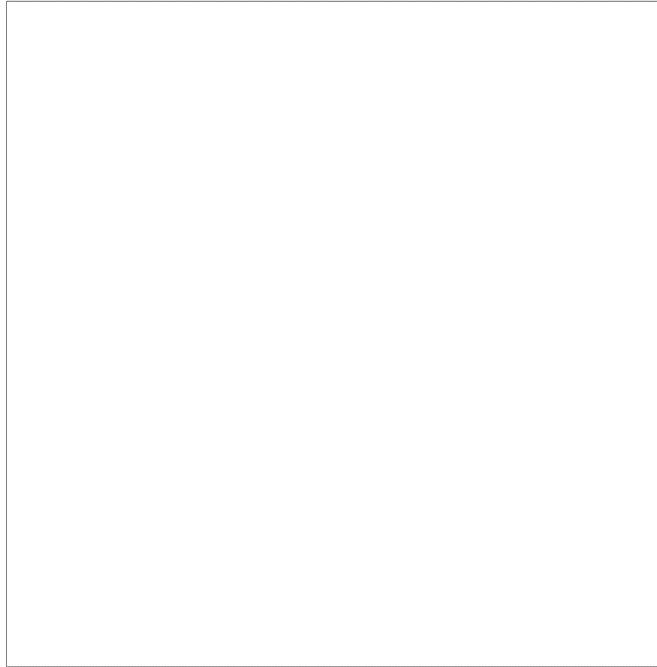


그림 6 - 상승 시간 t_a 의 함수로써 전동기 입력선에서의 허용 충격 전압 U_{LL} 의 제한 곡선



그림
7 -
전동
기
입력
선에
서
전압
의
상승
시간
 t_a 에
대한
정의