1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7.19-21

정확한 회로 역률 산출 방법에 대한 연구

윤지호, 박지훈, 함길호, 이성만
LG산전 전력시험 기술센터

The study of the exact determination of power factor

Ji-Ho Yun, Ji-Hun Park, Gil-Ho Ham, Sung-Man Lee
LGIS Power Testing & Technology Center

Abstract - 현재까지 회로 역률을 정확히 계산할 수 있는 방법은 없다. 그러나, 표준을 목적으로 규격마다 서로 다른 계산 방법을 명시하고 있다. 실제로 실험을 통해, 시험 조건이나 시험 결과에 따라 적합한 계산 방법을 적용함으로써 보다 정확한 역률을 계산할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 이러한 각종 역률 계산 방법들이 역률 크기나 전류 투입각에 대하여 얼마 만큼의 오차를 가지는지 알려져 있지 않기 때문에 적합한 방법을 결정하기란 쉬운 일이 아니다. 따라서, 본 논문에서는 각종 규격에 명시되어 있는 역률 계산 방법들을 구현하여 전류 투입각과 역률 크기에 대한 상대적 계산 오차를 구하고, 문제점과 보완법을 제시하며, 시험 조건에 따른 계산법을 제시하고 이를 실험을 통해서 입증하고자 한다.

1. 서 론

회로 역률은 인덕턴스와 저항이 직렬로 연결되어 있다고 가정했을 때, 상용 주파수에서 저항과 임피던스의 비율로 정의된다. 현재 역률을 정확히 계산할 수 있는 방법은 없다. 그러나, 표준을 목적으로 각 규격마다 조금씩 다른 계산방법을 제시하고 있으며, 시험조건에 따라 적절한 방법을 적용함으로써 보다 정확한 역률을 계산할 수 있다.

IEC에서는 계산하는 방법에 따라, 회로 정수법(calculation from circuit constants), 직류 감쇄법(determination from d.c. component), 위상 차이법(determination with pilot generator)으로, ANSI에서는, 전류와 차단시간, 역률 크기에 따라 비율법(ratio method), 직류 감쇄법(dc decrement method), 위상 차이법(phase relationship method)으로, NEMA AB1에서는, 전류 크기에 따라, 위상 차이법과 비율법으로 세분되어 있다.

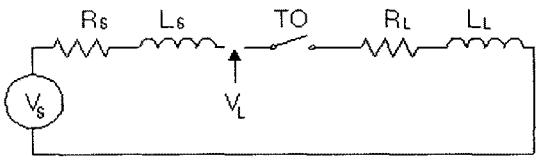
이처럼 각 규격마다 조금씩 다른 계산방법을 제시하고 있지만, 실제로는 역률이 낮은 경우와 역률이 높은 경우에 적용하는 방법의 차이라고 할 수 있다. 역률이 낮은 경우, 전류 파형만으로 계산할 수 있기 때문에 직류 감쇄법으로 구하고, 역률이 높은 경우, 즉 직류 감쇄법으로 계산할 수 없는 경우에는 전류 투입각에 따라 위상 차이법과 비율법으로 구한다. 그러나, 비율법과 위상 차이법은 전압 위상에 따라 전류를 투입해야 하므로, 정밀 투입 스위치가 없는 시험소에서는 이러한 방법을 적용할 수 없다. 실제로 국내외 대부분의 저압 시험소인 경우, 이러한 투입스위치가 설치되어 있지 않기 때문에 이러한 방법을 적용하기란 불가능하다. 따라서, 시험 조건과 측정 결과에 따라 적절한 방법을 적용해야 한다.

또한, 역률은 차단기가 설치되어 있는 위치에서의 전압과 전류 위상차로 정의된다. 사고 전류 차단시, 차단기는 접점간에 계통전압 수준의 절연을 빠르게 회복해야 한다. 이때, 접점간의 절연 수준은 역률에 좌우된다. 뿐만 아니라, 역률에 따라 차단기가 견뎌야 하는 최대 투입 전류도 다르게 된다. 이처럼 역률은 차단기의 성능에 밀접한 관계가 있으므로 정확한 역률 계산 방법을 선택할 수 있어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 각종 규격에 명시되어 있는 역률 계산 방법들을 구현하여 전류 투입각과 역률 크기에 대한 상대적 계산 오차를 구하고, 문제점과 보완법을 제시하며, 시험 조건에 따른 계산법을 제시하고 이를 실험을 통해서 입증하고자 한다.

