

주상 변압기의 고주파 모델에 관한 연구

한병덕* 오정환* 임태훈** 김현중*** 임춘백**** 김한수* 김재철*
 *:송실대학교 **:파워콤 ***:기인텔레콤 ****:한미건설

A Study on the High Frequency Model of Pole-transformers

Han Byung-Duk*, Oh Jung-Hwan*, Lim Tae-Hoon**, Kim Hyun-Jong***, Lim Choon-Baek****
 Kim Han-Soo*****, Kim Jae-Chul*

*:Dept of E.E. Soongsil Univ., **:Powercom Corp. ***:Keyintelecom. ****:Hanmi Const. Co.,LTd.

Abstract - In this paper, the high frequency models of pole-transformers are provided to confirm the feasibility of PLC systems between high and low voltage distribution systems. The impedance of transformers is measured to verify the characteristics of transformers at high frequency from 100[kHz] to 1[MHz] and the equivalent circuits of the transformers were designed based on the measured impedance. The signals transmitted from the primary and the secondary sides of the transformers were measured, respectively. The transmission loss of the transformers was obtained by the measured signals. Numerical analysis using the equivalent circuit is compared to the measured signals. The possibility of communication through pole-transformers is presented by experiments and simulations.

재하는 커패시턴스 값이 상용 주파수 범위에서는 그 영향을 나타내지 않으나 고주파 범위에서는 그 효과가 커지기 때문에 그 영향을 고려해야 한다. 현재 1[MVA]이상의 몇몇 대용량 변압기에 대하여 그 값이 실험에 의해 제공되고 있으며[7] 이는 변압기의 용량, 권선 배열에 의존적이다. 배전용 단상 3선식 변압기에서 2차측의 한 회로에서 다른 회로로의 전압전달 비율이 변압기 용량에 따라 변하지만 약 -16[dB]의 값을 갖는다[6]. 현재까지 변압기에 관하여 진행된 연구는 주로 고압 배전선에서 신호전달특성에 미치는 영향과 배전 변압기 2차측의 회로에서 신호전달 특성에 미치는 영향을 고려한 것처럼 1차 또는 2차측에 한정적이었다. 본 논문에서는 다양한 종류의 배전용 변압기의 임피던스를 측정하여 변압기의 고주파 신호에 대한 임피던스 특성을 파악하였다. 측정된 임피던스를 바탕으로 등가회로를 구성하여 변압기의 전송손실을 계산하고, 신호를 변압기의 1차 및 2차측에 인가하여 변압기의 전송손실을 측정하고 이를 계산된 값과 비교하였다.

1. 서 론

2. 본 론

전력선 통신은 상용전원을 공급하기 위한 전력선에 고주파 통신신호를 주입하여 전력선을 통신매체로서 사용한다. 전력선 통신을 이루는 요소는 크게 상용 전원을 공급하기 위한 전력설비와 통신을 위한 부가 장치로서 두 가지로 나눌 수 있다. 전력설비는 변전소의 주 변압기와 고압 및 저압 배전 선로와 이를 연결하는 주상 변압기 그리고 수용가에 이르는 설비로서 통신 매체의 역할을 수행한다. 통신을 위한 부가 장치는 통신신호를 송수신하는 전력선 모델과 모델로부터 출력되는 신호를 전력선에 주입 또는 추출하기 위한 결합장치로 구성된다. 전력선에 고주파 통신신호를 주입하기 위한 장치로서 여러 가지 방법이 사용된다. 첫 번째는 다수의 커패시터를 고압 선로에 연결하여 분압 된 회로에 통신신호를 주입하는 방법으로서 결합 효율이 우수해서 가장 널리 쓰이는 방법이다[1]. 두 번째 방법은 기존의 CT를 변형하여 사용한 장치로 저압측에 통신신호를 주입함으로써 선로와 장치간의 절연을 확보하는 방법이다. 이 방법은 결합 효율이 낮은 단점이 있다.

2.1 변압기 임피던스 측정

본 연구에서는 100[kHz]에서 1[MHz]까지의 주파수 범위에서 다양한 변압기에 대하여 임피던스를 측정하였다. 측정 대상 변압기의 사양은 표 2.1과 같으며 측정 항목은 다음과 같다.

