

PSCAD/EMTDC를 이용한 IEC 61000-4-15 플리커미터 Module 개발

장영수, 조수환, 장길수, 권세혁, 전영수*, 곽노홍*
고려대학교, 한국전력연구원*

Realization of the IEC 61000-4-15 Flickermeter using PSCAD/EMTDC Module

Youngsoo Jang, Soohwan Cho, Gilsoo Jang, Saehyuk Kwon, Youngsoo Jeon*, Nohong Kwak*
Korea Univ., KEPRI*

Abstract - Voltage Flicker는 다른 전력품질 요소들과는 달리, 전압의 흔들림이 사람의 눈과 뇌에 미치는 영향을 고려한 지수이다. IEC 61000-4-15에서는 이러한 플리커의 평가 알고리즘을 제시하고 있으며, 제한치를 $Pst \leq 1$, $Plt \leq 0.65$ 로 정의하고 있다. 이 제한치는 다양한 비선형 부하들의 경우에도 만족시켜야 하며, 계통의 설계 시 미리 고려를 할 필요성이 있다. 본 논문에서는 Fortran을 이용하여 IEC61000-4-15의 플리커미터 알고리즘을 구현하고 이를 PSCAD/EMTDC의 Module로 적용시켜, 시험계통이 플리커 제한치를 만족시키는가에 대한 테스트가 가능하도록 하였다.

1. 서 론

아크로, 용접기, 산업용 유도전동기, 대형모터의 기동 등의 비선형 부하의 사용 증가로 인하여 전류량이 급격히 변하는 경우, 이로 인해 발생하는 인근 부하의 전압 변동이 전력품질 저하의 원인으로 작용한다. 대부분의 가전제품이나 전기 장비에는 적절한 전압 필터가 장착되어 있어, 미세한 전압 변화에 크게 영향을 받지 않는다. 하지만 전동 부하의 경우 입력 전압의 변화가 곧바로 전등의 깜박임으로 이어지게 되므로 일반 사용자에게는 전력품질 문제로 인식되게 된다. 또한 전압 변동으로 인한 전등의 깜박임이 주기적으로 발생될 경우, 간질 발작을 일으킬 수 있다는 것이 의학적인 실험을 통해 밝혀졌다.

이러한 주기적인 전압의 흔들림이 사람의 눈에 미치는 현상을 플리커라고 하며, 1986년도에 최초로 제정된 IEC 868 Standard에서 230V-60W 백열전등에 대한 아날로그 플리커 측정 방법이 소개되었고, 이후에 미국의 120V-60W 백열등에 대한 기준이 추가되어 IEC 61000-4-15가 발간되었다. 처음으로 플리커미터의 알고리즘이 제안되었던 IEC 868에서는 아날로그 방식을 이용한 측

정 방법이 소개되었으나, 많은 전자 장비들이 디지털화 되고 디지털 방식의 장점이 부각되면서 디지털 방식을 이용한 플리커 측정 기법이 개발되었다.

이전 연구에서는 MATLAB을 이용한 IEC 61000-4-15 디지털 플리커미터를 구현하였으나, 시간의 개념을 고려하지 않고 전체 데이터를 필터링 하여 Pst를 계산하였다. 본 연구에서는 플리커미터의 알고리즘을 실제 장비에 적용할 수 있도록 시간 개념을 고려하고, MATLAB에서만 사용되는 함수를 Fortran을 이용하여 일반 수식으로 변환하는 작업을 진행하였다. 또한 PSCAD/EMTDC의 사용자 정의 모델을 이용하여 플리커를 측정할 수 있는 Module을 개발하고, 시험계통에서 플리커를 테스트 할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 IEC 61000-4-15 플리커미터

IEC 61000-4-15에서 제안하는 플리커미터는 아날로그 신호에 기초한 것으로 크게 입력 전압의 변동에 대한 램프-눈-두뇌의 연쇄반응 관계를 규정하는 블록과 수치적인 플리커 계수(Pst, Plt)를 계산하는 통계적 분석 블록으로 구성되어 있다. [그림 1]은 IEC 아날로그 플리커미터의 대략적인 동작 원리를 설명하고 있다.

