넓은 출력전압 범위에서의 변압기 Vcc 보조 권선비 자동 변환 회로

최신욱, 김문영, 강정일
삼성전자 영상 디스플레이 사업부

Automatic conversion circuit of transformer Vcc auxiliary windings under wide output voltage range

Shinwook Choi, Moonyoung Kim and Jeongil Kang
Samsung Electronics Visual-Display Division

ABSTRACT

저전력에 사용되는 Flyback 컨버터에서는 일반적으로 트랜스포머의 보조권선을 통하여 구동 IC에 필요로 하는 전력을 공급한다. 하지만, USB PD와 같이 5~20V의 넓은 출력전압을 가지는 경우 IC Vcc 정격 전압을 위하여 Linear regulator 사용이 필수적이나, 이는 소자 발열 및 시스템 효율을 저하시킨다. 따라서, 본 논문에서는 출력전압 변동에 따라 변압기의 보조권선을 변환 시키는 회로를 제안하고자 한다.

1. 서 론

USB Power Delivery(이하 USB PD)는 USB케이블을 이용하여 최대 100W까지 전력 공급이 가능한 USB 전력 확장 규격이다[1]. 기존의 USB 2.0의 2.5W, USB 3.0의 4.5W에 비해 많은 양의 전력을 공급할 수 있어, 기존에는 전력 대응이 불가능했던 태블릿, 노트북 등에도 전력공급이 가능하다. USB PD를 대응하는 전력 공급용 커넥터 케이블은 USB Type-C 케이블로 규정되어 있다[1]. 다양한 Type이 있던 기존 USB 규격과 달리 Type-C에서는 호스트와 디바이스의 구별 없이 1개의 형상으로 통일되어 있어, 케이블 하나로 Type-C 단자가 탑재된 모든 기기에 대응 가능하게 되었다[1]. 또한, 내부 전극이 대칭적으로 구성되어, 삽입 방향에 대한 문제도 없으며, 영상 신호의 취급도 가능하여 USB 단자만으로 데이터 전송, 전력 공급, 영상 신호 전송이 가능해졌다[1]. 이러한 장점 때문에 USB PD를 적용하는 전자기기의 수가 늘어나고 있다[1].

USB PD는 연결기기에 따라 5V부터 20V까지 변환이 가능하다[1]. 모든 출력전압(5V/9V/15V/20V)은 각각 3A까지 지원이 가능하며, 20V는 추가로 별도로 제작된 케이블을 사용할 경우 5A까지 지원하여 최대 100W까지 전력공급이 가능하다[2]. 일반적으로 100W 이하의 전력전달을 위해서는 구조가 간단하고, 부품 소자수가 적은 Flyback converter가 주로 사용된다[2]. Flyback converter는 보통 변압기의 보조권선을 통해 구동 IC의 Vcc전압을 인가하는데, 이는 Flyback 동작 특성 상 각각의 변압기 권선비에 따라 출력전압과 비례한 전압이 공급된다 [3].

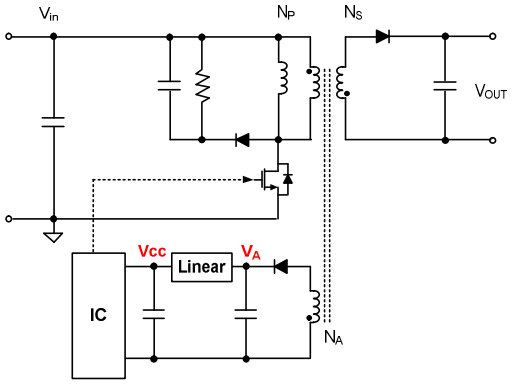

그림 1. Linear regulator가 적용된 Flyback 회로

하나의 출력전압을 가지는 일반적인 전력전달 회로와 다르게 USB PD는 5~20V의 넓은 범위의 출력전압 범위를 가지기 때문에, IC Vcc를 위한 보조권선의 전압의 범위도 출력전압과 비례하여 넓어질 수 밖에 없다. 이 경우 보조권선의 출력 전압이 IC 정격 전압 이상 올라갈 수 있기에 이를 방지하기 위해 그림1과 같이 정전압 회로 (Linear regulator)가 필수적으로 사용이 되어야 한다. 하지만 Linear regulator의 넓은 입력 전압 범위로 인하여 regulator 소자의 국부 발열과 전체 시스템의 효율 저하의 문제점을 야기한다.

따라서 본 논문에서는 출력전압 변화에 따라 보조권선에 인가되는 전압의 범위를 줄여 IC Vcc에 공급되는 전압을 적절한 수준으로 조정하는 회로를 제안하고자 한다.

