

## 3.2 推导 IM 变换器的新方法

### 一. Ed.Bloom 提出的 IM 变换器的推导方法

在众多的相关文献中,很少提供导出 IM 变换器的方法,只有 Ed.Bloom 等人以正激变换器为例给出了 DM 变换器到 IM 变换器的推导方法<sup>[15]</sup>。

可以看出,Ed.Bloom 提出的推导 IM 变换器的过程可分为四步:

- ① 分析 DM 变换器中磁件的磁通,建立相互关系,以便于集成;
- ② 画出 IM 在各个时段的磁路结构;
- ③ 加入开关器件,整合各个时段的磁路结构,完成整个变换器的连接;
- ④ 运用磁件变换方法变换得到多种 IM,相应得到多种 IM 变换器。

这个方法应用起来并不方便:

- ① 步骤较多,不够简便、直接;
- ② 需要分析具体电路中磁件的磁通关系;
- ③ 各个时段磁路结构的整合有一定难度。

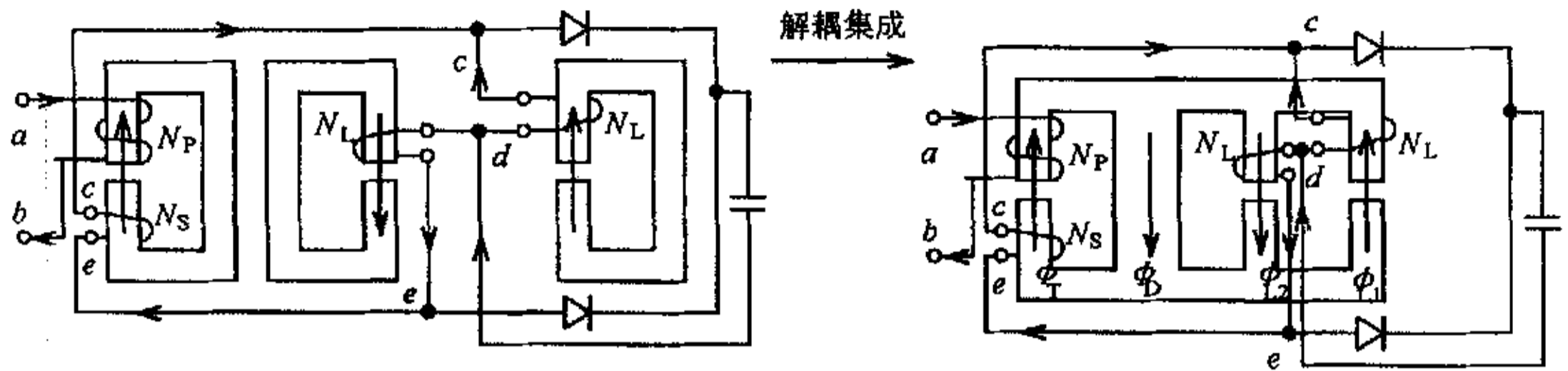
为能更方便的导出 IM 变换器,本文提出一种新的推导方法。

### 二. 新的 IM 变换器的推导方法

由前述可知,Ed.Bloom 提出的 IM 变换器的推导方法是从分析磁件之间一般的磁通关系(即  $\phi_T$ 、 $\phi_L$ 、 $\phi_0$  的关系)入手来导出 IM 变换器,本文提出的方法则从最简单、最特殊的情况——磁件之间磁通解耦入手:① 先用低磁阻磁路的解耦集成方法得到 IM 及相应的 IM 变换器;② 对①中所得的磁件进行变换,得到多种磁集成方案。下面以变换过程相对复杂的 CDR 电路为例说明推导 IM 电路的过程。