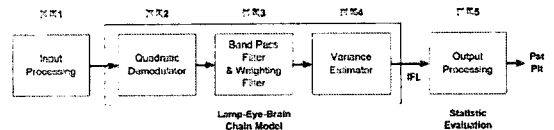


그림 1. IEC 플리커미터의 기본 구조

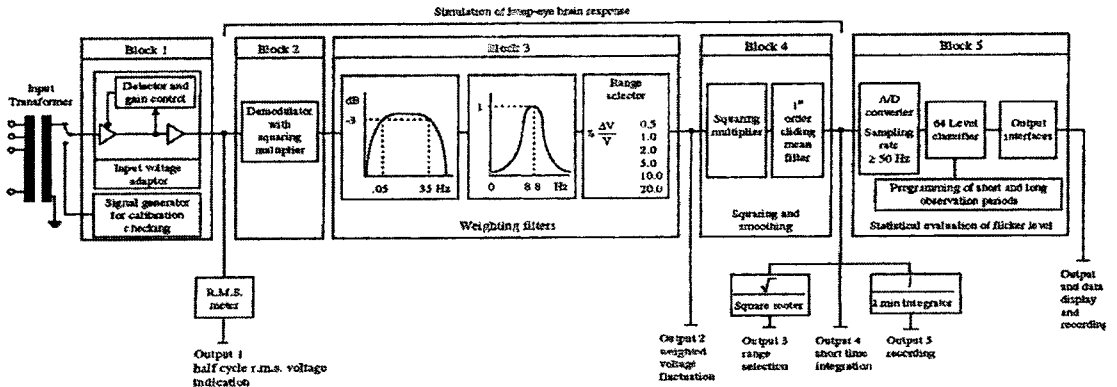


그림 2. IEC 61000-4-15 플리커미터의 블록 다이어그램

블록1을 통해 높은 입력 전압을 계측기의 입력 가능한 전압범위(Electrical Level Signal)로 낮춘다. 또한 플리커 미터의 정상적인 동작 테스트를 위한 신호를 만들어주는 역할을 한다.

블록 2에서는 입력신호를 제공하여 DC성분을 제거하고, 60Hz신호의 주파수를 두 배로 늘린다. 그리고 블록 1을 통과한 신호에서 계산된 반주기 실효값과 순시값의 비를 구하여 입력전압에 무관한 전압변동 값을 계산한다. 즉, 메인 주파수 대역의 전압 성분과는 무관한 실질적인 플리커 성분을 구할 수 있다.

블록3은 플리커미터의 구현에서 가장 핵심적인 2개의 필터로 구성되어 있다. 첫 번째 필터는 플리커로 인식될 수 있는 주파수인 0.05Hz~35Hz 이외의 성분을 제거하기 위하여, 0.05Hz의 차단주파수를 갖는 1차 Butterworth 고대역 통과필터와 35Hz의 차단주파수를 갖는 6차 Butterworth 저대역 통과필터가 사용된다. 두 번째 필터는 가중치 함수로 전달함수는 다음과 같다.

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_2^2} \times \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)}$$

표 1. 시스템에 따른 가중치필터의 변수

변수	230V Lamp 50Hz System	120V Lamp 60Hz System
k	1.74802	1.6357
λ	$2\pi \times 4.05981$	$2\pi \times 4.167375$
ω_1	$2\pi \times 9.15494$	$2\pi \times 9.077169$
ω_2	$2\pi \times 2.27979$	$2\pi \times 2.939902$
ω_3	$2\pi \times 1.22535$	$2\pi \times 1.394468$
ω_4	$2\pi \times 21.9$	$2\pi \times 17.31512$

이 전달함수는 플리커의 인식곡선의 역수에 해당하는 값으로, 플리커 성분이 주파수에 상관없이 인식곡선을 넘었을 경우 같은 값(Pst=1)을 나타낼 수 있도록 보정해주는 역할을 한다.

