

高力率 LED 駆動回路による LED と駆動回路の GaN 基板上への混載方法

野下 裕市・伊東 淳一 長岡技術科学大学

1. はじめに

近年、長寿命や高効率などの利点から、GaN 材料を用いた白色 LED 照明器具の普及が進んでいる。これらの交流電源用 LED 駆動回路の多くは、DC-DC コンバータにより LED の電流を制御するため、コンデンサやリアクトルが必要となる。しかし高温動作による寿命短縮や、部品の大型化が課題となる。そこで本論文では、これらの受動部品を使用せずに高力率動作を実現する LED 駆動回路を提案する。提案回路は半導体と抵抗のみで構成されるため、GaN 基板上に LED と駆動回路を混載することで、1 チップ IC 化が可能となる。

2. 提案回路

図 1 に提案回路の動作原理図を示す。提案回路は定電流・可変電圧駆動の LED 列が複数並列接続され、それぞれの点灯開始電圧が異なる。1 列目を例として、交流電圧 V_{in} が LED 列の順方向電圧 V_{F1} を上回ると、電流バイパス回路 $S_1 \sim S_4$ がオンし、上部の LED が点灯する。さらに電圧が V_{F2} を上回ると S_1 がオフし、一段下の LED も点灯、 V_{in} ピークで全 LED が点灯する。LED 直列数は V_{in} に比例し、今回の 100V 電源では 40 個となる。

図 2 に電流バイパス回路の構成、表 1 に回路定数を示す。MOSFET とツェナーダイオード、抵抗で構成され、電源電圧の上昇に伴って $S_1 \sim S_4$ の順序でオフ-オンを繰り返す。MOSFET は R_{bias} と ZD_{bias} により駆動され、部品点数が少ない。

提案回路はバイパス回路の切り替え時に飽和領域で動作するため、損失が発生する。そこで n 段の多段化により VI 積を $1/n$ に低減する⁽¹⁾。全体の効率は 10 列構成のシミュレーションにて 91.6% となり、既存方式と同等以上の効率を得ている。

図 3 に提案回路のスイッチング損失を示す。損失 P_{sw} 、 a 段目のスイッチング時間を $t_a \sim t_{a+1}$ とすると、以下の関係が成り立つ。

$$P_{sw} = 4f_{in} \left[V_{Fn} I_{str} \left(\int_{t_a}^{t_{a+1}} \sin \omega t dt - n(t_{a+1} - t_a) \right) + R_{on} I_{str}^2 (t_a - t_n) \right] \quad (1)$$

図 4 に計算結果を示す。シミュレーションとの差異は MOSFET オン抵抗の誤差による。提案回路は飽和領域から線形領域に切り替わった直後、定常状態よりも V_{gs} が低く、オン抵抗が高い。このため計算よりもシミュレーションの損失が大きい。

3. 実験結果

図 4 に 10 列構成 15W 試作機の実験結果を示す。入力電流は良好な正弦波に制御されており、入力電流ひずみ率は 5.05%、入力力率は 99.9% と高い。

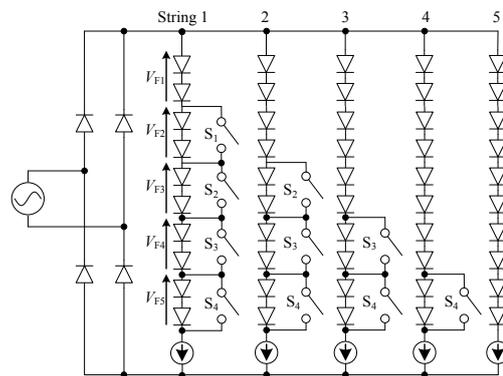


Fig.1. Proposed circuit. (5-string type)

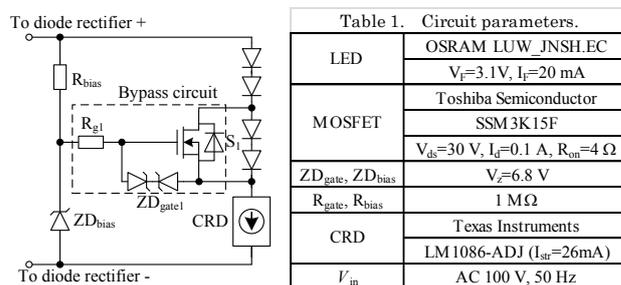


Fig.2. Current bypass circuit.

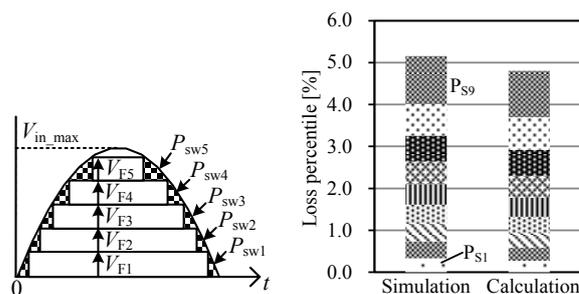


Fig.3. (Left) Switching losses of bypass circuit. Fig.4. (Right) Loss distribution of each switch.

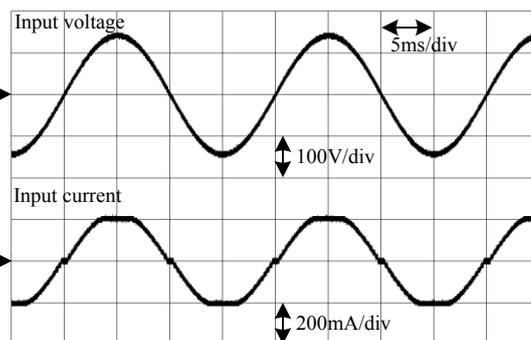


Fig.5. Operating waveforms. (10-string type)

文献

(1) 藤田: 電気学会論文誌 D, Vol. 127, No.1, pp.9-16 (2007)