



A hűtés korunk elektronikájának egyik legfontosabb kérdése, mert felhasznált aktív és passzív komponenseink élettartama nagyban függ attól, hogy az átfolyó áram keltette hőt milyen hatékonyan vezetjük el a külvilág felé. A helyesen megválasztott hűtőbordák és maga a nyomtatott áramkörü lemez kialakítása is nagyban hozzájárul a kielégítő hőelvezetéshez, azonban bizonyos esetekben aktív hűtésre, például kényszerített légmozgatásra van szükség. Ennek pontos méretezésével sok esetben nem bajlódnak a tervezőmérnökök, mert csak a funkcionalitásra fókuszálnak, és egy találmányra kiválasztott ventilátorral megoldják a kérdést, ami a mechanikai méretek szükségtelen növelését, vagy rosszabb esetben a hűtés alul-méretezését vonja maga után. A mai miniatürizálási trendek nem engedik meg a felesleges térfogatot és a verseny pedig kikényszeríti a megbízhatóságot. Így a hűtés tervezésére a tervezés korai fázisában sort kell keríteni.

Szem el tt kell tartani, hogy nem csak az els dleges funkció a fontos, hanem a teljes rendszer; hiszen csakúgy, mint áramkörvédelem nélkül, h és nélkül sem biztosítható ez a funkció hosszú távon, megbízhatóan és takarékosan. A kielégít h tési megoldás néhány fontos szempontját tárgyalja cikkünk.

Amikor egy eszköz hűtéséről kell gondoskodni, a keletkezett hő háromféleképp távozhat:

1. Hővezetés útján, amikor a hőforrás érintkezik a hővezető anyaggal, például a nyomtatott áramkörü lemezzel, vagy a direkt csatolt hűtőbordával.
2. Hősugárzás útján, amikor a hőenergia elektromágneses hullám formájában távozik.
3. Hőáramlás (konvekció) útján, mely során a hőelvezetés egy az elektronikai komponens körülvevő közeg felmelegedő részecskéinek tovaáramlásával biztosított.

Ez utóbbi mód játssza a legfontosabb szerepet az elektronikai rendszerek aktív hűtésében. A konvekció lehet természetes, amikor a légáramlást a hőmérsékletkülönbségek hozzák létre, és

kényszerített, amikor az áramlást külső erő, például egy impeller-lapát forgása kelti. Ez utóbbi mód rendkívül hatásos lehet elektronikai alkatrészek hűtésékor, akár a nagy mennyiségű levegőt szállítani képes axiális, akár a sűrűn beépített áramköri lap nagy légellenállását legyőzni képes, nagy statikus nyomást biztosító radiális hűtőventilátort is alkalmazunk.

A legfontosabb tervezési szempont, hogy hagyjunk elegendő helyet a légáramlás számára a hőkeltés szempontjából kritikus komponensek körül, kiemelt figyelmet fordítva legalább a légbeömlés és a légkieresztés megoldására, és természetesen álljon rendelkezésre elegendő hely és tápellátás a ventilátor számára is. Ha ezekre a szempontokra odafigyelünk a tervezés korai fázisában, már nagy lépést tettünk a rendszer ideális működtetéséhez és nem kell majd később kompromisszumokat kötni a funkcionalitás és a hűtés egymás ellen ható igényei terén.

Amikor kényszerített légáramlásos hűtést alkalmazunk, akkor a komponenseken keletkező hő nagy része a következő úton távozik a készülékházból:

1. Komponens melegedése
2. Hőátadás a komponensről a környező levegőrészecskék felé

3. A hő kiáramlása a távozó levegővel.

Az második tényezőt kedvezően befolyásolhatjuk, ha nagy hőleadási felületet biztosítunk a komponens számára, vagy ha növeljük a légáramlatot. Előbbi esetben nagyobb méretű alkatrészt választunk, vagy hűtőbordát illesztünk hozzá, utóbbi pedig vagy jobb alkatrész elrendezéssel, vagy nagyobb légbeömlő nyílás, esetleg további ventilátor vagy nagyobb forgási sebesség alkalmazásával lehetséges.

