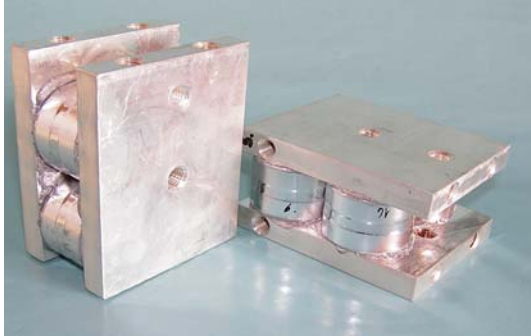


Kondenzátory pro vysokofrekvenční indukční ohřev

Pro potřeby vývoje a konstrukce vysokofrekvenčních generátorů pro indukční ohřev s polovodičovými prvky vyvinula firma ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY CZ, a.s. z podnětu a ve spolupráci s firmou p. Ing Zdeňka Rajmonta nové typy kondenzátorů vhodné pro použití ve vysokofrekvenčních výkonových obvodech generátorů.



Základní provedení kondenzátorů



Kondenzátory s připojením chlazení

Tyto obrázky ukazují první úspěšně použitelné vzorky vysokofrekvenčních výkonových kondenzátorů. Tyto kondenzátory jsou konstruovány tak, aby vnitřní ztráty v kondenzátorech byly extrémně nízké. Takové kondenzátory jsou schopny pracovat s vysokým napětím a velkými proudy při vysokých pracovních frekvencích. Tím lze dosáhnout velkých přenášených vysokofrekvenčních výkonů. Vnitřní ztráty v kondenzátoru jsou příčinou vzniku tepla, které může způsobit i destrukci kondenzátoru, není-li dostatečně účinně odváděno. To musí, samozřejmě, konstrukce kondenzátoru umožňovat. Další velmi důležitý požadavek je zajistit co nejdokonalejší kontakt mezi kondenzátorem a přívody, které by umožňovaly přenos velmi vysokých proudů, stovek Ampér. Vyřešení těchto problémů umožní dosáhnout co nejnižších vnitřních ztrát v kondenzátoru a na přívodech.

Vnitřní ztráty kondenzátoru se vyjadřují tzv. ztrátovým činitelem $\text{tg}\delta$, nebo jako ekvivalentní sériový odpor ESR který zahrnuje vliv všech ztrát, které v kondenzátoru vznikají a jsou příčinou vnitřního oteplení kondenzátoru. Vztah mezi ekvivalentním sériovým odporem kondenzátoru a ztrátovým činitelem je:

$$ESR = \frac{\text{tg}\delta}{2\pi f C} \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{F}]$$

Když je na kondenzátor přiloženo střídavé napětí U_{ef} , protéká kondenzátorem proud I_{ef} a na ekvivalentním ztrátovém odporu kondenzátoru vzniká ztrátový výkon

$$P = ESR \times I_{\text{ef}}^2 = \frac{I_{\text{ef}}^2}{2\pi f \times C} \times \text{tg}\delta \langle f \rangle \quad [\text{W}; \text{A}]$$

$$P = \frac{U_{\text{ef}}^2}{ESR} = U_{\text{ef}}^2 \times 2\pi f \times C \times \text{tg}\delta \langle f \rangle \quad [\text{W}; \text{V}]$$

který kondenzátor ohřívá. Jeho teplota se zvyšuje. Oteplení kondenzátoru ΔT nad teplotu okolí kondenzátoru se vypočítá dle vzorce:

$$\Delta T = P \times R_T \quad [^\circ\text{C}; \text{W}, ^\circ\text{C}/\text{W}]$$

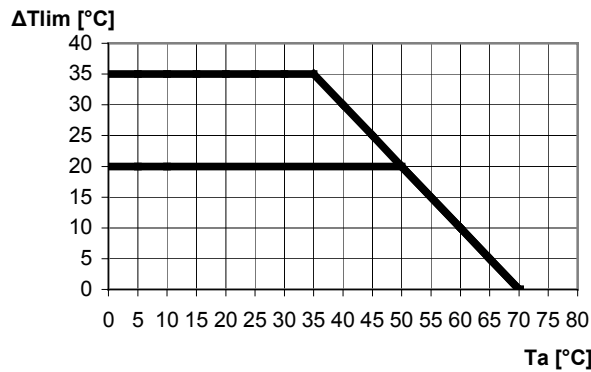
R_T - je teplotní odpor kondenzátoru, který vyjadřuje schopnost kondenzátoru odvádět oteplení kondenzátoru. Hodnota teplotního odporu kondenzátoru je dána jeho vnitřní konstrukcí a způsobem chlazení. Malé ztrátové výkony se uchladí sáláním, případně proudícím vzduchem.

Vyšší ztrátové výkony je nutné odvádět z kondenzátoru chladicí kapalinou.

P - je ztrátový výkon, který vzniká v kondenzátoru.

Přípustné oteplení vlivem ztrátového výkonu závisí také na teplotě okolí T_a , při které kondenzátor pracuje, s rostoucí teplotou okolí přípustné oteplení a tedy i přípustný ztrátový výkon klesá, jak ukazuje informativní graf.

$$P_{MAX} = \frac{T_{MAX} - T_a}{R_T} \quad [\text{W}; \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ } ^\circ\text{C/W}]$$



Při návrhu použití kondenzátoru je třeba uvážit energetickou bilanci kondenzátoru a zvolit způsob odvodu ztrátového tepla kondenzátoru. Horní křivka je mezní křivka oteplení, přičemž oblast okolní teploty nad 50°C je kritická a její překročení je nepřipustné.