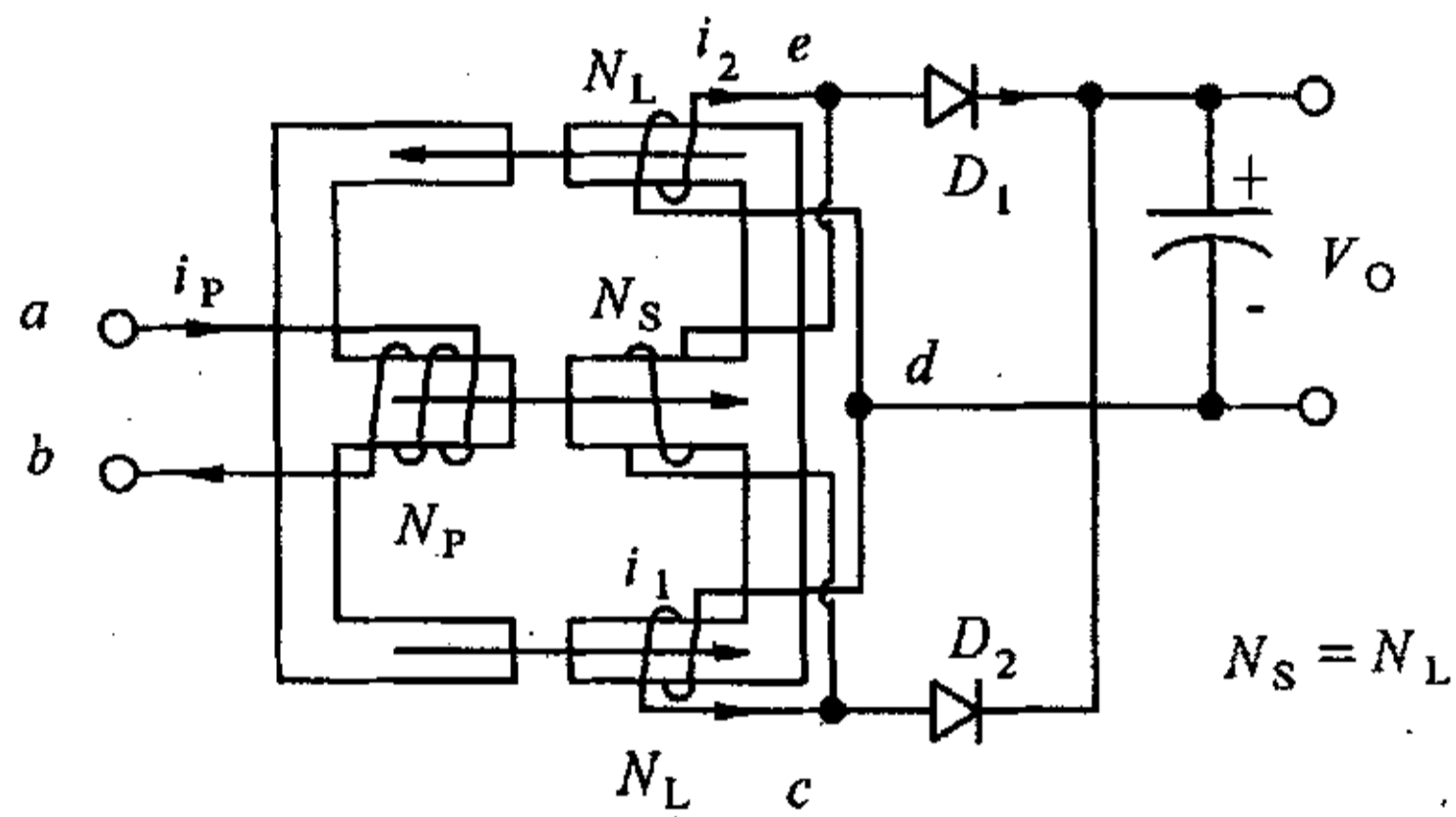
本章将讨论如何运用新的 IM 电路的推导方法,由 DM-CDR 电路(图 3-2(a))变换得到最早提出的 IM-CDR 电路(图 3-2(c))。如图 3-4 所示,首先,用解耦集成方法 1 将图 3-2 中(a)所示的 DM 电路变换得到(b)图。这一步实际是进行 DM 的磁路合并,不会改变原来的电路连接,非常简便直接。如图 3-2(b)所示,令变压器绕组、电感绕组匝链的磁通分别为  $\phi_T$ 、 $\phi_{L1}$ 、 $\phi_{L2}$ ,公用磁柱的磁通为  $\phi_0$ ,变压器原副边匝数为  $N_P$ 、 $N_S$ ,电感绕组匝数为  $N_L$ 。

