ハーフブリッジ形イミタンス変換器

正員 入江 寿一* 学生員 高山 長之*

Half-Bridge Type Immittance Converter

Hisaichi Irie*, Member, Nobuyuki Takayama*, Student Member

The immittance converter has the input impedance that is proportional to the admittance of the load connected across output terminals. Therefore, in this converter, the output current is proportional to the input voltage and the input current is proportional to the output voltage. Consequently, it converts a constant voltage source into a constant current source and a constant current source into a constant voltage source.

In this paper, we propose a new type immittance converter, named half-bridge type immittance converter, consists of a tapped transformer and a pair of L, C. The new immittance converter is developed from the hybrid type immittance converter, and has almost same characteristics of that.

キーワード：定電流源，イミタンス変換器，特性インピーダンス

Keywords: constant current source, immittance converter, characteristic impedance

1. まえがき

共振形イミタンス変換器は，リアクトル L とキャパシタ C の集中定数受動素子のみで構成することができ，イミタンス変換特性によって，電圧源を電流源へ，電流源を電圧源へと容易に変換することができる。共振形イミタンス変換器は，その共振周波数でのみイミタンス変換特性を示すので，インバータなどスイッチングモードの電力変換器の高周波リンクに挿入して使用すると好都合である。

イミタンス変換器の電力変換特性に注目した最初の文献は 1988 年に現れている⁽¹⁾。イミタンス変換器を独立した電力変換器としての取り扱ったのは，1996 年の発表が最初と思われる⁽²⁾。ここで 5 形式のイミタンス変換器の回路が示されている。そのうちで，LC のブリッジで構成されるハイブリッド形イミタンス変換器⁽⁴⁾は，特に高い効率と平坦な周波数特性を持っているが，共振用の L ， C がそれぞれ 2 個ずつ必要であった。ここで提案するハーフブリッジ形イミタンス変換器は，ハイブリッド形の片側とセンタタップトランスを用いて構成するものである。ハイブリッド形と同様に，高い効率と平坦な周波数特性を持ちながら，共振用の L ， C は最少の 1 個ずつで実現できる。

本文では，ハーフブリッジ形イミタンス変換器とハイブリッド形イミタンス変換器のパラメータとの関連を示し，両者は同じ特性持っていることを示す。

2. ハイブリッド形イミタンス変換器

入力に巻線比 $a:1$ のトランスを持つハイブリッド形イミタンス変換器を図 1 に示す。理想変圧器の場合，入力 1-1' 端子と出力 2-2' 端子間の入出力関係は， L ， C の共振角周波数 $\omega_r = 1/\sqrt{CL}$ が電源の角周波数 ω に等しいとき，

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j\frac{a}{2Q} & jaZ_0 \\ j\frac{1}{aZ_0} & j\frac{1}{2aQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

ただし， $Z_0 = \sqrt{L/C}$ ：特性インピーダンス
 $Q:L$ の Q

となる。 Q が大きいとき四端子定数の $A = D = 0$ となるのがイミタンス変換器の特徴で，上式より入出力の関係は次式のようにになる。

図 1 ハイブリッド形イミタンス変換器

Fig. 1. Hybrid immittance converter with transformer.

* 大阪電気通信大学
〒572-8530 寝屋川市初町 18-8
Osaka Electro-Communication University
18-8, Hatsu-cho, Neyagawa 572-8530

図2 オートトランスでN点を固定

Fig. 2. Voltage of N is fixed by an auto transformer.

図3 ハーフブリッジ形イミタンス変換器

Fig. 3. Half-bridge type impedance converter.

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_2 &= -j\frac{1}{aZ_0}\dot{V}_1 - \frac{1}{2QZ_0}\dot{V}_2 \approx -j\frac{\dot{V}_1}{aZ_0} \\ \dot{V}_2 &= -jaZ_0\dot{I}_1 - \frac{Z_0}{2Q}\dot{I}_2 \approx -jaZ_0\dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

Q が大きければ出力電流 I_2 は入力電圧 V_1 によってきまり、ほとんど V_2 の影響を受けないので、定電圧源が定電流源に変換できる。また、定電流源は定電圧源に変換できる。