Aktív léghűtés esetén választhatunk olyan módszert, amikor a hűtőventilátor a meleg levegőt kiszívja a készülékházból, vagy olyan megoldást is, amikor hideg levegőt fújunk a melegedő alkatrészekre, és bár mindkét esetben közel azonos légmennyiség használható hűtésre, mégis mindkét elrendezésnek vannak előnyös és hátrányos tulajdonságai. A ventilátorba lépő levegő laminárisan áramlik, azaz a légáram keresztmetszetén rétegesen eltérő sebességgel, de azonos irányba mozognak a levegőrészecskék. Emiatt meleg levegő kiszívás esetén viszonylag egyenletes hűtés valósul meg, nem jellemző a megrekedt levegő miatt kialakult hot-spot. Az impeller kilépő oldalán turbulens áramlás alakul ki, mely ugyanolyan légmennyiség mozgatása esetén akár kétszer jobban hűt, mint a lamináris légáramlat, azonban ez a nagyon aktív zóna a recirkuláló levegő

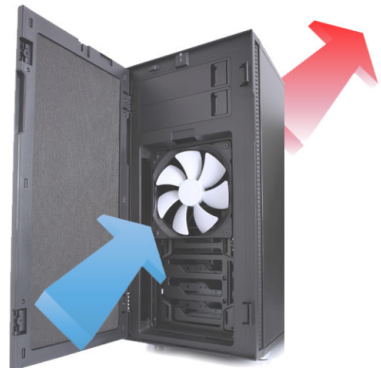
miatt közvetlen a ventilátor kiömlő nyílása elé koncentrálódik és távolabb nagy légmennyiségvesztés léphet fel, ami gyenge disszipációt jelent a készülék belsejében befűvásos hűtés esetén. Emiatt nagyon kell ügyelni arra, hogy megfelelő legyen a légáramlat a teljes készülékház hosszon. A tervezéskor a lehető legjobban ki kell használni a természetes konvekciót is, ügyelni kell arra, hogy a jobban melegedő komponens egy kevésbé kritikus ne akadályozza a hőleadásban, a nagy alkatrészek ne fogják fel a légáramot a melegedő kis komponensek elől.



1| Meleg levegő kiszívásos kényszerített konvekció

A meleg levegőt kiszívó ventilátor csökkenti a készülékházban lévő légnyomást, ami azt eredményezi, hogy poros környezetben a levegőben lévő részecskék a beömlő nyílásokon és a készülékház repedésein keresztül bejutnak és lerakódnak a

komponenseken. Ebből a szempontból előnyösebb a befűvásos hűtés alkalmazása, ahol a ventilátor elé szűrőt helyezve megakadályozható a por behatolása, és mivel a készülék belsejében enyhe túlnyomás uralkodik, a por a repedéseken, szüretlen beömlő nyílásokon sem fog bejutni. Természetesen a szűrőket időnként cserélni kell, mert eldugulás esetén nem fog a disszipációhoz elegendő levegő áramolni a készülékbe. A befűvásos hűtés másik előnye, hogy a szobahőmérsékletű levegő sokkal kisebb mértékben terheli a csapágyazatot, mint a szívóventilátoron átáramló meleg levegő, ez kétszer, háromszor hosszabb élettartamot is jelenthet.



2| Hideg levegő befűvásos kényszerített konvekció

A cikksorozat előző részében bemutatuk a radiális (blower) és az axiális ventilátorok közti különbségeket, természetesen a hűtési megoldás

választásánál elsődleges a geometria megválasztása. Nagyobb légáram eléréséhez axiális ventilátort, nagyobb légnyomás esetére radiális blowert célszerű választani. Mivel jelen írásunkban axiális DC ventilátorokkal foglalkozunk utóbbiak méretezési kérdéseitől eltekintünk, és nagyobb nyomás eléréséhez több soros elrendezésű axiális ventilátort használunk, ha szükséges.