2. 역률 계산 방법

각 규격에서 명시되어 있는 대표적인 역률 계산법에는 직류 감쇄법과 위상 차이법, 비율법을 적용하기 위한 조건과 조건에 따른 오차 정도를 계산한다. 적용할 기본 단락 회로와 관련 식은 다음과 같다.[1]



R_S:역률 조정용 저항, L_S:전류 조정용 리액터
R_L:라인 저항, L_L:라인 리액터

〈그림 1〉 기본 단락 파형

$$V_S = V_M \sin(\omega t + \phi) \quad (1)$$

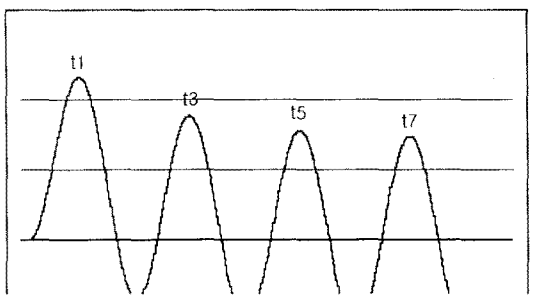
$$I = I_M(\sin(\omega t + \phi - \theta) - \sin(\phi - \theta)\exp(-\frac{t}{\tau})) \quad (2)$$

$$V_L = I_M[ReSin(\omega t + \phi - \theta + \delta) + ImSin(\phi - \theta)\exp(-at)] \quad (3)$$

$$I_M = \frac{V_M}{\sqrt{R^2 + X^2}}, X = X_S + X_L, a = \frac{R}{L}, \phi = atan\frac{X}{R}$$

$$Re = \sqrt{R_S^2 + X_L^2}, Im = aL_L - R_L, \delta = atan(X_L/R_L)$$

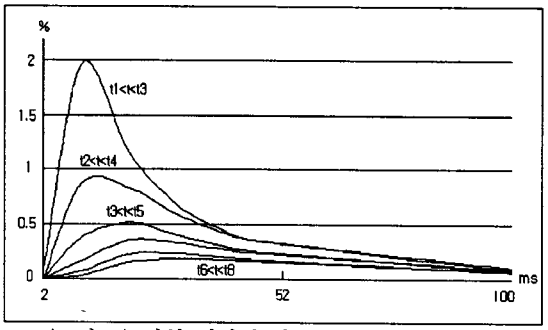
최대 직류 성분이 실리도록 $\phi = 0$도로 한다.



〈그림 2〉 실효값 계산용 기본 파형

2.1 실효값 계산[1]

역률을 계산하기 위해서는 먼저 실효값을 정확히 계산해야 한다. STL에 따라, 실효값은 3개의 극점을 이용(3 crests method)해서 구한다. 〈그림 3〉에서 알 수 있듯이 실효값은 전류 파형상에서 어느 위치에서 구하느냐에 따라 정확도가 달라지므로 오차를 줄이기 위해서는 직류성분이 실리지 않은 위치에서 구해야 한다. 따라서, 오차를 줄이기 위해, 적어도 전류 통전 시점부터 2 사이클 이후에서 실효값을 구한다.



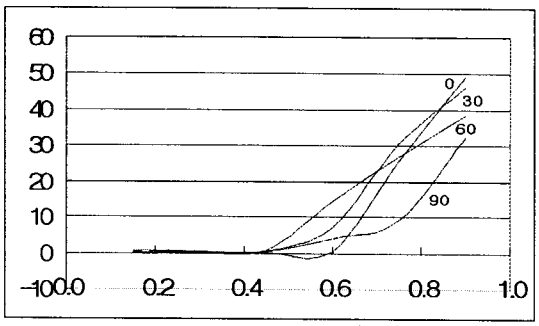
〈그림 3〉 파형 위치에 따른 실효값 오차 계산

2.2 직류 감쇄법

역률이 낮은 경우, 전류 파형만으로 역률을 계산하는 방법으로 가장 많이 사용하는 방법이다. 〈그림 4〉 - 〈그림 7〉의 X축은 역률을, Y축은 오차 백분율을, 그림상의 숫자는 전류 투입각을 나타낸다.

2.2.1 STL 제안법[2]

단락 시험인 경우, 먼저 실효값을 구하고 같은 부호를 가진 3점 이상의 극값을 이용해서 역률을 계산한다. 역률 크기와 전류 투입각에 따른 오차 곡선은 〈그림 4〉와 같다.

