R型变压器潜力探讨与若干问题的分析

1、R型铁心变压器目前现状

R型铁心变压器在国内发展已近20个年头，除了音响、仪表等设备利用其漏磁小、振动低、噪音小、高度矮外，并未在电源界引起多大的响应。似乎普遍认为（1）其尺寸重量体积并不小。（2）需要专用的绕线机。（3）与CD型铁心变压器相比品种不够多。（4）安装不够牢靠；引出线方式不令人满意；不好端封，防潮性能难以保证。（5）最致命的缺点是合闸电流大，易烧保险丝。近年来R型铁心变压器的价格已几乎与CD型铁心变压器相近，但因上述原因，似乎R型铁心变压器还是难有大的发展。

笔者认为并非如此，而是大有潜力。

2、R型铁心变压器的造型优势

人们都说R型铁心变压器省铜，实际上它有一个理论值；“ 目前 ”CD型铁心变压器可以说从电、磁性能和工艺方面是最好的，因而我们就选CD型铁心变压器作为比较对象；假定铁心截面都为1个单位，钢带厚度、涂层和占空系数均相同，如图1：

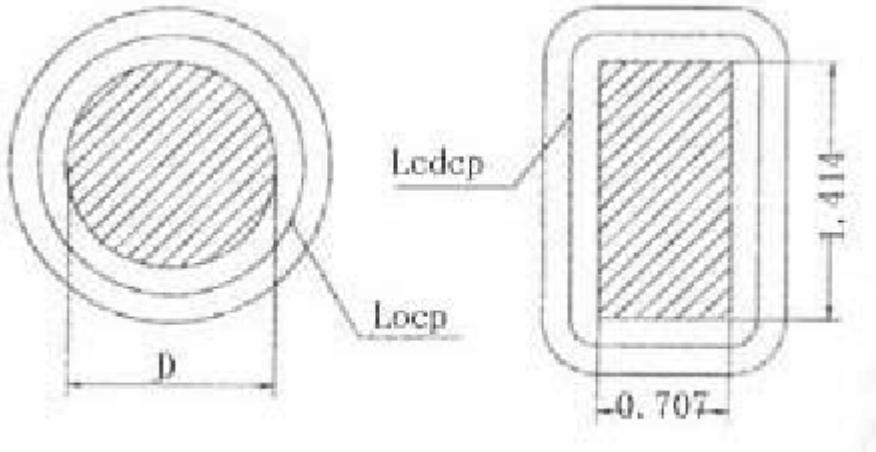


图1 R型与CD型铁心变压器线圈平均周长比较

R型铁心变压器铁心截面积：

$$S=\frac{\pi}{4}D^2=1$$

其中D为铁心柱直径，则

$$D=\sqrt{\frac{4}{\pi}}1.13$$

比较时对R型铁心不应扬长避短，还应考虑R型铁心截面的真圆度（见《国际电子变压器》2001.11“ 真圆度与R型铁心变压器有效截面的工程计算 ”），26种（已不算少）铁心的真圆度为0.946—0.981，那么

$$D_{max}=\frac{1.13}{0.946}=1.1945$$

$$D_{min}=\frac{1.13}{0.981}=1.15188$$

CD型铁心变压器铁心截面积：

S=a×b=0.707×1.414=1

其中：a为CD型铁心柱宽度

b为CD型铁心柱厚度

我们再假定铁心的窗孔均为1.2a，窗孔高度相同，都是双线包，窗孔绕满，绕组数据相同，则每一匝的平均周长就代表整个绕组长度的比例。

R型铁心变压器绕组平均周长为：

$$L_{cpmax}=\pi\times D_{max}=\pi\times\ （1.1945+0.707\times0.6）=5.0827$$

$$L_{cp}\min=\pi\times D_{min}=\pi\times(1.15188+0.707\times0.6)=4.94889$$

CD型铁心变压器绕组平均周长为：

$$Lcdcp=2(a+b)+2\pi\times0.3\times a=2(0.707+1.414)+2\pi\times0.3\times0.707=5.573988$$