A helyes ventilátorválasztás egy sor tényezőtől függ, de elsősorban a rendszer teljes hőtermelése, a termikus egyensúlya, a maximálisan megengedhető hőmérsékletemelkedés befolyásolja.

A szükséges légmennyiség Q [m³/min] számításához a következő értékeket kell meghatározni:

- Az alkatrészek disszipáció formájában elvesztett összteljesítmény: P_{loss} [W]
- Az légáramlatnak ellenálló alkatrészek sűrűségét jellemző k konstans ($k=80-95$ ritka elhelyezéskor, $k=60$ sűrűn elhelyezett alkatrészek esetén)
- A maximálisan megengedhető hőmérsékletemelkedés, amit a komponensek üzemi hőmérséklettartománya határoz meg ΔT

$$Q = \frac{P_{loss}}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T} \cdot k$$

Ahol,

Q : a szükséges légmennyiség [m³/min]

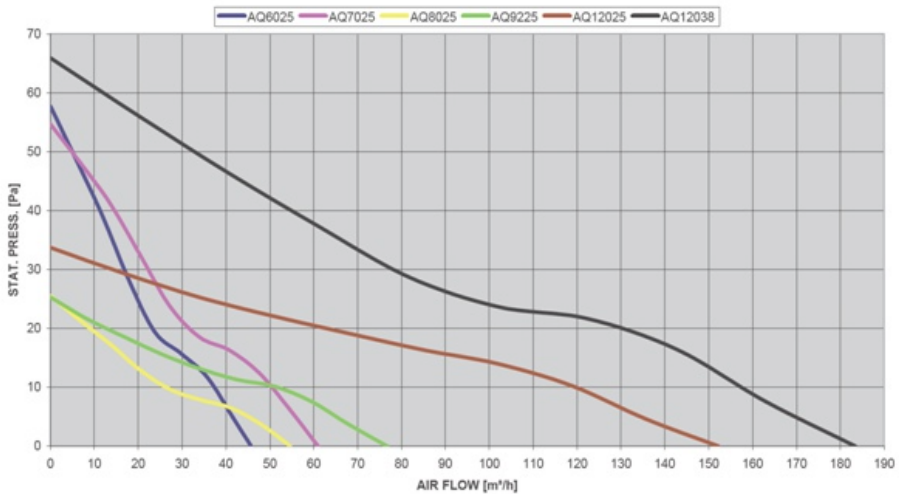
c_p : a levegő hőkapacitása állandó nyomáson, értéke 1007 J/(kgK)

ρ : a levegő sűrűsége 1.2 kg/m³ @ 25 °C

A konstansok szokásos gyakorlati értékét figyelembe véve a szükséges légmennyiség az alábbi egyszerűsített formában is megadható:

$$Q = \frac{P_{loss}}{\Delta T} \cdot 0.05 \quad [\text{m}^3/\text{min}]$$

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy egy 200W hőveszteséget termelő rendszer számára 20 °C-ot meg nem haladó hőmérsékletemelkedést 0.5 m³ percenkénti légárammal biztosíthatunk. Sajnos ez az elméleti számítás annak ellenére, hogy pontos képet ad a hűtésigényről semmi sem használható önmagában, mert nem veszi figyelembe sem a ventilátor sem a hűteni kívánt rendszer geometriai sajátosságait, így sokkal bonyolultabb annak kiszámítása, hogy egy valós rendszerben egy adott hűtőventilátor által biztosított légáram mennyire közelíti meg ezt az értéket. Ehhez szükséges ismernünk a ventilátorra jellemző nonlineáris



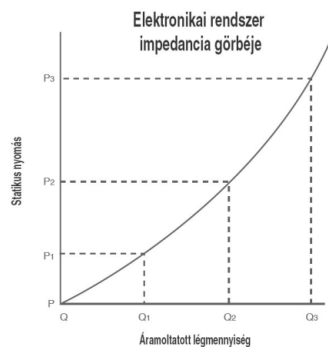
3) Tipikus axiális ventilátor légáram – statikus nyomás jelleggörbék