一般而言，集成三个独立的 DM 需要图 3—2(b)所示的四柱磁芯，以使交变磁通闭合，保证磁通的连续性。但在 CDR 电路中，变压器副边的绕组电压等于加在两电感绕组的电压之和，所以变压器和两个电感的磁通并非相互独立。下面研究  $\phi_T$ 、 $\phi_{L1}$ 、 $\phi_{L2}$  以及  $\phi_D$  之间的关系。



(a) DM-CDR 电路

(b) DM-CDR 电路解耦集成得到的 IM 电路



(c) 将图(b)中 IM 的磁芯结构简化得到的 IM 电路

图 3—2 用新的 IM 电路的推导方法导出 IM-CDR 电路

令  $c$ 、 $e$  两点间的电压为  $v_{ce}$ ，根据电磁感应定律和图 3—2 中所示的正方向，有：

$$v_{ce} = N_s \cdot \frac{d\phi_T}{dt} = N_s \cdot \dot{\phi}_T \quad (3-1)$$

$$v_{ce} = N_L \cdot \left( \frac{d\phi_{L2}}{dt} - \frac{d\phi_{L1}}{dt} \right) = N_L \cdot (\dot{\phi}_{L2} - \dot{\phi}_{L1}) \quad (3-2)$$

$$\frac{d\phi_d}{dt} = \dot{\phi}_d = \dot{\phi}_T + \dot{\phi}_{L1} - \dot{\phi}_{L2} \quad (3-3)$$

根据式(3—1)、(3—2)可知，当  $N_L = N_S$  时，有：

$$\dot{\phi}_T = \dot{\phi}_{L2} - \dot{\phi}_{L2} \quad (3-4)$$

将上式代入(3-3)有:  $\dot{\phi}_d = 0$  (3-5)

式(3-5)说明当  $N_L = N_S$ , 图 3-2(b)中 IM 的公用磁柱内只有直流磁通。由于外部电路对磁件的约束条件是绕组电压, 所以磁件中固定不变的是各个绕组匝链的交变磁通, 直流磁通可以随着磁路、激励相应变化, 因此可以去掉公用磁柱, 用三磁柱的磁芯实现倍流整流电路中的三个磁件的集成, 得到图 3-2(c)。这里需要说明两点: ① 图 3-2(b)中的 IM 虽然是用解耦的特殊方法得到的, 但是在分析中完全按一般的 IM 来对待, 所以结论不受解耦集成的限制; ② 图 3-2(b)并不是解耦集成的唯一结果, 如果绕组的连接不能保证公用磁柱内没有交变磁通, 就不能简化磁芯结构。

### 3.3 磁件等效电路的通用模型

研究 IM 变换器, 通常要推导 IM 的等效电路, 一方面用来与 DM 变换器作比较, 另一方面, 还可从中提取 IM 制作时用于外部测量的等效电感参数。但是磁件等效电路的推导比较繁琐, 能否得出磁件等效电路的通用模型而省去推导过程呢?

为了得出磁件等效电路的通用模型应给出磁件的通用模型。假设磁件采用的磁芯为图 3-3(a)所示的  $n$  柱磁芯, 按照磁件的磁柱不同对磁件进行划分, 可得到磁件的通用模型, 如图 3-3(a)所示, 磁件变为  $n$  个组成相同的基本单元的并联, 每个基本单元都包括部分磁芯、绕组和绕组匝链的磁通。这样, 对磁件各个单元进行变换连接就可以得到磁件等效电路的通用模型。

为便于分析, 先假定磁件每个磁柱上都有 1 个绕组, 令不同磁柱的磁通为  $\phi_i$ 、各磁柱上的绕组为  $a_i b_i$ 、各绕组匝数为  $N_i$ 、绕组电流为  $i_i$  (其  $i=1, \dots, n$ ), 如图 3-3(a)所示。下面给出推导图 3-3(a)磁件等效电路的详细过程:

① 建立磁件等效磁路。应用磁路欧姆定律建立图 3-3(a)中各基本单元的等效磁路, 就得到等效磁路的基本单元, 将磁路的基本单元并联就得到