

IM 的应用电路较多,主要有 IM 正激变换器、IM 推挽变换器、多种 IM-CDR 电路以及 IM-Boost 单级功率因数校正电路^[7,12]。

② IM 的变换方法

在电感与变压器集成的应用中,经常要变换得到多种 IM,IM 的变换方法主要有 3 种:

- (1) 用源转移等效变换方法拆分绕组;
- (2) 根据具体电路进行绕组合并;
- (3) 改变 IM 的绕组连接方式,实际上是改变绕组同名端,从而改变磁通的耦合方式。

③ IM 的选取

IM 的选取应根据具体应用场合,比较不同 IM 对变换器性能主要是电流脉动的影响以及对磁芯各部分磁通的影响,从而选择最利于改善变换器性能的 IM。比较中需要注意:既要考虑磁件的不同绕组连接方式对性能的影响,还应考虑不同的气隙设计对性能的影响;由于是电感与变压器集成,还要考虑磁件绕组间漏感的影响。

二. 应用于非隔离型变换器

这一类集成磁件实际上是耦合电感,考虑其实现了滤波和调压的作用,将其并入电感与变压器集成这类。目前,被广泛应用于+12V 输入的 VRM 变换器。

将耦合电感应用于 12V 供电的 VRM 变换器,来提高电路稳态工作的占空比,能明显改善变换器的性能:① 提高变换器的动态特性;② 减小电感电流脉动;③ 减小变换器开关管的开关损耗、导通损耗。

当然,采用耦合电感调整输入输出关系也会带来新的问题,如果电感耦合不好,会在开关管关断时产生较大的电压尖峰。

2.4 一类特殊的磁集成方法——解耦集成

通过对线圈和磁芯的合理安排,使两个分立磁件在集成后互相不产生耦合作用,这样,两个磁件就不会相互影响,从而达到磁集成的目的。下面简

单介绍两种解耦磁集成的方法。

方法 1: 通过提供低磁阻磁路实现解耦^[13]

图 2—5 说明如何运用这种方法实现两个电感的解耦集成。图 (a) 为磁芯结构, N_1 、 N_2 为电感绕组, 分别绕在磁芯的两个侧柱上。由于磁芯中柱没有气隙, 其磁阻远远小于开关气隙的侧柱, 可近似为零。它的等效磁路如图 (b) 所示。因此, N_1 、 N_2 产生的磁通经中柱形成回路, 彼此之间基本无耦合。用类似的方法可以实现多个磁件 (包括电感、变压器) 的解耦集成。如可用于多路输出电路中 n 个输出滤波电感的集成。