블록4는 두뇌의 기억 효과를 모의하기 위한 1차 저대역 통과필터(차단주파수:0.53Hz, $\tau=0.3s$)와 제공기로 구성된다. 블록3의 가중치 필터와 블록 4를 구성하는 2개의 필터는 Van Doorn Model이라고 하며, 이를 통해 전압의 변동 현상을 그에 해당하는 시간적인 변화로 표현할 수 있다. 블록4까지의 결과를 순간 플리커 레벨(Instantaneous Flicker Level : IFL)이라 한다.

마지막으로 블록5를 통해 IFL값을 플리커의 정도를 평가할 수 있는 수치적인 지수(Pst, PIt)로 변환한다. Pst와 PIt를 계산하는 식은 각각 다음과 같다.

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1r} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{30s}}$$

$$P_{30s} = (P_{30} + P_{30} + P_{30})/3$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5$$

$$P_{3s} = (P_{2.2} + P_3 + P_4)/3$$

$$P_{1r} = (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5})/3 \quad (s: \text{smoothing})$$

$$P_{It} = \sqrt{3} \text{of} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{st}^2 \quad (N: \text{총 } Pst \text{의 개수})$$

Pst는 누적확률 함수(CPF: Cumulative Probability Function)를 이용하여 계산되어진다. 즉, P_1 의 경우 전체 시간에서 1%의 시간동안만 발생하는 값을 의미하며, 10분 동안의 데이터를 정렬하였을 경우 상위 1%에 해당하는 값과 같다.

2.2 PSCAD/EMTDC를 이용한 디지털 플리커미터

디지털 플리커미터의 가장 큰 특징은 이산신호(Discrete Signal)를 입력으로 받는다는 것이며, 이로 인해 샘플링비와 디지털 필터가 추가로 고려되어야 한다.

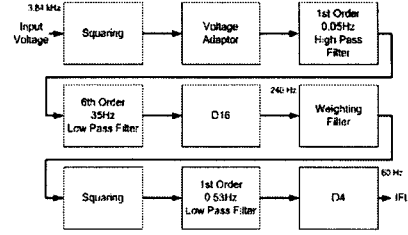


그림 3. 디지털 플리커미터의

블록 다이어그램

샘플링 비를 살펴보면, 입력 전압은 [그림 3]과 같이 3.84kHz(64samples/cycle)의 샘플링비로 D/A 컨버전되어 플리커미터의 입력값으로 사용된다. 일반적인 측정 장비들이 128samples/cycle의 샘플링비를 가지고 있으므로 좀 더 높은 정밀도를 갖는 입력을 사용할 수도 있으나, 플리커의 특성상 짧은 시간동안의 전압변동에 의한 영향을 측정하는 것은 아니기 때문에 64samples/cycle의 정밀도를 가지고도 충분히 정확한 측정이 가능하다. 3.84kHz의 신호는 [그림 3]의 5번째와 9번째의 블록에 의해 다운샘플링 되어, 데이터의 저장량과 계산량을 줄이면서 같은 결과를 얻을 수 있도록 한다. Pst계산을 위해 저장되는 10분의 데이터는 약 230만개에서 3만6천개로 줄어들게 되어, 보다 빠른 계산을 할 수 있다.

다음으로, 디지털 필터링이란 아날로그 도메인에서 S-함수로 주어지는 Butterworth필터나 Weighting필터를 샘플링비를 포함하는 Z-함수로 변환하여 입력 신호를 통과시키는 것을 의미한다[3]. Z-변환을 하는 방법으로는 Bilinear Transform과 Impulse-Invariant Transform, Covariance-Invariant Transform등이 있다. Z-함수의 일반식은 다음과 같다.

$$F(s) \Leftrightarrow H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{k-1} z^{-(k-1)} + b_k z^{-k}}{a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{k-1} z^{-(k-1)} + a_k z^{-k}}$$

여기서 z^{-1} 은 한 샘플링의 딜레이를 의미하며, 블록3의 6차 Butterworth필터의 경우 z^{-6} 까지 존재하므로 입력 신호가 들어오기 이전의 6개의 신호를 가지고 현재의 값을 계산하게 된다. 즉, 각 필터마다 차수만큼의 임시 저장공간을 할당하여 필터를 통과한 후의 값을 저장하고, 다음 계산시에 이를 이용하여 다시 현재의 값을 계산하게 된다.

