

동작 영역이 넓은 37"TV용 LLC Dc-to-Dc 변환기의 정상상태 해석

정지욱, 장진행, 윤강현, 최병조
경북대학교, LG전자

Steady-State Analysis of LLC Dc-to-Dc Converter for a 37"LCD TV system

Jee-Wook Jeong, Jin-Haeng Jang, Kang-Hyun Yoon, Byungcho Choi
Kyungpook National University, LG Electronics Inc.

Abstract - 본 논문에서는 37인치 LCD TV의 패널 전원 공급용 회로로 사용되는 120W급 LLC 공진형 컨버터의 정상 상태 해석을 하였다. 특히, 종래와 달리 TV의 소비 전력 절감을 위해 넓은 범위로 동작하는 램프의 PWM Dimming 기능 동작시의 넓은 동작 영역에서의 공진형 컨버터의 정상 상태 해석을 하였다. TV SET의 동작 중 발생할 수 있는 공진형 컨버터 회로의 전단 회로인 Power Factor Correction 회로의 전압 변동과 또한 넓은 범위로 동작하는 램프의 PWM Dimming 기능 동작시의 부하 변동을 고려하여 LLC 공진형 컨버터의 정상 상태 해석을 하였다. 넓은 범위의 입출력 조건에서도 안정적으로 동작하는 컨버터 회로에 대한 이론적 분석과 실험을 통해 적용된 회로의 신뢰성과 우수성을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

최근 평면 디스플레이 제품이 대화화에 따라, 화면 사이즈에 비례하여 제품의 소비 전력 또한 증가해 가고 있는 추세이다. 이러한 대화화 추세에 맞춰 제조사에서는 소비 전력을 절감하고 사용자의 취향에 맞추어 밝기를 조절할 수 있는 Lamp dimming 기술이 폭넓게 활용되고 있다. 소비 전력의 절감 효과를 키우기 위해 기존의 Analogue 진폭 변조 방식보다 PWM dimming을 많이 사용하고 있으며 이에 따라 부하의 변동이 커져 컨버터의 동작 영역이 넓어지고 있다. 본 논문에서는 Lamp PWM dimming시 부하 변동 특성에서의 LLC 공진형 컨버터의 정상 상태 해석을 하였다.

2. 직렬 공진형 Half-Bridge DC/DC 변환기

2.1 동작 상태 조건

그림1은 37인치 LCD TV에 적용된 공진형 컨버터의 개요적인 표현이다. 그림에서 보는 바와 같이 Half Bridge 공진 인버터와 LC공진 탱크, Center-tap 변압기 그리고 정류회로로 구성되어 있다. 컨버터의 동작 상태 및 회로의 파라미터는 표1과 같으며 정상 상태에서는 출력전류 5.5A, 출력저항 4.36Ω으로, Dimming 상태에서는 출력전류 1.5A, 출력저항 16Ω으로 동작하게 되는 특징을 가지게 된다.

직렬 공진 컨버터 앞단은 Voltage control mode인 Discontinuous Conduction Mode의 boost type Power Factor Correction 회로가 있으며 이 회로로부터 Supply voltage를 공급 받고 있다. Power Factor Correction 회로의 Voltage mode control의 특성상 부하 변화에 대한 출력 전압의 regulation 응답 특성이 느리며 또한 PFC 출력 전해 capacitor의 용량이 비교적 작으므로 AC input voltage 순간 정전시의 출력 전압 강하가 크므로 뒷단에 연결된 공진형 컨버터의 Supply Voltage의 변동폭 또한 큰 회로적인 구성의 특성이 있다. 이로써 PFC에서 340-420V까지의 전압 변화폭이 생기게 된다.

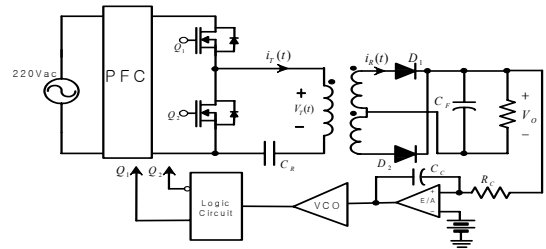
또한 출력 회로 뒷단은 LCD TV Panel 내부의 EEFL Lamp를 직접 구동하기 위한 DC-to-AC full bridge 인버터 회로가 연결되어 있다. 여기에서 정상상태 일때는 5.5A의 출력전류를 Dimming 상태일 때는 1.5A의 출력전류가 생기게 된다.