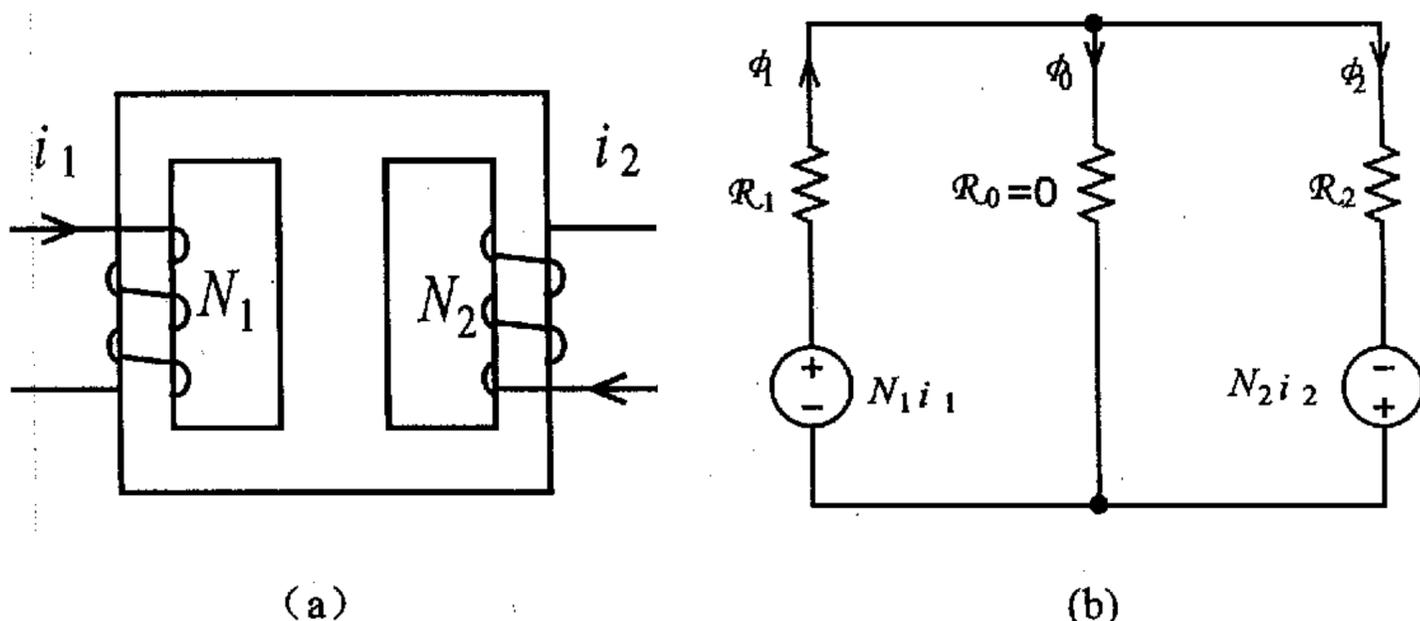


图 2—5 解耦磁集成方法 1 的磁芯结构和等效磁路

这种集成方法基本不影响电路性能, 但不同的集成方式会影响公共磁柱的磁通。按照图 2—5(a) 中的电流方向和绕组绕向, N_1 、 N_2 产生的直流磁通在中柱方向相反, 互相抵消, 有利于减小磁芯体积。

方法 2: 通过完全抵消绕组间的耦合作用来解耦^[14]

图 2—6 说明如何运用这种方法实现两个电感的解耦集成。图中, 电感 L_A 绕在磁芯中柱, 匝数为 N_1 , 流过电流为 i_1 ; 电感 L_B 由两个绕组串联绕在磁芯的两个侧柱上, 匝数分别为 N_{21} 、 N_{22} , 流过电流为 i_2 。图 (a) 的等效磁路如图 (b) 所示。 \mathfrak{R}_1 、 \mathfrak{R}_{21} 、 \mathfrak{R}_{22} 分别为磁柱磁阻, $N_1 i_1$ 、 $N_{21} i_2$ 、 $N_{22} i_2$ 为磁动势, ϕ 为磁通。按照图中的连接方式, 电感 L_A 产生的磁通在磁芯左柱与 N_{21} 产生的磁通方向相反, 而在右柱与 N_{22} 的方向相同, 电感 L_B 的两个绕组在中柱产生的磁通方向相反。如果能完全抵消两个电感间的磁通耦合, 就实现了两电感的解耦集成。

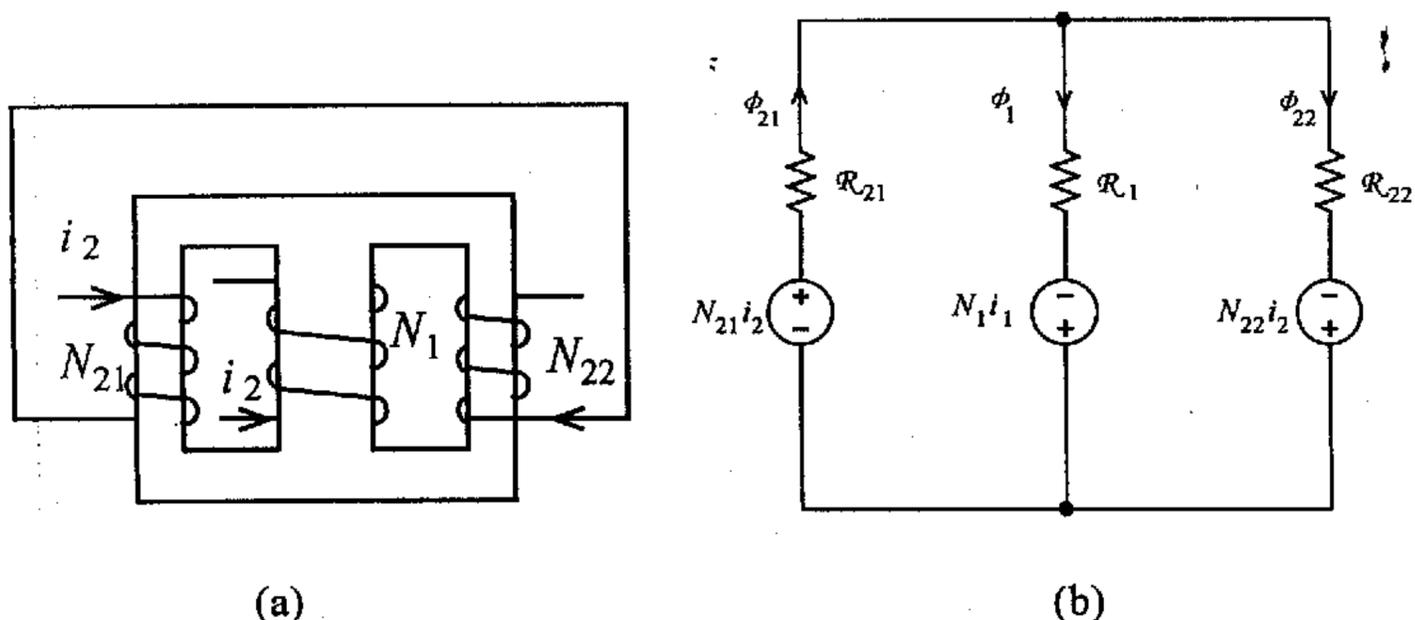


图 2—6 解耦磁集成方法 2 的磁芯结构和等效磁路

下面具体分析解耦的条件。如图 2—6 所示，令磁芯三个磁柱的磁阻（包含磁芯与气隙磁阻）分别为 \mathfrak{R}_1 、 \mathfrak{R}_{21} 、 \mathfrak{R}_{22} ，根据图中所示的电流方向和磁件等效磁路可得出当电感 L_A 流过电流 i_1 时在电感 L_B 中产生的磁链 ϕ_{12} 为：