2. 제안하는 IC Vcc 보조권선 자동변환 회로

2.1 제안하는 회로 구조 및 동작 원리

제안하는 IC V_{cc}를 위한 보조권선 자동변환 회로는 그림 2와 같다. IC V_{cc}전압을 위한 변압기의 보조권선(N_A)을 N_{A1}와 N_{A2}로 분리해서 감음으로써, 출력전압(V_{OUT})이 변할 때 출력전압의 크기에 따라서 설정전압보다 높아지면 V_A에는 N_{A1}쪽 권선의 전압인 V_{NA1}이 인가 되고, 설정전압보다 낮아지면 V_A에 $N_{A1}+N_{A2}$ 권선의 전압인 $V_{NA1}+V_{NA2}$이 인가 되어, Linear regulator의 입력의 크기를 변화시키는 회로이다.

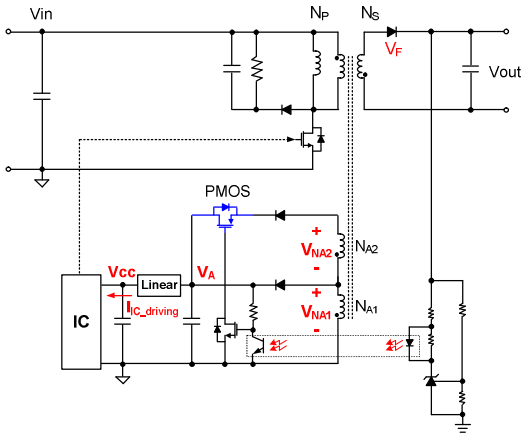

그림 2. 제안하는 Vcc 보조권선 자동 변환 회로

출력전압의 변동에 따라 IC Vcc 정격전압을 초과 할 수 있기 때문에 제안된 회로에서도 기본적으로 Linear regulator를 사용해야 한다. 그림 2에서의 Linear regulator에서 소모하는 열은 다음과 같다.

$$P_{\text{Linear}} = I_{IC_driving} \times (V_A - V_{CC}) \qquad (1)$$

Vcc전압은 IC 정격에 맞춘 Linear regualtor의 출력전압으로 고정된 값을 가지기 때문에, 식 (1)과 같이 보조권선의 출력전압인 V_A의 크기에 따라서 Linear regulator가 소모되는 전력이 결정된다. 기존 방식은 출력전압에 따라서 V_A가 비례해서 커지는 반면, 제안하는 회로는 권선비 변경을 통하여 V_A 크기를 조절 할 수 있기 때문에 기존 대비 Linear regulator로 입력되는 전압 범위를 줄여 Regulator 소자의 발열을 개선할 수 있다.

2.2 제안하는 회로의 상세 동작

2.2.1 설정 전압 이하의 기기 연결 시 동작

그림 3은 USB PD 출력(V_{OUT})에 5V, 9V와 같이 설정 전압보다 낮은 전압의 기기가 연결된 경우의 IC 구동부의 등가 회로이다. 이때 보조권선 출력 전압은 권선비에 따라 전압이 인가되는데, V_{NA1}, V_{NA2}는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{NA1} + V_{NA2} = (V_{OUT} + V_F) \times \left(\frac{N_{A1}+N_{NA2}}{N_s}\right) \qquad (2)$$

$$V_{NA1} = (V_{OUT} + V_F) \times \left(\frac{N_{A1}}{N_s}\right) \qquad (3)$$

USB PD의 출력전압이 TL431회로의 설정전압보다 낮을 경우 TL431이 OFF상태이기 때문에 photo-coupler는 동작하지 않아 그림 3과 같은 등가회로를 가지게 된다. 따라서 photo-coupler 출력에 연결된 FET의 Gate가 V_A전압으로 Pull-up 상태를 유지 하기 때문에 FET는 Turn-on 된다. 이에 따라 ON 상태의 FET는 상단의 PMOS의 Gate를 Low level로 끌어 내리기 때문에, PMOS가 ON이 된다. 이때, V_A에 ORing 다이오드로 연결된 두 보조권선의 출력 전압 중 $V_{NA1}+V_{NA2}$전압이 V_{NA1}보다 반드시 크기 때문에 N_{A1}에 연결된 다이오드는 역바이어스로 OFF가 되고 N_{A2}에 연결된 다이오드가 도통이 되어 V_A에는 $V_{NA1}+V_{NA2}$의 전압이 인가 된다.