összefüggést annak légárama és statikus nyomása között, melyet a 3. ábrán bemutatott jelleggörbék reprezentálnak. Maximális statikus nyomás lép fel, ha a ventilátorból kilépő levegő útja teljesen el van zárva, azaz a szállított légmennyiség nulla (Y tengely). A ventilátor által maximálisan szállított levegőmennyiség a jelleggörbe X tengellyel való metszéspontjából olvasható le, ekkor a statikus légellenállás 0, a levegő szabadon áramlik.

A hűtendő elektronika valós viszonyok közötti, a légárammal szembeni ellenállóságát leíró jelleggörbe a rendszerimpedancia görbe (system impedance curve – SIC). Kiolvasható belőle a hűtött készülékház légárammal szembeni ellenállása (statikus nyomásérték) az rákényszerített levegő

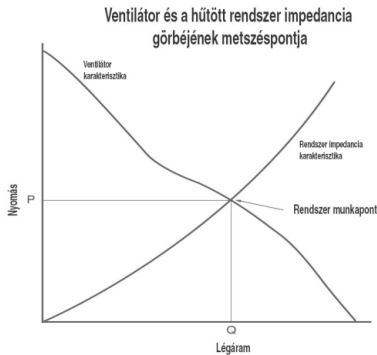
térfogatáram függvényében, ami egy közel másodfokú egyenlettel írható le: $P_s \sim Q^{1.75...2}$

Maga a görbe gyakorlati úton vehető fel, különböző térfogati légmennyiségek áramoltatásakor fellépő nyomás mérésével.

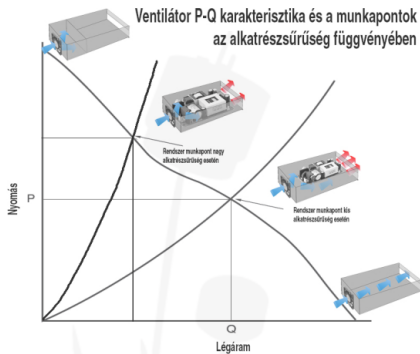


4) Elektronikai készülékház szokásos impedancia görbéje

A hőáramoltatással hűtött rendszerben fenti két jelleggörbe, a ventilátorra jellemző P-Q légszállítási görbe és a hűtött rendszerre jellemző impedancia görbe metszéspontja adja a ventilátor adott applikációban való működésre jellemző munkapontot.



5] A munkapont meghatározása



6] A munkapontot adott típus esetén, adott fordulatszámon az alkatrészsűrűség határozza meg

A fenti ábrán látszanak a ventilátor jelleggörbéjének nevezetes pontjai. A „nyomás” (Y) tengellyel való metszéspont a maximális

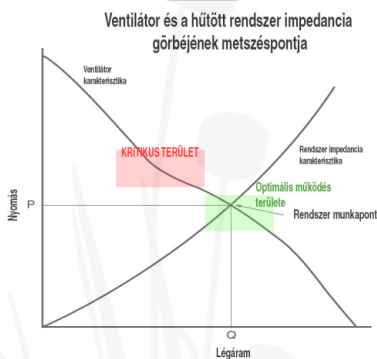
légnyomásértéket mutatja meg, feltételezve, hogy a légáramlat akadályba ütközik, a szállított légmennyiség nulla. Az X tengellyel való metszéspont a szabad, akadálymentes maximális térfogatú légáramlatot határozza meg. A két példaként bemutatott munkapont közül az egyik a nagy alkatrész sűrűségű, míg a másik a szellősebb elrendezést jellemzi. Előbbi esetben a rendszer nagyobb légellenállását nagyobb nyomással tudja csak legyőzni a ventilátor és kevesebb levegőt képes átpréselni a rendszeren, míg utóbbi esetben a szabadabb áramlás miatt kisebb nyomás is elegendő nagyobb légmennyiség átáramoltatásához. Mindkét esetben ugyanaz a hűtőventilátor került alkalmazásra, de a hűtendő készüléket leíró rendszer impedancia görbék eltérőek.