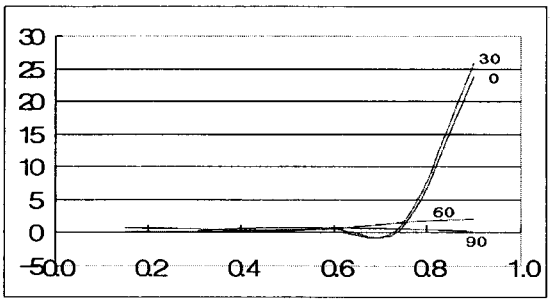


〈그림 4〉 STL에서 제안한 직류 감쇄법

〈그림 4〉에서 전류 투입각이 90도인 경우, 역률 0.4 이상은 정확히 계산할 수 없음을 알 수 있다.

2.2.2 LGIS 제안법[3]

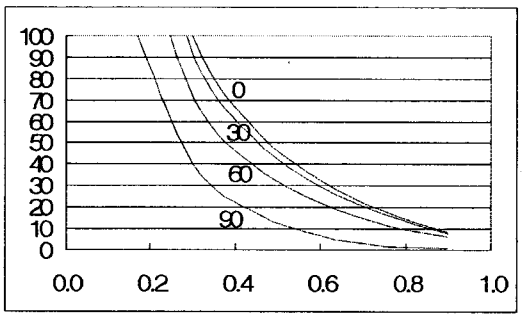
같은 부호를 가진 3점을 이용하는 경우, 직류 성분이 실린 점들을 충분히 얻을 수 없으므로, 전류 통전 이후의 모든 극값을 적용한다. 〈그림 5〉에서 알 수 있듯이 〈그림 4〉보다 역률 크기와 투입각에 대해 훨씬 더 작은 오차를 가진다는 것을 알 수 있다. 그러나, 전류 투입각이 60고 이하이고 역률이 0.6 이상인 경우, 오차가 증가한다는 사실을 알 수 있다.



〈그림 5〉 LGIS가 제안한 직류 감쇄법

2.3 위상 차이법[4]

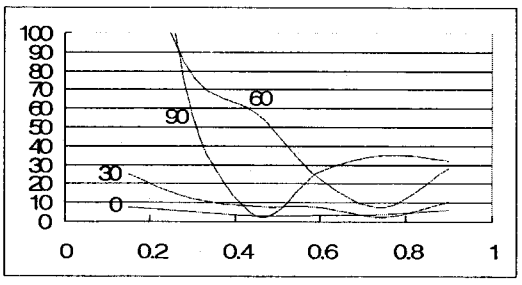
ANSI 규격에 의하면, 위상법은 역률이 0.3이상인 경우 적용하도록 규정되어 있으며, 대칭 전류가 되도록 투입 스위치를 투입해야 한다. 주의할 점은, 식 (3)에서 알 수 있듯이 라인 임피던스로 인해 단락 이전과 이후의 전압 위상이 달라지므로, 전압 영점을 계산할 때, 단락 이전의 파형을 기준으로 연장된 가상 영점을 계산해야 한다는 것이다. 〈그림 6〉는 투입 각도와 역률 크기에 대한 오차 곡선이다. 그러나, 〈그림 6〉에서 알 수 있듯이 위상 차이법은 전류 파형에 직류 성분이 실린 정도에 따라, 오차가 정해진다는 것을 알 수 있다. 즉, 전류 투입각이 90도인 경우, 역률 0.6 이상은 5% 이내의 오차를 가지고 계산할 수 있지만, 그 이외의 부분은 보장할 수 없음을 알 수 있다.



〈그림 6〉 위상 차이법에 의한 오차 곡선

2.4 비율법[5]

비율법은 ANSI와 NEMA AB1에 다 같이 명시되어 있으나, 적용 방법은 다소 차이가 있다. 〈그림 7〉에서 알 수 있듯이 거의 비대칭 전류인 경우에만 어느 정도 정확도를 가지고 계산할 수 있다.



〈그림 7〉 비율법에 의한 오차 곡선

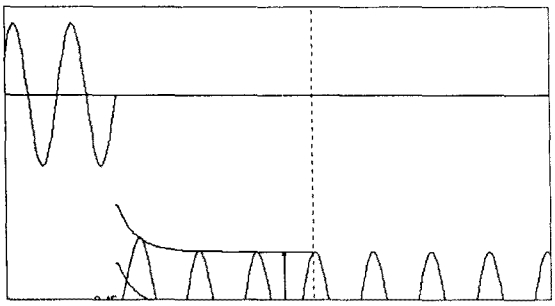
3. 실험

회로 역률을 정확히 계산하기 위해서는 먼저, 시험전압과 전류를 정확히 측정해야 한다. 전압 측정용 센서로는 저항 타입의 전압 분배기가 적합하며, 상전압을 측정해야 한다. 전류 측정용 센서로는 션트가 적합하며, 전압변화에 대한 영향을 줄이기 위하여 시료 전원측에 설치하는 것이 바람직하다. 실험은 2가지로 나누어 진행된다. 첫 번째는, 단락 시험용으로 개발된 소프트웨어의 내부기능인 단락파형 발생기를 이용하여 파형을 만들고, 역률을 계산한다. 두 번째는, 네트워크 방식의 단락 시험 설비를 이용하여 파형을 얻고 역률을 계산한다.