$$\phi_{12} = \frac{N_1 \cdot i_2 \cdot (\mathfrak{R}_{22} // \mathfrak{R}_{21})}{\mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_{21} // \mathfrak{R}_{22}} \cdot \left(\frac{N_{22}}{\mathfrak{R}_{22}} - \frac{N_{21}}{\mathfrak{R}_{21}} \right) \quad (2-9)$$

同样可得出电感 L_B 流过电流 i_2 时在电感 L_A 中产生的磁链 ϕ_{21} 为：

$$\phi_{21} = \frac{i_2 \cdot (N_{21} \cdot \mathfrak{R}_{22} - N_{22} \mathfrak{R}_{21})}{\mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{21} + \mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{22} + \mathfrak{R}_{21} \cdot \mathfrak{R}_{22}} \quad (2-10)$$

根据式(2—9)、(2—10)可得解耦集成的条件为：

$$\frac{\mathfrak{R}_{21}}{\mathfrak{R}_{22}} = \frac{N_{21}}{N_{22}} \quad (2-11)$$

由(2—11)可知要完全抵消耦合作用，磁柱磁阻比值应与电感两个绕组的匝比相同。对于通常用的对称结构磁芯，一般取 $N_{21} = N_{22}$ ， $\mathfrak{R}_{21} = \mathfrak{R}_{22}$ ，这就是文献^[7]提出的方法。

令三磁柱的导磁面积分别为 A_1 、 A_{21} 、 A_{22} ，则满足解耦条件时，三磁柱的磁通密度 B_1 、 B_{21} 、 B_{22} 分别为：

$$B_1 = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot (\mathfrak{R}_{21} + \mathfrak{R}_{22})}{(\mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{21} + \mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{22} + \mathfrak{R}_{21} \cdot \mathfrak{R}_{22}) \cdot A_1} \quad (2-12)$$

$$B_{21} = \frac{i_2 \cdot (N_{21} + N_{22})}{A_{21} \cdot (\mathfrak{R}_{21} + \mathfrak{R}_{22})} - \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot \mathfrak{R}_{22}}{(\mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{21} + \mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{22} + \mathfrak{R}_{21} \cdot \mathfrak{R}_{22}) \cdot A_{21}} \quad (2-13)$$

$$B_{22} = \frac{i_2 \cdot (N_{21} + N_{22})}{A_{22} \cdot (\mathfrak{R}_{21} + \mathfrak{R}_{22})} + \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot \mathfrak{R}_{21}}{(\mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{21} + \mathfrak{R}_1 \cdot \mathfrak{R}_{22} + \mathfrak{R}_{21} \cdot \mathfrak{R}_{22}) \cdot A_{22}} \quad (2-14)$$

对于对称结构的磁芯一般有 $A_{21}=A_{22}$, $\mathfrak{R}_{21}=\mathfrak{R}_{22}$, 由式(2-13)、(2-14)可知, 由于中柱绕组的作用会使两侧柱磁芯的最大磁密有较大的差别, 使磁芯的利用率降低。对此, 可以通过调整 A_{21} 、 A_{22} 来改进: 增大磁密大的磁柱的导磁面积, 减小磁密小的磁柱的导磁面积, 比如可将 N_{22} 移到磁芯中柱, 将电感 L_A 移到磁芯右柱。改变导磁面积会影响磁阻间的关系, 相应也要调整 N_{21} 与 N_{22} 的匝比关系。

根据相同的原理, 该解耦集成法可用于电感与变压器、变压器与变压器的集成^[11]。

两种解耦集成方法的比较

- ① 方法 1 通常需要给有绕组的磁柱加入气隙以增加其磁阻。用于变压器与变压器的集成时, 会减小变压器的磁化电感。
- ② 方法 2 存在磁芯磁通分布不均匀的问题。
- ③ 方法 2 需要拆分绕组, 可能会增加变压器的漏感。此外, 当要求绕组有中心抽头时, 不能直接从两串联绕组间得到中点。
- ④ 方法 1 可以方便的推广到多个磁件的解耦集成, 而方法 2 不适合。

2.5 本章小结

介绍了磁件电路模型的建立方法——磁路—电路对偶变换法; 还介绍了磁路等效变换的方法——源转移等效变换法。分析了电感与电感、变压器与变压器的集成方法以及另外一种特殊的集成方法——解耦集成法。