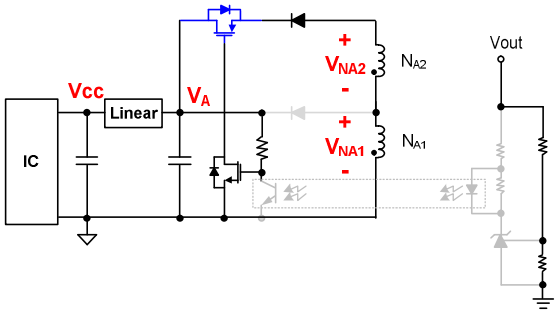

그림 3. 낮은 전압을 요구하는 기기 연결 시 등가회로

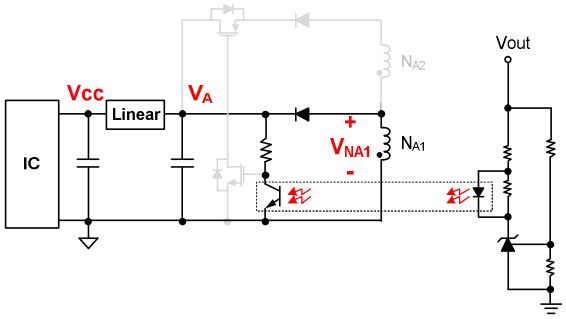

그림 4. 높은 전압을 요구하는 기기 연결 시 등가회로

2.2.2 설정 전압 이상의 기기 연결 시 동작

그림 4는 USB PD 출력에 15V, 20V와 같이 설정 전압보다 높은 전압의 기기가 연결된 경우의 IC 구동부의 등가 회로이다. USB PD의 출력전압이 TL431회로의 설정전압보다 높을 경우 TL431이 ON되어 photo-coupler를 동작 시키고, 이에 따라 photo-coupler 출력에 연결된 FET의 Gate가 low level이 되어 FET가 꺼지게 된다. 이에 따라 PMOS gate가 floating되어 OFF된다. PMOS가 OFF 상태이기 때문에 V_A에는 V_{NA1}전압만 인가 된다. 따라서, 출력전압의 크기에 따라 동작하는 보조권선이 다른 것을 확인 할 수 있다.

2.3 제안 회로 구조의 또 다른 예시 및 동작 원리

제안하는 회로가 전압 설정 정밀도가 높은 대신 TL431회로와 Photo-coupler를 필요로 한다. 하지만, USB PD의 출력전압은 5V~20V 사이를 선형적으로 변화하는 것이 아니라, 외부 연결기기에 따라 5V / 9V / 15V / 20V와 같이 특정전압 단위로 변동 되기 때문에 그림 5와 같이 포토 커플러와 431회로를 제거한 형태의 회로로 구현할 수 도 있다.

V_{NA1}에 인가되는 전압은 Flyback 동작에 따라서 AC 형태의 전압을 가지므로 그림 5와 같이 다이오드와 capacitor로 이루어진 Peak Detecting 회로를 통해 출력전압 크기를 감지하고 이에 따라서 FET의 Gate를 ON/OFF 시킨다. V_{NA1}의 저항 분배전압으로 FET의 Vth에 맞춰 기준전압을 설정하면 앞선 회로와 마찬가지로 출력 전압 크기에 따라 V_A에 서로 다른 전압이 인가되도록 동작이 가능하다.