기존의 MATLAB을 이용한 디지털 플리커미터는 MATLAB의 내부함수를 이용하여 디지털 필터링을 처리하므로 매우 편리한 모의를 할 수 있었으나, 실제 장비에 MATLAB함수를 적용할 수 없으므로 일반적인 수식으로의 변환이 필요하다. 본 연구에서는 Bilinear Transform을 이용하여 각각의 필터를 Z-함수로 변환하였다. 또한 PSCAD/EMTDC에서 이전시간의 값을 저장하거나 불러와서 원하는 시간에 이용하기 위하여, 사용자 정의 모델의 STORx매일과 포인터 NSTORx를 이용하였다. 이를 이용하여 블록2-4의 대역통과필터와 Weighting필터를 구현할 수 있다.

블록5의 통계적인 계산은 10분 동안의 입력값을 정렬한 값을 가지고 계산이 된다. PSCAD/EMTDC를 이용한 모의는 실시간으로 들어오는 입력값들을 미리 예측할 수 없기 때문에 실시간으로 정렬을 할 수 없다. 따라서 10분 동안의 IFL값을 저장한 이후에 이를 정렬하여 Pst와

Pst를 계산하게 된다. 본 연구에서는 1분마다 Pst를 출력하도록 하였으며, 이를 위하여 처음의 10분 이후에는 1분 단위로 계산된 IFL값을 앞 시간의 9분 동안의 IFL과 함께 10분간의 데이터를 만들어 다시 Pst를 계산하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

IEC 61000-4-15에서는 플리커미터의 알고리즘의 Calibration을 위한 신호를 제공하며, 시험 입력값에 대해 Pst의 값이 1.00 ± 0.05 (1.05-0.95)의 범위 안에 들어올 것을 권고하고 있다. [표 2]는 플리커미터의 시험 입력값을 나타낸 표이며, [표 3]은 시험 입력에 대한 기존 상용 장비에 의한 테스트와, MATLAB과 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의한 결과이다. 상용장비의 측정 결과는 참고자료 [6]에서 인용하였다. PSCAD/EMTDC를 이용하여 실시간 입력에 의해 계산된 결과는 IEC 61000-4-15의 제한치를 충분히 만족시키고 있으며 (0.987-1.030), 기존의 장비들과 유사하거나 좀 더 나은 결과를 나타냈다.



그림 4. PSCAD/EMTDC 플리커미터 Module

표 2. IEC 61000-4-15의 테스트 신호

No.	Changes/Minute IEC 61000-4-1 5	Modulation frequency f_m [Hz]	$\Delta V/V$ [%] Pst=1 IEC 61000-4-1 5	Voltage changes ΔU_i [V]
1	1	0.0083	2.72	3.128
2	2	0.0167	2.21	2.542
3	7	0.0583	1.46	1.679
4	39	0.325	0.905	1.041
5	110	0.917	0.725	0.834
6	1620	13.5	0.402	0.462

표 3. IEC 61000-4-15의 테스트 결과

No.	ION 7600	Memobox 800b	Topas 1000	MATLAB	PSCAD/ EMTDC
1	1.03	1.03	1.01	0.985	1.007
2	1.03	1.04	1.02	0.996	1.020
3	1.05	1.03	1.03	1.007	1.030
4	0.98	0.98	0.99	1.014	1.030
5	1.02	1.02	1.02	1.005	1.017
6	1.03	1.05	1.03	0.983	0.987

[표 4]와 [표 5]는 플리커미터의 선형성에 대한 테스트로 입력되는 플리커 성분을 10배와 20배로 증가시켰을 경우의 결과이다.