이로써 이 논문에서 다루게 될 컨버터는 동작이 넓은 LLC Dc-to-Dc 컨버터로 정의 될 수 있으며 이를 이용하여 정상상태동작과 Dimming상태에서의 동작을 해석 및 분석을 할 수 있도록 하였다.

2.2 변압기 회로모델

그림 3은 LLC컨버터에 사용된 변압기이고 이를 그림3에서 변압기의 내부 구조도로 나타내었다. 표2에서 그림3의 명칭 및 물질에 대해 나타내고 있다. 물리적으로 Primary 측의 Turn 수는 46번이며 Secondary 측의 Turn 수는 6번이다.

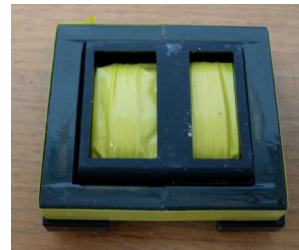
변압기를 이상적인 변압기를 포함시킨 등가회로로 나타내는 방법은 아주 많은 방법들이 알려져 있고 적절한 등가적 Turn ratio n(물리적 turn



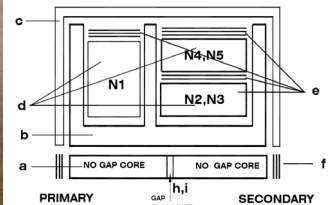
〈그림 1〉 직렬 공진 변환기

〈표 1〉 동작상태 및 회로 파라미터

동작상태	PFC 출력전압 : 340 - 420 V 정상 상태의 출력: $I_O = 5.5A$, $V_O = 24V$ Dimming 상태의 출력: $I_O = 1.5A$, $V_O = 24V$	
회로 파라미터	Power Stage	Feedback Controller
	Q_1, Q_2 : STP9NK65ZFP $C_R = 56nF$ D_1, D_2 : FMEN220A $C_F = 2000\mu F$	Control IC: L6599D



〈그림 2〉 변압기 실험



〈그림 3〉 변압기 내부구조도

〈표 2〉 그림3의 명칭 및 Material List

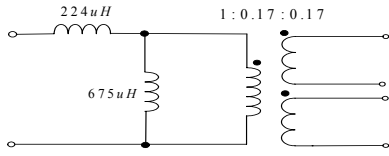
Number	Part	Material	Number	Part	Material
a	Core	EPC-5050 PM-7	f	Apperance for core	Polyester Tape
b	Bobbin	EPC-5050 PHENOL	g	Varnish	WP-2952 F-2G
c	Cap	EER-3944 PBT	h	Gap	Glass Bead
d	Wire	USTC 0.124x 30	i	Center EPOXY	EPOXY SK-014
e	Insulation Tape	Polyester Tape	j	Solder	HSE-09

ratio $n=N1/N2$ 와는 다름)의 선택과 함께 2차측 누설 flux를 포함한 모든 누설 flux는 1차측에 위치 시킬 수 있다.

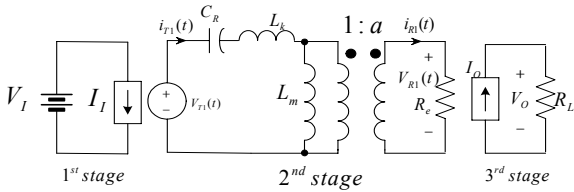
그림 4는 모든 요소를 1차측에서 고려한 변압기 회로모델이며, 인덕터의 측정치는 PSM1735를 이용하여 측정하였다.

