

## 为射频高功率应用选择 PCB 材料

尽管也有一些高功率的 PCB 应用与基站无关，但大部分高功率的 PCB 应用都与基站的功率放大器相关。在设计此类高功率 RF 应用时，需要做多个方面的考虑。本篇文章集中讨论的是基于 PCB 的基站功率放大器的应用，但此处讨论的基本概念也适用于其他高功率应用中。

大多数高功率 RF 应用都存在热管理问题，做好热量管理需要考虑一些基本的关系。例如与损耗的关系，当电路中输入信号功率后，损耗越高的电路会产生更高的热量；另一个是与频率相关，频率越高将产生更多的热量。另外，任何介质材料中热量的增加会引起介电材料 Dk（介电常数）的变化，即介电常数温度系数（TCDk）。随着损耗的变化导致电路温度的变化，温度的变化导致 Dk 的变化。这种由 TCDk 引起的 Dk 变化会影响 RF 电路的性能，并且可能会对系统应用造成影响。

对于热损耗关系，可以考虑多种不同材料以及对应的 PCB 特性。有时，当设计人员为 PCB 应用选择低损耗材料时，他们可能只考虑了耗散因子（Df 或损耗角正切）。Df 仅仅是材料的介质损耗，但是，电路还会有其它损耗。与射频性能相关的电路总损耗是插入损耗，插入损耗由四个损耗组成，是介质损耗、导体损耗、辐射损耗和泄漏损耗的总和。

使用 Df 为 0.002 的极低损耗材料和非常光滑铜箔的电路将具有相对较低的插入损耗。然而，如果仍使用相同的低损耗材料的相同电路，但使用粗糙度大的电解铜（ED）代替光滑铜就会导致插入损耗显著增加。

铜箔表面粗糙度将影响电路的导体损耗。需要明确的是，与损耗有关的表面粗糙度是在加工层压板时铜—介质界面处的铜箔表面粗糙度。另外，如果电路使用的介质较薄，铜箔面就会更靠近，此时铜箔表面粗糙度对插入损耗将比相对厚的介质产生更大的影响。

对于大功率 RF 应用通常热管理是一个常见问题，选择低 Df 和光滑铜箔的层压板更具优势。另外，选择具有高导热率的层压板通常也是一件明智的事情。高导热率将有助于且有效地将热量从电路中转移到散热器中。

频率—热量关系表明假设在两个频率上具有相同的 RF 功率，当频率增加时会产生更多的热量。以罗杰斯进行的一些热管理实验为例，发现在 3.6 GHz 频率下加载 80w 射频功率的微带传输线的热量上升约为 50°C。而同一电路在 6.1 GHz 频率下施加 80w 功率进行测试时，热量上升约为 80°C。

温度随着频率增加而升高的原因有很多。原因之一是材料的 Df 会随着频率的增加而增加，这将导致更多的介质损耗，并最终导致插入损耗和热量的增加。另一个问题是导体损耗随频率的增加而增加。导体损耗的增加几乎是由于趋肤深度随频率增加而变小导致。另外，随着频率的增加，电场将更加稠密，在电路的给定区域中将会有更大的功率密度，这也将增加热量。

最后,材料的 TCDk 在本文章中已多次提及,它是 Dk 随温度变化而变化的材料的固有属性,是一种经常被忽略的材料特性。对于功率放大器电路,设计中都有 1/4 波长线用于匹配网络,而这些网络对 Dk 波动非常敏感。当 Dk 发生较大变化时,1/4 波长匹配将发生偏移,导致功率放大器的效率会发生变化,这是非常不希望的。

总之,在为高功率 RF 应用选择高频材料时,该材料应具有低 Df,相对光滑的铜箔,高导热率和低 TCDk。在考虑这些材料特性以及最终用途的要求时,需要进行很多权衡。因此,在为高功率 RF 应用选择材料时,设计人员与他们的材料供应商联系总是明智的。