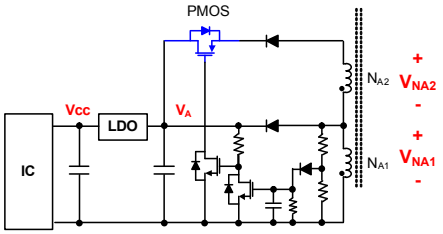

그림 5. 제안하는 회로구조의 또 다른 형태

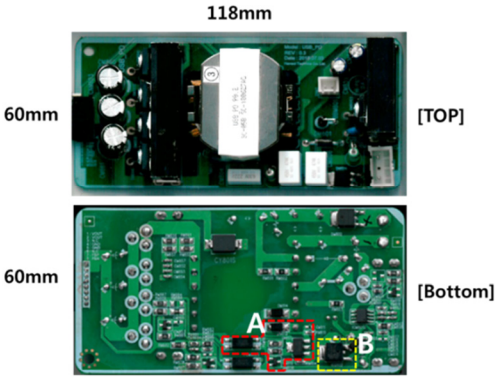

그림 6. 제안하는 회로가 적용된 USB PD 전원 보드 사진

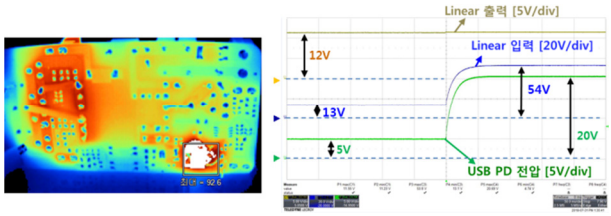

그림 7. 제안 회로 적용 전 소자 온도 및 동작 파형

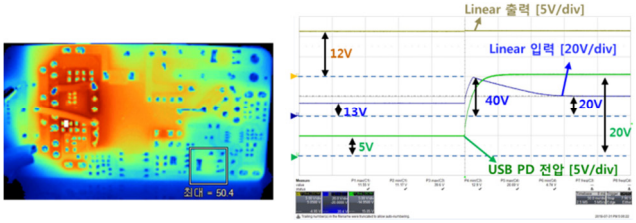

그림 8. 제안 회로 적용 후 소자 온도 및 동작 파형

	DESCRIPTION	SPECIFICATION	VENDER	P/N
Flyback 주요소자	FET	N-CH, 800V 11A, TO-220F	MAGNACHIP	MMF80R450PTH
	DIODE	120V 60A, TO220F	VISHAY	VF60120C
	TRANS	DS4025	CLOVER	DS4025
	IC	Flyback-IC, SOP-J8	ROHM	BM1Q001FJ
	IC-REG	12V, 1A, Vin 35V, DPAK	KEC	KIA7812AF
추가소자 (제안회로적용)	IC-REG	2.5V 0.5% , SOT-23	LRC	LR431APTLT1G
	PHOTOCOUPLER	130%~260% 70V	LITEON	LTV-1008-TP-G
	FET	60V, 320mA, SOT-23	LRC	L2N7002KLT1G
	FET	-100V, -6A, SOT223	DIODES	DMP10H400SE
	DIODE	1KV / 1A, SMA	DACHANG	US1M

[표 1]. USB PD 회로 샘플에 사용한 소자

Vout	V_A	Linear 출력전압	Linear voltage drop
5.0 V	13.0 V	12.0 V	1.0 V
9.0 V	23.5 V	12.0 V	11.5 V
12.0 V	32.0 V	12.0 V	20.0 V
15.0 V	39.8 V	12.0 V	27.8 V
20.0 V	54.0 V	12.0 V	42.0 V

[회로 적용 전]

Vout	V_A	Linear 출력전압	Linear voltage drop
5.0 V	13.0 V	12.0 V	1.0 V
9.0 V	23.5 V	12.0 V	11.5 V
12.0 V	11.5 V	11.0 V	0 V
15.0 V	15.1 V	12.0 V	3.1 V
20.0 V	20.0 V	12.0 V	8.0 V

[회로 적용 후]

[표 2]. Linear regulator 전압강하 측정 치

3. 실험 결과

그림 6은 앞서 제안하는 회로가 적용된 사진이며, 사용된 소자는 표 1과 같다. 그림 6의 빨간색 점선으로 표시 된 A부분이 제안된 Vcc 권선비를 변경하는 회로 부분이며, B부분은 IC Vcc를 위한 Linear regulator이다. 그림 7은 제안된 회로가 적용되기 전 소자의 온도 및 5V에서 20V로 USB PD 출력 전압 변경 시의 파형이다. 출력전압이 4배 증가함에 따라 Linear regulator 입력전압도 4배 정도 증가하여 소자에 걸리는 전압 및 소비전력이 커져서 소자 발열이 커짐을 알 수 있다. 그림 8은 제안된 회로가 적용된 후의 소자 온도 및 동작 파형이다. USB PD 전압이 높은 전압으로 변경 시 보조권선의 전압도 같이 상승하다가, 설정된 값에서 다시 보조권선의 권선비가 자동으로 변환 되어 Linear regulator 입력 전압이 낮아지게 된다. 따라서 그림 8의 실험 결과와 같이 소자의 발열은 매우 줄어 들게 된다.

표 2는 Linear regulator 출력을 12V로 설정 할 경우를 기준으로 제안된 회로의 적용 전/후에 따른 Linear regulator의 전압 강하를 측정한 결과이다. 제안된 회로가 적용되지 않는 회로에서는 최대 42V의 전압강하가 제안된 회로를 적용 할 경우 최대 11.5V 수준으로 떨어짐을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 USB PD와 같이 5~20V의 넓은 출력전압 범위를 가지는 회로에서 IC Vcc를 위한 변압기의 보조권선을 나누고, 출력전압에 따라 보조권선 비를 변화 시키는 회로를 제안하였다. 제안된 회로를 통하여 IC Vcc단에 사용되는 Linear regulator의 입력에 인가되는 전압의 범위를 줄여 소자의 발열을 최소화 하여 안정적으로 시스템을 구현할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] H. Reydarns, V. Lauwereys, D. Haeseldonckx, P. van Willigenburg, J. Woudstra and S. De Jonge, "The development of a proof of concept for a smart DC/DC power plug based on USB power delivery," Twenty-Second Domestic Use of Energy, Cape Town, 2014, pp. 1-4.

[2] C. Chen, C. Cheng, P. Wu and S. Wang, "Unified Small-Signal Model and Compensator Design of Flyback Converter with Peak-Current Control at Variable Frequency for USB Power Delivery," in IEEE Transactions on Power Electronics.

[3] T. Zhang, Q. Qian, M. Xu, W. Sun and S. Lu, "Analysis on ringing effect of auxiliary winding in primary side regulated flyback converter," 2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, PA, 2014, pp. 2727-2733.