平地研究室技術メモ No.20181001

DAB コンバータの研究開発動向（LLC コンバータとの比較）

（読んでほしい人：パワエレ技術者）

2018/10/1 舞鶴高専 平地克也

【あらまし】 平地研究室技術メモ No.20180618 で、DC/DC コンバータの分野では、現在最も研究が盛んなのは LLC コンバータであることを説明しましたが、その次に研究が盛んなのは DAB コンバータです。LLC も DAB も昔からある回路方式ですが、最近「再発見」されて広く研究されるようになりました。LLC コンバータはすでに数 10W～200W クラスで広く実用化されており、近年は数 kW クラスへの応用が研究されています。逆に DAB コンバータは本格的な実用化はまだこれからであり、当初は数 100kW の大きなシステムへの応用が検討されていましたが、最近は LLC と同じく数 kW クラスへの応用も研究されています。

■DAB コンバータの研究動向

先月開催された平成 30 年電気学会産業応用部門大会（産応全大）では、DAB コンバータは 4 件の研究発表がありました。電気学会半導体電力変換研究会（SPC）でも最近の約 1 年間で 7 件の発表がありました（2017/6/5 の研究会から 2018/7/26 の研究会まで）。一方、LLC コンバータは産応全大で 1 件、SPC でも 1 件でした。日本の研究者は LLC より DAB を好むようです。

表 1 にパワーエレクトロニクスの分野で、世界で最も質と量が充実している論文誌 IEEE Tran. on PE （IEEE Transactions on Power Electronics）と日本で最も充実している電学論 D（電気学会 D 部門論文誌）に掲載された DAB コンバータと LLC コンバータの論文数の推移を示します。DAB コンバータ、LLC コンバータともに 2010 年代に論文数が増加していることが分かります。ただし、電学論 D では LLC コンバータの論文はわずかです。

表 1　IEEE Tran. on PE と電学論 D に掲載された DAB コンバータと LLC コンバータの論文数

(a) DAB コンバータ

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
IEEE Tran. on PE	0	0	2[1,2]	1	1	1	4	5	4	9
電学論 D	0	1[3]	1[4]	1	0	1	0	1	1	1

年	2015	2016	2017	2018
IEEE Tran. on PE	12	15	11	15
電学論 D	1	4	2	1

（2018 年は 9 月号までの件数）

(b) LLC コンバータ

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
IEEE Tran. on PE	1	1	2	1	1	3	8	10	15	18
電学論 D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

年	2015	2016	2017	2018
IEEE Tran. on PE	18	24	28	12
電学論 D	1	0	0	0

（2018 年は 9 月号までの件数）

注）IEEE Tran. on PE の論文数は、IEEE Xplore を用いて DAB または LLC をキーワードとして検索した上で、検索漏れや誤検索を補正したもの。補正は人力で行ったので多少のミスカウントはあるかもしれない。

■「再発見」のいきさつ

近年 LLC コンバータが広く普及して研究が盛んになった原因は、平地研究室技術メモ No.20180618 で説明した通りですが、LLC コンバータの欠点をカバーする適切な用途が発見されたこと（PFC コンバータの後段に使用すること）によります。

DAB コンバータの研究が近年盛んになったことには表 1 (a)の IEEE Tran. on PE の 2007 年の 2 つの論文（文献[1]と[2]）が大きな役割を果たしているようです。文献[1]では DAB の特長を説明し、有力な用途を提案しています。さらに試作器で 97%の効率を得たこと、将来 SiC を使用した場合の効率が 99%と推定できることを説明し、読者の DAB コンバータへの研究意欲を駆り立てる内容となっています。また、文献[2]では DAB コンバータの動作原理や特性解析が詳しく説明されています。文献[1]と[2]はその後の DAB コンバータの論文でよく引用されており、近年の DAB コンバータの「研究ブーム」の 1 つのきっかけとなったことが推定されます。なお、文献[1]は電学論 D の 2006 年の論文（文献[3]）の翻訳であり、文献[2]は電学論 D の 2007 年の論文（文献[4]）をベースにして書かれたものです。文献[1]～[4]は東京工業大学の赤木研究室の論文です。