- Z_{1o} : 2차측 개방 시 1차측에서 본 임피던스
- Z_{1s} : 2차측 단락 시 1차측에서 본 임피던스
- Z_{2o} : 1차측 개방 시 2차측에서 본 임피던스
- Z_{2s} : 1차측 단락 시 2차측에서 본 임피던스

표 2.1 변압기 사양

구 분	유입 변압기 (A)	유입 변압기 (B)	물드 변압기 (C)	유입 변압기 (D)
정격 용량 [kVA]	30	30	30	3
일차 정격	전 압[kV]	13.2	1.32	13.2
	전 류[A]	2.2	22.72	2.27
이차 정격	전 압[V]	230	230	230
	전 류 [A]	130	130	130.4
주 파 수 [Hz]	60	60	60	60

저압측 단자를 단락 또는 개방 시켰을 때 고압측에서 바라본 임피던스는 약 250[kHz]의 범위까지 비교적 큰

전력선은 통신을 위한 기본 매체로서 선로는 가공 및 지중 고압 배전선과 저압 배전선 등으로 복잡한 구성을 이루고 있으나, 현재 사용되고 있는 톨을 사용함으로써 비교적 정확한 분포 정수 모델 해석이 가능하다[3]. 고압 및 저압 배전 선로에서 존재하는 노이즈는 버스트 잡음 외에도 기기의 스위칭에 의한 노이즈와 낙뢰에 의한 노이즈 등이 있으며, 배전 변압기 2차측에서 발생하는 노이즈는 주로 수용가의 기기에서 주로 발생된다[6].

주상 변압기는 고압 배전 선로와 저압 배전선로를 연결하는데 가장 큰 장애물로서 작용하고 있다. 상용 전원 주파수에서 변압기의 해석모델은 비교적 그 해석이 용이하나 고주파수 범위에서는 그 해석 모델이 적용 될 수 없다. 변압기 권선의 단자 사이, 권선과 권선 사이에 존

값을 지나 그 이상의 주파수에서는 큰 변동 없이 약 250 ~ 650[Ω]사이의 값을 갖는다. 그림 2.1에 보이는 바와 같이 저압측 단자의 개방 혹은 단락에 상관없이 두 가지 경우에 모두 거의 일치하는 임피던스 특성을 가지는 것으로 나타났다. 이는 배전 변압기 2차측에 연결된 부하가 고압 배전 선로에서 신호전송에는 영향을 미치지 않는다는 의미를 가진다. 즉, 수용가의 전력사용에 상관없이 고압 배전 선로 내에서의 전송특성에 대한 평가가 독립적으로 이루어질 수 있음을 나타내고 있다.

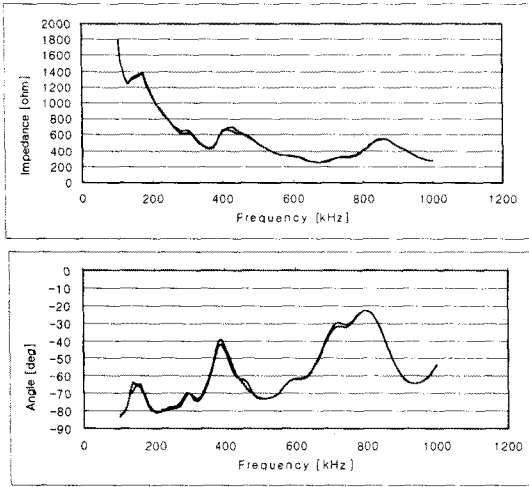


그림 2.1 1차측에서 본 임피던스(Tr.A)

저압측에서 바라본 임피던스를 그림 2.2에 나타내었다. 이때의 임피던스는 고압측에서 바라본 임피던스와는 다른 경향을 보이고 있다. 약 370 ~ 670 [kHz]의 주파수 범위에서 200[Ω] ~ 1.2k[Ω]의 임피던스를 범위를 가지며, 470[Ω]일 때 최대 값을 갖는다. 저압측에서 바라본 임피던스도 마찬가지로 1차측의 단락, 개방 여부에 상관없이 동일한 임피던스 특성을 보이고 있다. 1차 측에서 본 임피던스의 작은 음의 각으로 주파수에 따라 변동이 크지만 2차측에서 임피던스의 작은 양 420 kHz를 중심으로 반전되고 있다.

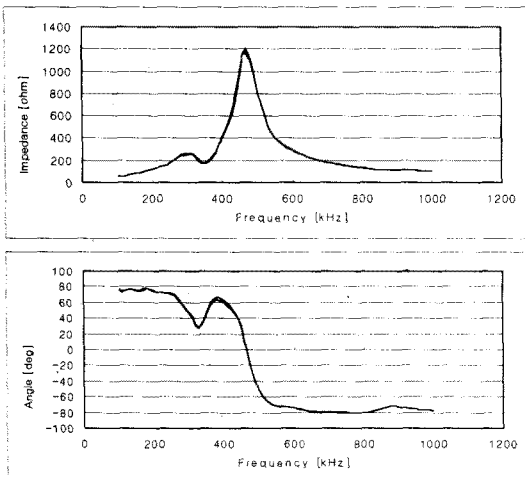


그림 2.2 2차측에서 본 임피던스(Tr. A)

2.2 변압기 등가회로 파라메타의 도출

본 절에서는 측정된 임피던스를 바탕으로 수치적 계산

이 가능하도록 등가회로 파라메타를 도출하고, 구성된 파라메타를 이용하여 수치계산을 수행한 결과를 제시한다.