2.3 선형 회로모델 및 전압이득

그림 5는 정현파 해석을 위한 공진형 컨버터의 선형기법을 이용한 회로모델이다. 이 모델은 널리 알려진 first harmonic approximation(FHA) 기법을 이용하여서 복잡한 LLC 공진 분석을 해석이 용이한 선형회로로 변형시켜서 일반적인 AC 회로 분석으로 가능하게 해 준다. 모델은 3가지 영역으로 나뉘며 첫 번째 영역은 Half-bridge swich network의 DC 특성이 표현된 DC 모델이다. 두 번째 영역은 fundamental components



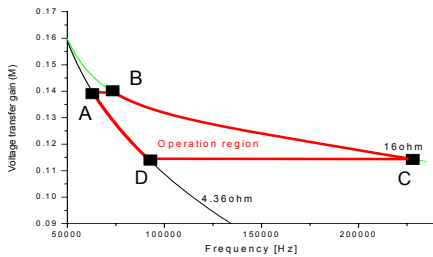
〈그림 4〉 변압기 회로 모델



〈그림 5〉FHA 공진 회로

〈표 3〉 그림4에 대한 회로변수와 파라미터

	표현식
First stage	$V_I = \frac{V_S}{2}$ $I_I = \frac{2 I_{T1}}{\pi} \cos \phi_T$
Second stage	$v_{T1}(t) = V_{T1} \sin \omega_s t$ with $V_{T1} = \frac{4 V_I}{\pi}$ $i_{T1}(t) = I_{T1} \sin(\omega_s t - \phi_T)$ $v_{R1}(t) = V_{R1} \sin(\omega_s t - \phi_R)$ $i_{R1}(t) = I_{R1} \sin(\omega_s t - \phi_R)$, $R_e = \frac{8}{\pi^2} R_L$
Third stage	$I_O = \frac{2}{\pi} I_{R1}$, $V_O = I_O R_L$



〈그림 6〉 컨버터의 동작영역

에만 반응하는 Transformer와 관련된 변화하는 회로의 fundamental component와의 관계를 기술하는 AC 모델이다. 세 번째 영역은 Load의 DC특성 모델이다. 그림5의 선형회로모델에서의 회로변수 및 파라미터는 표1에서 표현되었다.

그림5에서 입력에 대한 출력의 전압이득을 도출 할 수 있으며, 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$M = \frac{V_O}{V_S} = \frac{V_I}{V_S} \frac{V_{T1}}{V_I} \frac{V_{R1}}{V_{T1}} \frac{I_{R1}}{V_{R1}} \frac{I_O}{I_{R1}} \frac{V_O}{I_O}$$

$$= 0.5 \frac{4}{\pi} H(s) \frac{\pi^2}{8 R_L} \frac{2}{\pi} R_L = 0.5 H(s)$$

$$= \left[\frac{L_k + L_m}{a L_m} \frac{1}{\omega_s^2 a C_R L_m} + j \frac{a \omega_s L_k}{R_e} \frac{a}{\omega_s C_R R_e} \right]$$

그림 6는 위 수식에서의 전압이득을 $\omega_s - |M|$ 축상에 나타낸 그림으로 동작영역은 $R_L = 4.36\Omega$ 과 $R_L = 16\Omega$ 에 계산된 전압이득과 두 가지 수평선 ($|M| = 24 / 170 = 0.14$, $|M| = 24 / 210 = 0.114$) 에 둘러싸인 모양으로 나타낼 수 있다. 동작 영역은 다음 4가지 동작점을 통해 표시될 수 있으며, 4가지 동작점은 다음과 같다.

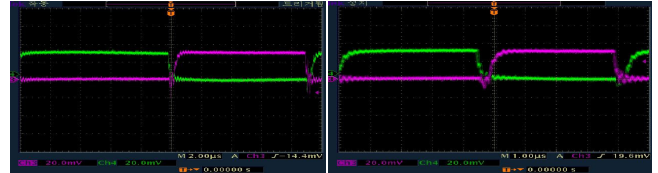
• Point A : $V_S = 340V, R_L = 4.36\Omega$ • Point B : $V_S = 340V, R_L = 16\Omega$

• Point C : $V_S = 420V, R_L = 16\Omega$ • Point D : $V_S = 420V, R_L = 4.36\Omega$

최소 스위칭 주파수는 Point A인 지점에서 결정되어, $f_{s \min} = 62 \text{ kHz}$ 로 정의 되어지고, 최대 스위칭 주파수는 Point C 지점에서 결정되어져서, $f_{s \max} = 229 \text{ kHz}$ 로 결정된다. 따라서 컨버터의 스위칭 주파수 범위는 $62 \text{ kHz} < f_s < 229 \text{ kHz}$ 로 결론 내릴 수 있다.