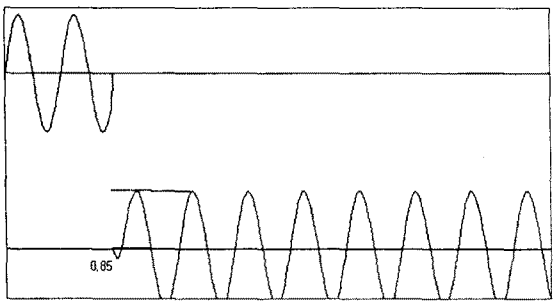
3.1 실험 조건 설정, 파형 계산, 역률 계산

개발된 대전력 시험소용 소프트웨어를 이용하여 전압, 전류, 투입각, 역률을 입력으로 하여 단락 파형을 만들고, 역으로 역률을 측정한다.

3.1.1 입력 설정(전압 120V, 전류 10kA, 투입각 0도, 역률 0.45)



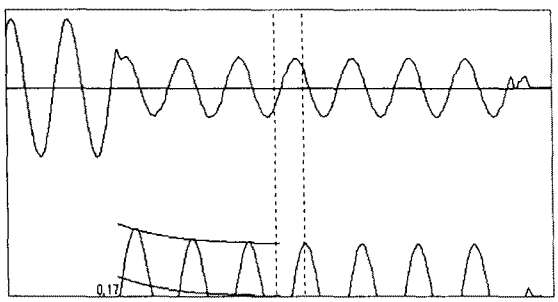
3.1.2 입력 설정(전압 120V, 전류 10kA, 투입각



90도, 역률 0.85)

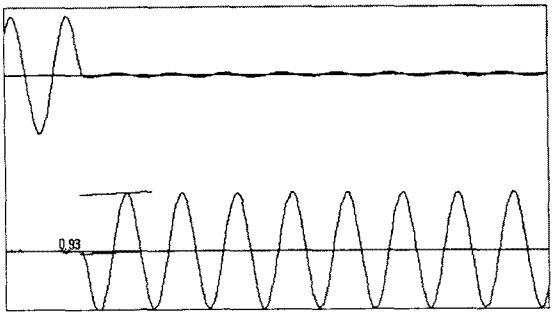
3.2 실험 회로 적용, 파형 취득, 역률 계산

3.2.1 시험 조건(530V, 31.8kA, 역률 0.15 -



0.2)

3.2.2 시험 조건(230V, 2.6kA, 역률 0.9 -



0.95)

3.1.1과 3.2.1 항에 적용된 방법은 LG산전에 제안한 직류 감쇄법을 적용하고, 나머지 항들은 위상 차이법을 적용했다. 2가지 방법 모두 역률을 정확하게 계산했다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

지금까지 각 규격에 명시되어 있는 대표적인 역률 계산법을 구현하고, 이들에 대한 오차 정도와 문제점, 그리고 보완법을 제시하고, 보완법에 대한 적합성을 실험을 통해 입증하였다. 결과적으로 역률 0.6 미만인 경우, 전류 투입각에 관계없이 본 논문에서 제안한 직류 감쇄법을 적용하고, 역률 0.6 이상인 경우, 전류 투입각에 따라 대칭 전류에 가까우면 위상 차이법을 그렇지 않으면 비율법을 적용하는 것이 바람직하다.

[참 고 문 헌]

[1] 윤지호 , "대전류 시험소용 측정 소프트웨어 개발", 대한전기학회 춘계학술대회, 1999

[2] Short-Circuit Testing Liaison(STL), "Harmonisation of data processing methods for evaluating test quantities between test laboratories", STL Technical Report, 1991

[3] 윤지호 , "단락전류 발생과 관련시험변수 측정에 대한 연구", LG산전 논문집, 1996

[4] ANSI, "IEEE Standard Guide for Methods of Power-Factor Measurement for Low-Voltage Indective Test Circuit"

[5] NEMA AB1, "Determination of short-circuit current, power factor, and recovery voltage", 1993