일반적으로 변압기의 해석에서 가장 많이 쓰이는 등가회로는 T등가 회로와 π 등가회로이다. 본 논문에서는 계산상의 편의를 도모하기 위하여 그림 2.3과 같은 T등가 회로를 구성하였다. 고려된 주파수 범위는 200[kHz]에서 400[kHz]까지의 범위이며 주파수 가변 폭은 20[kHz]를 적용하였다. 정의된 등가회로의 파라메타와 측정된 임피던스의 관계식을 도출하면 식 (1) ~ (4)와 같은 식을 얻을 수 있다.

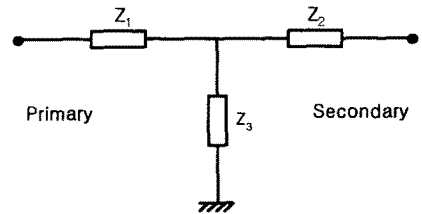


그림 2.3 변압기의 T 등가 회로

$$Z_{1o} = Z_1 + Z_3 \quad (1)$$

$$Z_{1s} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} \quad (2)$$

$$Z_{2o} = Z_2 + Z_3 \quad (3)$$

$$Z_{2s} = Z_2 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_3} \quad (4)$$

식 (1)~(4)에 의해 구해진 Z_3 값을 이용하여 Z_1 과 Z_2 를 구한 결과를 그림 2.4에 나타내었다. 그림 2.4에 보여지는 바와 같이 모든 주파수 범위에서 Z_1 의 값이 Z_2 와 Z_3 의 값보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 고압측에서 송신된 신호의 감쇠율이 저압측에서 송신된 신호의 감쇠율보다 더 크다는 것을 보여주고 있다.

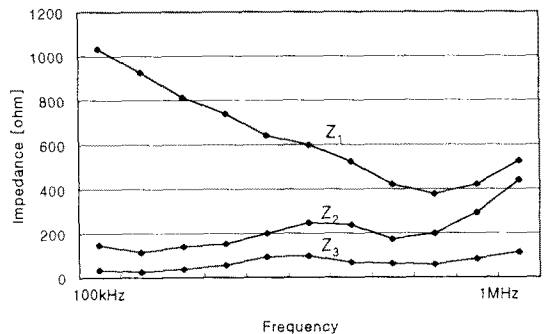


그림 2.4 등가 회로 임피던스

2.3 신호 전송 실험 및 수치계산

이 절에서는 고주파에서의 변압기 동작특성을 확인하기 위해 변압기의 1차측 및 2차측에서 전송된 신호를 각각 측정된 결과를 제시한다.

주상변압기에 직접 인가된 신호의 각 주파수에 따른 전압이득을 표 2.2에 나타내었다. 등가회로 모델에서 예상한 바와 같이 고압 측에서 송신시의 손실이 저압 측에서의 손실보다 크게 나타나고 있다. 최대 손실은 200[kHz]에서 고압측 송신 시에 발생하며, 280[kHz]에서

저압측 송신 시에 최소 손실이 발생한다.

표 2.2 측정된 전압이득

주파수 [kHz]	고압측송신 [dB]	저압측 송신 [dB]
200	-30.2	-10.6
220	-29.3	-15.1
240	-25.5	-11.9
260	-22.5	-9.5
280	-16.9	-7.5
300	-16.7	-7.7
320	-18.1	-10.7
340	-18.2	-9.1

구성된 등가회로를 바탕으로 수치계산을 수행한 결과를 표 2.3에 나타내었다. 실험에 의해 도출된 이득과 비슷한 경향을 보이고 있으며 최대 손실은 고압측 송신시 200[kHz]에서 약 -30[dB]의 이득을 갖는 것으로 나타났다. 280[kHz]와 300[kHz]에서 저압측 송신시에 -8.5[dB]의 최소 손실을 보이고 있다.