効率は、 V_2/V_1 の関数で表すと次式となる。

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{1}{Q} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{V_1}{aV_2}} - \sqrt{\frac{aV_2}{V_1}} \right)^2 \right\}} \dots\dots\dots (3)$$

効率は、 V_1/V_2 がトランスの巻き線比に等しいとき、すなわち負荷インピーダンスが特性インピーダンスに等しいときに最大となり、理想変圧器で $Q = 100$ ならば $\eta = 99\%$ となる。

3. ハーフブリッジ形イミタンス変換器

図1で $a = 1$ のとき、負荷を $Z_2/2$ ずつに分けて考えると、その中点Nに対して回路は対称となっているので、中点の電圧は常に $V_1/2$ である。したがって、N点の電圧を $V_1/2$ に保つならば、図2のように負荷 $Z_2/2$ に対して片方のLC回路で同じ電流 I_2 が供給される。

図3のように、トランスの中点タップをNとしたハーフブリッジ形イミタンス変換器を提案する。図1～図3の回路パラメータの関係は次のようになる。

$$\begin{aligned} Z_2 &= Z_2'/2, \quad \dot{V}_1 = \dot{V}_1', \quad \dot{V}_2 = \dot{V}_2'/2, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_1'/2, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_2' \\ &\dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

ただし、図1中の $\dot{Z}_2, \dot{V}_1, \dots$ 等は $\dot{Z}_2', \dot{V}_1', \dots$ 等で表した。その結果、トランスの巻き数比を $a : 1 : 1$ とし、特性インピーダンスを

$$Z_0 = \sqrt{L/C}/2 \dots\dots\dots (5)$$

 図4 変換特性 ($f = 14.7 \text{ kHz}$)

 Fig. 4. Conversion characteristics ($f = 14.7 \text{ kHz}$).

とすれば、ハーフブリッジ形イミタンス変換器の特性は(1)～(3)式で表され、ハイブリッド形イミタンス変換器と全く同じ特性を持っていることになる。

定電圧入力の実験例を図4に示す。 $Q' = 59$ はトランスの直列インピーダンスを含めた $Q^{(5)}$ で、計算値はこれによる。定電流出力となるので出力は V_2 に比例し、 V_2 が V_1 の0～3倍の負荷変化に対して出力電流変動率は2.56%、最高効率は V_2 が V_1 にほぼ等しい $V_2 = 33 \text{ V}$ のとき98.2%となった。

4. むすび

ハーフブリッジ形イミタンス変換器は、センタタップトランスと L, C がそれぞれ一個ずつで実現できるので、共振周波数の調整が容易である。入出力特性はハイブリッド形イミタンス変換器と同じで効率がよく、負荷変動が小さい。
(平成18年2月8日受付)

文 献

- (1) H. Seidel: "A High Power Factor Tuned Class D Converter", PESC'88, pp.1038-1042 (1988)
- (2) H. Yamana and H. Irie: "Impedance Converter in a Switching Mode Power Converter", National Convention Record of IEE Japan, No.817 (1996) (in Japanese)
山名晴久・入江寿一:「イミタンス変換器を使用した電力変換装置」, 平8 電学全大, No.817 (1996)
- (3) H. Irie and H. Yamana: "Impedance Converter Suitable for Power Electronics", IEEJ Trans. IA, Vol.117, No.8, pp.962-969 (1997-8); Electrical Engineering in Japan, 124-2, pp.53-62 (1998) (in Japanese)
入江寿一・山名晴久:「パワーエレクトロニクスに適するイミタンス変換器」, 電学論 D, 117, 8, pp.962-969 (1997-8)
- (4) H. Irie and Y. Kawabata: "Hybrid Type Impedance Converter", IEEJ Trans. IA, Vol.121, No.1, pp.119-124 (2001-1); Electrical Engineering in Japan, 138-3, pp.80-86 (2002) (in Japanese)
入江寿一・川端祐一:「ハイブリッド形イミタンス変換器」, 電学論 D, 121, 1, pp.119-124 (2001-1)
- (5) N. Takayama and H. Irie: "Half-Bridge Type Impedance Converter", Proc. of the 2004 Japan IAS Conference, 1-133, pp.1/581-586 (2004) (in Japanese)
高山長之・入江寿一:「ハーフブリッジ形イミタンス変換器」, 電学産業応用部門大会, 1-133, pp.1/581-586 (2004)