표 4. 구형파 입력에 대한 선형성 테스트

$$f_m = 0.917 \text{ Hz}, \Delta V/V = 0.725\% (\times 1, \times 10, \times 20)$$

	ION 7600	Memobox 800b	Topas 1000	MATLAB	PSCAD/ EMTDC
$\times 1$	1.08	1.02	1.00	1.0144	1.017
$\times 10$	11.54	9.56	9.95	10.104	10.158
$\times 20$	21.73	16.31	19.83	20.005	20.243

표 5. 정현파 입력에 대한 선형성 테스트

$$f_m = 1 \text{ Hz}, \Delta U/U = 1.432\% (\times 1, \times 10, \times 20)$$

	ION 7600	Memobox 800b	Topas 1000	MATLAB	PSCAD/ EMTDC
$\times 1$	1.02	1.02	1.01	1.005	1.022
$\times 10$	10.47	9.18	9.85	10.035	10.191
$\times 20$	19.78	17.11	19.68	19.991	20.171

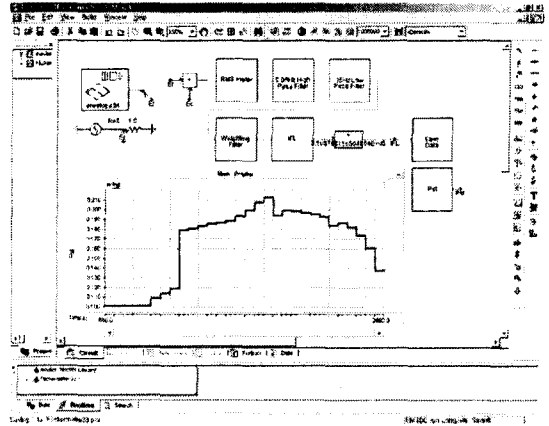


그림 5. PSCAD/EMTDC의 Pst출력

[그림 5]는 PSCAD/EMTDC를 이용한 모의 결과이다. 플리커 성분은 외부의 파일로 입력하였고, 이를 기본 60Hz의 주파수 성분과 결합시킨 입력에 대하여 1분단위로 Pst값이 출력된다.

3. 결 론

본 논문에서는 플리커미터의 알고리즘을 미리 만들어진 입력 데이터가 아닌, 실시간으로 들어오는 입력을 처리할 수 있도록 개발하여, 실제 장비에 적용할 수 있도록 연구를 진행하였으며, PSCAD/EMTDC를 이용하여 플리커를 측정할 수 있는 Module을 개발하였다. 이를 통하여 실시간 출력된 Pst값은 IEC의 규격을 충분히 만족시키고 있으며, 향후 어떠한 부하 모델이라도 플리커 Module을 이용하여 플리커 성분의 유무와, IEC의 제한치를 만족시키는가에 대한 테스트를 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 61000-4-15, "EMC, Part4 : Testing and Measurement techniques, Section 15 : Flickermeter - Functional and design specifications", 2003
- [2] 조수환, 장영수, 장길수, 전영수, 권노홍, 추진부, "PQMS를 통한 실시간 플리커 측정 방안에 관한 연구", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, p72-74, Nov. 2004
- [3] Alan V. Oppenheim, "Discrete-Time Signal Processing", 2nd Ed., 1999
- [4] J. Arrillaga, N. R. Watson, "Power System Quality Assessment", 2000
- [5] Thomas Keppler, Neville Watson, "Computation of the Short-Term Flicker Severity Index", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol, 15, No.4, Oct. 2000
- [6] Marcin Piekarz, Marcin Szlosek, "Comparative Tests of Flickermeters", International Conference on Harmonics and Quality of Power, Vol. 1, p220-227, Oct. 2002
- [7] J. Ruiz, A. Lazkano, E. Aramendi, L.A. Leturiondo, "Analysis of sensitivity to the main parameters involved in the digital implementation of the UIE flickermeter", 10th Mediterranean Electrotechnical Conference, Vol II, 2000