표 2.3 계산된 전압이득

주파수 [kHz]	고압측 송신 [dB]	저압측 송신 [dB]
200	-29.9	-11.1
220	-31.3	-15.05
240	-26.1	-12.1
260	-21.9	-10.9
280	-16.7	-8.5
300	-16.5	-8.5
320	-18.4	-11.2
340	-17.5	-9

2.4 실험 및 계산 결과 비교

그림 2.5는 변압기의 고압측 송신시에 실험에 의해 얻어진 값과 수치 계산에 의한 결과 값을 비교한 것을 나타낸다. 전체 주파수 범위에서 두 가지 결과가 거의 일치하고 있으며 가장 큰 오차는 220[kHz]에서 2[dB]의 오차를 갖는다.

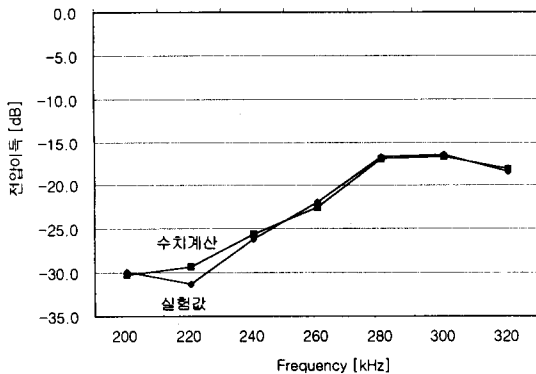


그림 2.5 고압측 송신시 수치계산 및 실험 결과 비교

저압측 송신시에도 마찬가지로 비슷한 결과를 그림 2.6에 보이고 있다. 전반적으로 실험에 의한 값이 수치 계산에 의한 값보다 크게 나타나고 있으며 고압측 송신시

보다 전체적인 평균 오차 또한 크게 나타나고 있다. 최대 오차는 260[kHz]에서 1.4[dB]의 차이를 보이고 있다.

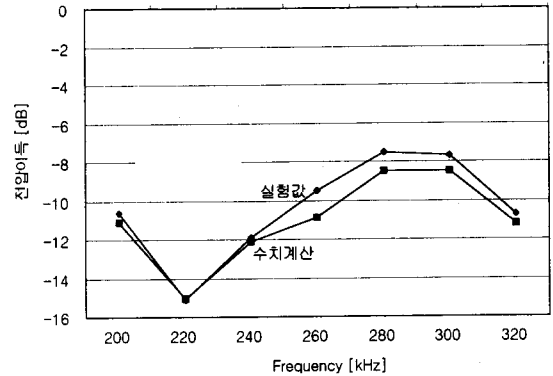


그림 2.6 저압측 송신시 수치계산 및 실험 결과 비교

3. 결론

본 논문에서는 고압 배전 선로와 저압 배전 선로사이의 전력선 통신의 가능성을 확인하기 위한 주상 변압기의 고주파 특성 실험 및 수치계산 결과를 제시하였다. 측정된 임피던스를 바탕으로 등가회로를 구성하였으며, 동시에 주상변압기의 신호전송 실험을 수행하였다. 실험 및 시뮬레이션 결과 변압기의 1차 및 2차측에서 바라본 임피던스 값이 취득되면 계산에 의한 감쇠율의 근사적인 예측이 가능하다.

실험 및 수치 계산에 의한 결과는 2[dB] 미만의 오차를 보이며 거의 일치하는 것을 확인하였다. 고압측 송신시에는 220[kHz]에서 저압측 송신 시에는 260[kHz]에 최대 오차를 보이고 있다.

고려한 주파수 범위에서 전송 효율이 가장 큰 경우는 고압측 송신 시에는 300[kHz] 저압측 송신 시에는 280[kHz]로 나타났다. 전송손실이 가장 큰 경우는 고압측 송신시 220[kHz]에서 약 -32[dB]의 이득을 나타내고 있다. 저압측 송신의 경우에는 전송손실이 최대인 경우가 약 -15[dB]로서 고압측 송신시 보다 전체적으로 양호한 전송특성을 보였다.

[참고문헌]

- [1] ANSI C93.1, Capacitors and Coupling Capacitor Voltage Transformers(CCVT)-Requirements.
- [2] IEC 495, Single Sideband Power-line Carrier Terminals.
- [3] R.Cortina et al., "Telecommunication Systems on Power Distribution Networks High Frequency Performances of Carrier Channels" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 2, April 1994.
- [4] Roger M. Vines et al., " Impedance of the Residential Power-Distribution Circuit" IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol, EMC-27, No. 1, February 1985.
- [5] Masaoki Tanaka "Transmission Characteristics of A Power Line Used for Data Communications at High Frequencies" IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 35, No. 1 February 1989.
- [6] Ben O'Neal, JR "The Residential Power Circuit as a Communication medium" IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. CE-28, No.3, pp.161-168, 1984.
- [7] Westinghouse Electric Corporation, "Electromagnetic Transients Program Application Guide", 1986.