若以CD型铁心变压器为基数，将两者周长相比较：

$$\frac{Locp\ max}{Lcdcp}=\frac{5.0827}{5.573988}=0.91187$$

$$\frac{Locp\ min}{Lcdcp}=\frac{4.94889}{5.573988}=0.88785$$

在10.88—11.12%之间

3、R型铁心变压器的磁性能优势

变压器设计要考虑许多因素，如从经济角度需考虑价格、体积、重量，从技术指标角度需考虑电压调整率、温升、效率以及各项技术指标等。而在多数情况下，我们共同考虑的温升不要超过多少度，而温升又决定铁损和铜损，R型铁心为卷绕而成，没有气隙，在Pc/kg值相同，均为1W/kg的条件下，与CD型铁心相比，磁通密度B高60%（50Hz、现有R型铁心材质为Z8H—0.2，CD型铁心材质为DQ151—0.35）－10%（400Hz、参考环型铁心数据），我们暂且按10%，这意味着匝数不可减少近10%，或者说又可省铜近10%，或在铜损等于铁损的条件下整个变压器可节能近5%；这还意味着对体积、重量、电压调整率等一连串方面都有好处，这将是一种良性循环。如果以B值相同，均为1.7T（特拉斯）作为比较条件，Pc/kg值可减少63%（50Hz）－21%（400Hz），这意味变压器铁心温升很低，也有助线圈散热，在400Hz的情况下，更有利于铁心B值取高，同样也将是一种良性循环。当然有人对以上诸多好处都不感兴趣，而认为在现有情况下合闸时就易烧保险丝，怎么能再提高磁通密度B值呢？对此只能另当别论。

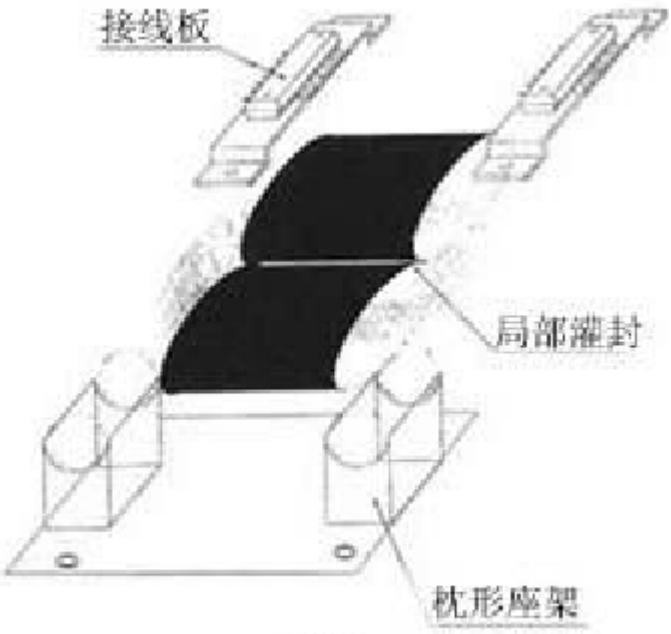


图 2

4、合闸电流、铁心间隙及其保险丝的取值

4.1 *Br*是合闸电流大的根源

凡是有铁心的元件，包括电动机、变压器，合闸时都会出现大电流，经验告诉我们电动机的启动电流会达到额定电流的5—10倍。

由于铁磁性物质的磁滞效应，关断电源后铁心中存在剩磁*Br*，*Br*参数在工作于B—H曲线单一相限的脉冲变压器或开关电源变压器设计时直接关系到增量磁通密度△B的取值，不可忽视；而在工频、中频、高频变压器中因为其工作于正弦波、无直流磁化都未予考虑，国内外标准对*Br*值都没有提出具体要求。

鉴于电源变压器设计时需追求体积小、重量轻和经济性等综合指标，虽然CD型铁心在1.0—1.3T以上已逐渐进入饱和，R型铁心在较高B值进入饱和，但在50Hz的情况下其B值都已取到了1.6T—1.7T，空载时已达到1.7—1.8T，若电网波动+10%，B值已高达1.98T，此时铁心处于极度饮和状态，磁化电流会很大。

合闸瞬间由于交流电压幅值的不确定性和存在剩磁（即使不考虑电网波动），

多数情况都会因为瞬间的阶跃电压迫使变压器的铁心处于极度饱和状态（B—H曲线的斜率已趋向于0），严重时甚至超过取向硅钢磁通密度的理论值2.03T，此时只有空心电感和内阻在起作用，有数据记载此时的磁化电流将可能达到正常磁化电流的100倍。因此变压器的合闸电流当然会很大。

4.2 铁心用于工频变压器弊多利少

早期涉及R型铁心变压器的设计人员一开始就发现其易烧保险丝，回过头来又觉得还是有切口的CD型铁心变压器比较好。实际上，根据电子工业部标准103—77，在其对单相变压器铁心尺寸精度参数规定中可以查到28种CD型铁心端面间的间隙由小到大分为三档，分别为不得超过0.03、0.05和0.075毫米。“ 不得超过 ”意味着间隙越小越好，还意味着最好不切开，但迫于绕制线圈不便，切开铁心也是不得已而为之。