Kondenzátory KPI300-148 jsou vyvinuty pro použití v zařízeních pro vysokofrekvenční indukční ohřev o výkonu přes 100kVA a jsou konstruovány pro chlazení kapalinou.

Ekvivalentní sériový odpor těchto kondenzátorů se pohybuje v jednotkách až desetinách mΩ, Při pracovní frekvenci 300kHz a napětí 300Vef se ztrátový výkon kondenzátorů pohybuje okolo 100W. Požadavek na zvýšení užitečného výkonu vysokofrekvenčních generátorů vyžadoval další vývojové práce, jejichž výsledkem jsou nově vyráběné kondenzátory pro vyšší provozní napětí.



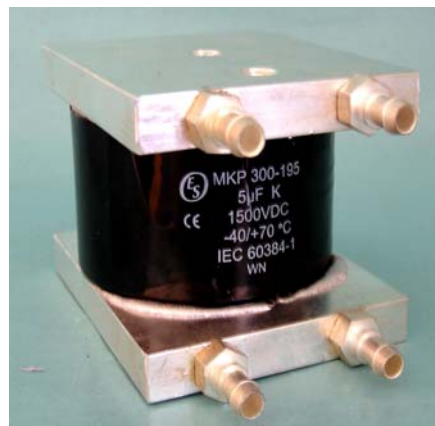
Kondenzátor KPI300-148 0,4µF 4kVDC



Kondenzátor KPI300-148 0,8µF 3kVDC



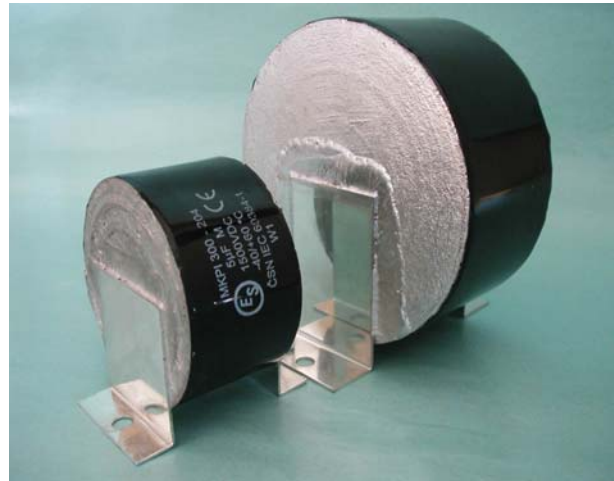
Kondenzátor KPI300-148 1,5µF 3kVDC



Kondenzátor MKP300-195 5µF 1500VDC



Kondenzátor MKP300-207 5µF 1500VDC



Kondenzátory MKPI300-204 5 ÷ 20µF 1500VDC

Tyto kondenzátory mají velmi nízké vnitřní ztráty reprezentované hodnotou ESR na vysokých frekvencích, což dokumentují následující fotografie:



Měření ESR KPI300-148 0,4µF při 400kHz



Měření ESR KPI300-148 0,8µF při 400kHz



Měření ESR KPI300-148 1,5µF 3kVDC při 100kHz



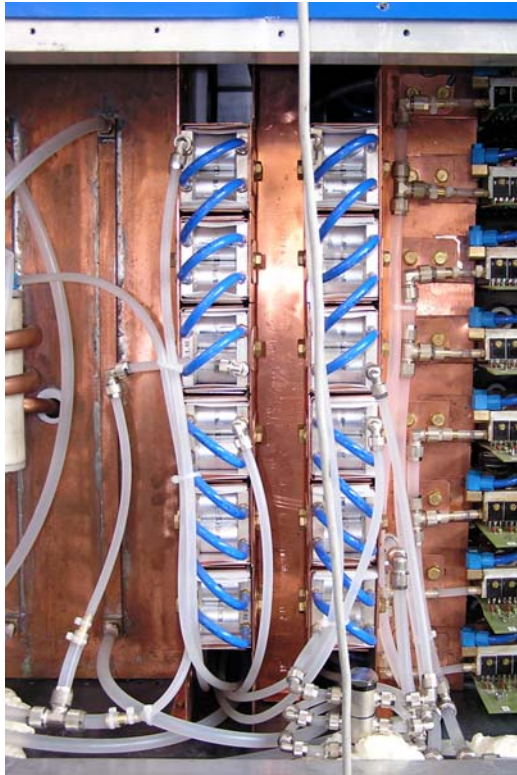
Měření ESR KPI300-195 při 100kHz

Kondenzátory KPI300-148 jsou konstruovány i pro chlazení kapalinou, kondenzátory MKP300-207 jsou určeny pro chlazení proudem vzduchu a umožňují připevnit potřebné chladiče.

Měření ESR MKP300-207 při 100kHz



Následující obrázky ukazují provedení generátoru pro vysokofrekvenční indukční ohřev:



Pohled do vysokofrekvenčního generátoru

Popisované kondenzátory spolehlivě pracují v generátorech vysokofrekvenčního indukčního ohřevu o výkonu až stovek kVA pracujících s pracovní frekvencí 300 až 350kHz. Kondenzátory byly vyvinuty ve spolupráci s firmou p. Ing. Zdeňka Rajmona. Firma ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY CZ, a.s. pokračuje intenzivně ve vývoji kondenzátorů pro vyšší výkony jako spoluřešitel projektu FI-IM4/218 v programu IMPULS. Ukázky uvedené v tomto materiálu jsou dílčí úspěšné výstupy úkolu



Agregát vf indukčního ohřevu- mechanická část



Detail montáže kondenzátorů

Ing. Karel Vyoral, výzkum a vývoj