文献[1][3]では DAB コンバータの有力な用途として、配電系統の電力制御や高圧ダイレクトモータ駆動システムなど数 100kW の大きなシステムを想定していますが、近年は LLC コンバータと同様に新エネや電気自動車などの用途で数 kW の容量を想定した研究も盛んになっています。

■LLC コンバータと DAB コンバータのルーツ

平地研究室技術メモ No.20180618 では、LLC コンバータは早い時期にサンケン電気によって実用化され、同社の論文（文献[5]）が現時点で判明している最も古い論文であることを報告しましたが、その後、ソニーによる論文（文献[6]）があることが分かりました。著者の方から直接教えていただいた情報によると、ソニーでは 1987 年からブラウン管テレビ用電源として LLC コンバータが大量に生産されたそうです。また、LLC コンバータの回路方式自体は当時すでに公知であり、ルーツはテクトロニクス社の古い特許、とのことです。私は文献[6]を最近読んだのですが、LLC コンバータの複雑な周波数制御を、励磁インダクタンスを可変できる特殊なトランス（直交トランス）を使って少ない部品点数で実現しています。しかも自励発振なので補助電源は不要です。トランジスタのストレジタイムとダイオードのリカバリタイムの時間差でデッドタイムを作るなど、オールアナログで名人芸で設計されています。他社が容易に真似できるものではなく、当時 LLC コンバータが広く他社に普及することが無かったのは当然と感じました。

文献[1][3]では DAB コンバータの回路方式の出展として文献[7][8]が紹介されています。その後の DAB コンバータの論文でもほとんどが回路方式の出展として文献[7][8]を引用しており、文献[7][8]が DAB コンバータのルーツのようです。著者の Divan は有名なパワエレ研究者です。

■参考文献

[1] S.Inoue and H.Akagi, “A bidirectional isolated dc-dc converter as a core circuit of the next-generation medium-voltage power conversion system,” IEEE Trans. Power Electron., vol.22, no.2, pp.535-542, Mar.2007.

[2] S.Inoue and H.Akagi, “A bidirectional dc-dc converter for an energy storage system with galvanic isolation,” IEEE Trans. Power Electron., vol.22, no.6, pp.2299-2306, Nov. 2007.

[3] 井上重徳、赤木泰文、「次世代 3.3kV/6.6kV 電力変換システムのコア回路としての双方向絶縁形 DC/DC コンバータ」、電学論 D、126 巻 3 号、211-217 頁、(2006)

[4] 井上重徳、赤木泰文、「双方向絶縁形 DC/DC コンバータの動作電圧と損失解析」、電学論 D、127 巻 2 号、189-197 頁、(2007)

[5] Yasuhito Furukawa, Kouichi Morita, and Taketoshi Yoshikawa, "A High Efficiency 150W DC/DC Converter", Proceedings of IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC 1994), pp.148-154

[6] 安村昌之、豊田準一、小倉伸郎、高濱昌信、「民生機器用電流共振形 DC/DC コンバータ」、電子情報通信学会、信学技報、PE93-69、(1994)

[7] R. W. De Doncker, D. M. Divan, and M. H. Kheraluwala, “A three-phase soft-switched high-power density dc–dc converter for high-power applications,”, IEEE Trans. Ind. Appl., vol.27, no.1, pp.63–73, Jan./Feb.1991.

[8] M. H. Kheraluwala, R. W. Gascoigne, and D. M. Divan, “Performance characterization of a high-power dual active bridge dc-to-dc converter”, IEEE Trans. Ind. Appl., vol.28, no.6, pp.1294–1301, Nov./Dec.1992.

以上