据1970年10月上海无线电27厂编写的《脉冲变压器设计》一书，其提供了小气隙取向硅钢铁心数据，如表1。

表1

τ_Z/τ_C	0.00000	0.0001	0.00015	0.0002	0.0003
B_r（T）	0.726	0.41	0.31	0.24	0.165

表中τZ/τC为取向硅钢带绕铁心气隙长度与磁路长度之比从表中我们可看到铁心添加小气隙会使*Br*参数降低不少，有利于减少合闸电流；但这与CD型铁心端面的间隙由小到大分为三档，分别为不得超过多少毫米是两个概念，前者为均匀一致、可测量、可校正的气隙；后者属于加工造成的间隙不平度、不一致性的允许范围，从表中我们还可以看到其端面加工得越好剩磁*Br*值反而越大，事与愿违；不平度、不一致性会造成变压器的电气参数较大范围的差异和不确定性，

严重的还会影响产品的等级；譬如说：铁损、磁化电流、空载电流、磁通密度B的取值应按最大间隙计算，而合闸电流大又必须按0间隙设置保险丝，无意间降低了CD型铁心变压器的品质和档次（经常出现在产品出厂时、或出厂后还在把保险丝的取值改大很可能就与CD型铁心端面间的间隙参差不齐有关）；同时也是一种资源的未充分利用。

退一步讲R型铁心变压器即使因为无间隙、*Bf*值较高合闸电流较大，好在这个大电流持续时间很短，在50周情况下，最多持续1/4—1/2周期，也就是5—10毫秒，一般情况下，5—10毫秒后铁心便进入稳定状态，因为电子变压器体积较小，分布参数也很小，不可能与电源频率发生谐振，即使发生振荡因为有内阻存在便会在几个周波内被阻尼，能量靠积累才会发热，实践证明，即便是数毫秒之内的20—25倍的负载短路电流，甚至200微秒之内的上百倍额定电流，都未出现过绕组绝缘和铜线本身受伤害的先例。而CD型铁心变压器的合闸电流即使小，其产生的负作用是将铁心的B值最少往下拉10%，这时要保证变压器初级的感应电势不变就需要相应增加匝数，由此我们可以看出若以增加气隙来减少合闸电流必须以牺牲磁通密度B和增加匝数以及增加正常工作时的磁化电流为代价（一些实例看到的由原来烧保险丝变成后来的不烧了，有“ 可能 ”是因为匝数增加10%，内阻也将增加10%，空心电感将增加20%，使原来处于临界的保险丝容量无形中增加了10—20%以上的保险）。

4.3 保险丝取值及变压器保护

变压器需要保护，其中过流保护又可细分为短路保护和过载保护：众所周短保险丝只能起到短路保护作用：但不少人在确定变压器初级的保险丝值时显得非常谨慎，只取额定电流的2倍率，测试或运行中烧了保险丝就认为电路不正常或

元、器件或变压器有问题，其实取额定电流的2倍率并不是标准，究竟取多大应根据实际情况确定。本人大体查了一下12寸黑白电视机保险丝容量是额定工作电流的3.15倍；18寸彩色电视机（开关电源）为6.75倍（属于容性负载）；标称200w的个人计算机电源保险丝为3A（3.3倍）；940W窗式空调（属于电机）想串一个保险丝进行双重保险，结果正常启动和运行时10A容量会经常烧断，15A马马虎虎（3.7倍）；准方波UPS为3.3倍，可控硅充电机为3.4倍。这说明作为电抗性负载前取2倍率额定电流的保险丝在成熟的产品中已难以见到。

现在一般在变压器初级只加一只数倍额定电流的保险丝作为保护，这是因为电子变压器属于专用元件，不可随意替代，合理的设计和使用以及本身的长寿命决定了其保护措施简单；还因为变压器本身过载能力较强，可以经得起短时间过载，不会轻易受损伤，根据电力变压器标准规定变压器应能经受25倍额定电流的冲击。另一方面，负载电路的许多元、器件热惯性往往比变压器小得多，承受过载能力还不如变压器，应各自采取措施自保，并且不要殃及其他。对于多绕组变压器应明确要求使用者对各绕组均需“限能”使用，否则次级某一路短路，加在初级的保险丝并不能起到短路保护作用；各绕组的用电部分应采取相应的保护措施杜绝变压器长时间过载。