2.4 컨버터의 성능

그림7은 컨버터의 동작 Point A지점과 Point C지점에서의 측정된

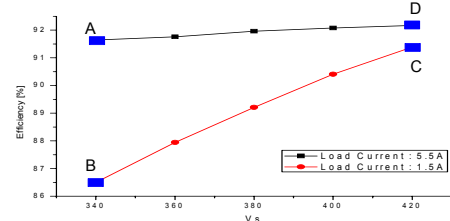


(a)Point A

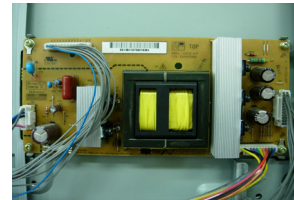
(b)Point C

〈그림 7〉 각 동작지점에서의 드라이브 게이트 시그널

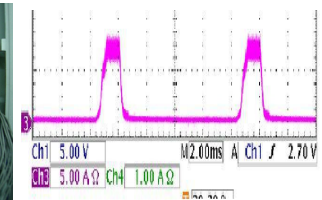
High사이드와 Low 사이드 Mosfet 스위치의 게이트 시그널 파형을 보여주고 있다. 측정된 파형은 한 쪽 게이트 시그널이 완전히 OFF 된 후 다른 쪽 게이트 시그널이 ON 되는 현상을 확인할 수 있으며 두 지점 모두 정상적인 ZVS 모드 동작을 보여주고 있다.



〈그림 8〉컨버터의 효율



〈그림 9〉LCD TV에 장착된 LLC공진 컨버터



〈그림 10〉LLC컨버터 출력전류의 동작파형

그림8은 측정된 컨버터의 효율을 보여주고 있으며 입력전압 혹은 부하 전류가 증가할 때에 효율은 증가됨을 보인다. 정상동작시(Load Current 5.5A) 효율은 91.6%에서 92.16%까지 증가됨을 보이고 Dimming 동작시(Load current 1.5A)에는 86.5%에서 91.4%까지 효율변화를 보인다. 따라서 동작 Point D지점에서 효율 92.16%로 가장 큰 효율을 보이고 있다.

그림 9는 이 논문에서 다룬 LLC 공진 컨버터로 37인치 LCD TV에 장착된 모습이다. 그림10은 컨버터가 장착된 LCD TV의 20% duty ratio로 동작하는 Lamp의 PWM dimming 동작시의 Lamp 전류와 LLC 공진형 컨버터 출력 전류의 동작 파형이다. 측정된 파형은 TV system내 외부 trigger signal에 의한 Lamp PWM dimming을 나타내며 그 동작은 120Hz의 주파수 범위에서 최소 20%의 duty ratio로 Lamp 전류를 단속하고 있는 동작을 측정한 것이며, 그때의 LLC 공진형 컨버터의 부하 변동(step load change)을 나타내고 있다.

3. 결 론

요즘 각 제조업체들은 세계적인 에너지 소비 절감의 추세에 맞추어 여러가지 절전 기능을 개발하고 상품화하고 있다. Lamp PWM dimming 기능 또한 거의 모든 주요 LCD TV 제조 업체들이 적용하고 있는 효과적인 절전 기술이다. 이 논문은 Lamp PWM dimming 동작시와 같은 dynamic한 load change 조건 하에서 동작하는 LLC 공진형 converter의 정상 상태 해석을 하였다.

감사의 글: 본 과제는 경북대학교 산학협력중심육성사업 (2007-2008)의 지원하에 수행 되었습니다.

참고 문헌

- [1] Steigerwald, R.L., "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies" IEEE Trans.Power Electron., vol.3, no.2, pp.174-182, 2002
- [2] Choi, Hangseok, "Analysis and Design of LLC Resonant Converter with Integrated Transformer", APEC 2007, pp.1630-1635, 2007