A fentiek ismeretében már elkezdhetjük a megfelelő hűtő-ventilátor kiválasztását.

Ma többnyire DC ventilátorokat használunk, mert sokkal kisebb az energiafogyasztásuk, hosszabb az élettartamuk és fordulatszámuk arányos a kapocsfeszültséggel, ami fordulatszám szabályzásukat könnyíti meg. Minél kisebb a fordulatszám, annál halkabb a ventilátor, annál kisebb a fogyasztás és a csapágykopás miatt az élettartam is nő. Ráadásul kevesebb elektromágneses interferenciát keltenek az AC változatoknál, és nem kell

számolni a földrészenként eltérő hálózati feszültség és frekvencia értékekkel. Ezért írásunkban a DC ventilátorok kiválasztásával és jellemzésével foglalkoztunk.

A szükséges légáram meghatározása után a készülék statikus nyomás – légáram (rendszer impedancia) görbéjének ismeretében kijelöljük azt a statikus nyomástartományt, amit a hűtéshez minimálisan szükséges légáram biztosításához a ventilátornak le kell győzni. Ezután a ventilátor gyártó katalógusából olyan eszközt választunk, ami az adott légmennyiséget ezen nyomás feletti értéken képes szállítani. Érdeemes a munkapontot úgy megválasztani (szükség esetén a térfogati légáram felülméretezésével), hogy a ventilátor jelleggörbéjén megfigyelhető, az alábbi ábrán pirossal jelölt területet kerüljük el.



7| A kritikus és az optimális munkaponti terület

Ez a terület az ún. „stall” -zóna, amikor is a légáramlat „megakad” az impeller kilépő éle mögött, ez turbulenciához, vibrációhoz vezet, ami jelentős negatív hatással lesz a működésre. Az első legjellemzőbb ilyen negatívum a zaj azonnali megjelenése, de hosszabb ideig ezen a területen lévő munkapont anyagfáradáshoz és élettartam csökkenéshez vezet.

Érdeemes a munkapontot az optimális zónában tartani.

A kiválasztás további szempontja lehet a halk működés az optimális területen lévő munkapontban, ehhez érdemes a lehető legnagyobb geometriai méretű ventilátort választani. A nagy méret alacsonyabb fordulatszámmal párosul, a zaj tehát kicsi marad. Ez azonban ellene hat a mai kor miniaturizálási igényeinek, ma kis méretű, vékony hűtő-ventilátorral szeretnénk megvalósítani a feladatot, ez magasabb fordulatszám igényt jelent, ami növeli a zajt. Ha egy ilyen kis ventilátor nem elegendő, de nincs hely nagyobb átmérőjű változat számára, akkor több egymás mellé vagy mögé helyezett ventilátor megoldást jelenthet, de ez is a zaj, valamint a meghibásodások valószínűségének növekedésével jár, igaz a redundancia akár növelheti a megbízhatóságot is.

Ezért fontos, hogy a méret kérdését jól vizsgáljuk meg, mert ez nem csak dizájn

és technológiai trend kérdése, hanem hosszútávon befolyásolni fogja a termék árát is.

Sorozatunk következő részében áttekintjük, hogy miként lehet befolyásolni a hűtést több ventilátor egyidejű alkalmazásával, hogyan módosul ilyenkor a P-Q jelleggörbe, miként lehet nagyobb nyomást vagy nagyobb térfogati légáramot elérni.

Áttekintjük az axiális DC hűtőventilátorok fordulatszám szabályzásának lehetőségeit is.

Felhasznált irodalom:

- [1] Claudius Klose – elektromechanikus komponensek termékmenedzsere - Endrich Bauelemente Vertriebs GmbH. – „Proper fan selection”
- [2] NMB-MAT fan catalogue – „Fan engineering”