有人会说：如此讲变压器初级就无法采取过载保护措施了？我们认为许多文章介绍的“断路器及其他过流保护交、直流开关装置适宜作过载保护。过流动力作用的自动空气断路器的动作时间约为50—500毫秒，而可控硅交流开关控制极封锁动作时间可不大于20毫秒；还有后来以及近年来出现的各种类型限制工作范围的过流保护电路和模块等。”我们也试过，其只适用于一般负载，而对电抗性负载仍不适用，问题就出在变压器的额定电流、合闸电流和负载短路反射到初级

的电流跨度较大（1:5—10:20—25），兼顾了过载保护就往往会出现电器无法启动。兼顾了合闸电流，就必须加大保护器的规格，从而也就失去了过载保护的意义。故，要想在这种情况下进行过载保护，只有采用能超越如此大电流跨度的温度保护器；如：正温度系数（PTC）的热敏电阻保险丝、温度继电器、温度开关、温度检测保护电路等。大家都知道绝缘等级和“ 8度定律 ”，温升决定变压器的寿命，唯有控制温升方可控制变压器的过载，除此之外没有其他办法。

既然变压器初级的保险丝只起到短路保护作用，其容量又何不可增加一点呢？鉴于变压器属于电网的感性负载，因体积、重量和经济性等，B值都取到1.6—1.7T（50Hz），不管CD型铁心还是R型铁心变压器都会出现瞬间极度饱和现象，根据经验和试验，保险丝可加大到额定电流的3—3.5倍左右不算过分。

5、其他

5.1 体积

按照典型计算和"目前"厂家给的数据，除去安装方式，将功率相当的R100与CD16×32×65相比较，以及将R1200与CD32×64×80相比较，结果体积相当；若发挥R型

铁心的优势其体积应小得多。

5.2 结构件

CD型铁心变压器在国内已有40年的历史了，其工艺成熟，标准件形成系列。焊片引出简洁明了，压铸件底座既稳定可靠又帮助铁心散热，端封工艺既可防潮又可稳定焊片。而中小型R型铁心变压器安装时靠底板伸出的舌片那么一扭，牢靠度因人而异，而且下面靠线包支撑，不科学；引出线像一把辫子以颜色区分，不雅观、不方便、也不便于高质量漆的高温浸渍；现有骨架难以端封，防潮欠保

证；需知车载、舰载、机载设备的变压器需经过－55－+85°C的环境温度试验，2—6天的湿热试验，3—6g的振动试验，7—15g的和40—80次/分钟4000次的碰撞试验。多数从事军用变压器的设计人员都认为目前的R型铁心变压器的结构件不够理想。最近，我单位某产品接收机试验中发现晶体振荡器的频谱有较强电源高次谐波的干扰，最终查出是所用的多绕组CD型铁心变压器产生的轻微振动造成的；这使我们想起了采用R型铁心变压器；本人这次设计的R型铁心变压器尽量避免了以上诸问题，采用枕型座架，上面用压板和螺栓向下将铁心压紧，牢固可靠，线包不承受压力，并且帮助铁心散热；引出线用我单位的标准件‘ 接线板 ’置于压板之上简洁明了；无法端封只好采取局部灌封解决防潮问题，如图2。其经受了以上多种试验，从而满足了产品的性能指标。在此抛砖引玉，呈请业界同仁为不断完善R型铁心变压器共同努力（有人提出现今塑料工业已相当发达，塑料的强度和弹性已使众多的物件都采用卡、扣结构进行固定，骨架挡板若采用卡扣结构，用后拆除，端封问题便可迎刃而解）。

6、结束语

R型铁心及其绕线方式的发明，解决了环型铁心变压器多层、多绕组绕制困难以及铁心散热不好（影响B值的取高）的问题；对CD型铁心变压器而言，其解决了铁心不切割使用专用绕线机便可绕线，以及圆形截面科学性带来的种种好处；可使铁心变压器的电、磁性能上一个台阶；至于合闸电流似乎大了一些，通过以上分析，作为电子设备最前端的电源变压器瞬间合闸电流大一些并不影响后面的用电部分；易烧保险丝的问题，也只是将保险丝的值如何取得更合理而已；如果以上论证成立，R型铁心则没有什么缺点，我们希望R型铁心变压器能尽早列入国家标准并愿从事变压器设计工作的同仁能将其优点用好用足。

(全文完)

上海亿立科技发展有限公司 电话：021－22817846
上海亿立电子设备制造有限公司 电话：021－22819548
上 海 绕 线 机 厂 电话：021－56779946

传真：021－22819625