

ELEKTRONİK GÜÇ ELEMANLARININ ISI BORUSU İLE SOĞUTULMASI

Doç. Dr. Hasan KÜLÜNK
Kocaeli Mühendislik Fakültesi, İZMİT

ÖZET

Bu makalede elektronik güç elemanlarında güç kaybının sıcaklıkla değişimi incelenmekte, bunların soğutulması

gerektiği vurgulanmakta, bu soğutma işleminde ideal ve çağdaş bir çözüm olarak ısı borusu (heat pipe) tanıtılmakta ve ısı dirençleri üzerinde durulmaktadır.

1. GİRİŞ

Yarıiletken güç elemanlarında harcanan güç sıcaklığa hassas olduğu halde, bu elemanların soğutulması konusu, üniversitelerimizde halen okutulan elektrik-elektronik ders kitaplarında bir-iki cümle ile belirtilip geçilmekte, bunların soğutulma tekniklerine hemen hemen hiç değinilmemektedir. Konuyla ilgili olarak, 1956 yılından beri yayınlanmakta olan "Elektrik Mühendisliği Dergisinde" de güç elemanlarının soğutulmasının önemi ve soğutma teknikleri üzerine yok denecek kadar az çalışma bulunmaktadır, örneğin, bilgimiz içinde, adı geçen Dergide son 5 yılda, elektronik devre elemanlarının soğutulması konusunda yayınlanmış tek çalışma Çiğdemoğlu'na aittir (1). Çiğdemoğlu yazısında: sonsuz kanat, uç yalıtılmış kanat ve ucu çıplak kanat durumları için kanat verimlerini incelemekte ve bunlarla transistör soğutma tasarımı yapmaktadır. Isı borusu ile elektronik güç elemanlarının soğutulmasına ilişkin hiçbir makaleye ise bu Dergide rastlanmamaktadır. Bu durumun büyük bir eksiklik olduğu düşüncesiyle bu araştırma yapılmaktadır.

1960'lı yıllardaki uzay çalışmaları ile ilgili olarak, roketlerin atmosfere girişlerinde hızla artan gövde sıcaklığını tehlike sınırının altına çekmek amacıyla ısı borusu (heat pipe) tekniğiyle soğutma yöntemi geliştirilmiştir. Ülkemizde de, özellikle ısıtma soğutma problemleriyle uğraşan bazı araştırmacılar, ısı borusunun, güç elemanlarının soğutulması hariç, değişik uygulamaları üzerinde çalışmalar yapmaktadır (2), (3), (4). Bilindiği üzere, halen elektronik devre elemanları zorlanmış hava veya su sirkülasyonu veya metal kanatlardan oluşan sistemlerle soğutulmaktadır. Ancak bu klasik yöntemler yüksek değerlere varan güç kaybını önlemeye yeterli olamamakta bunun yerine en etkili ve kesin çözüm olarak ısı boru-

su devreye girmektedir.

Öteki bazı ülkelerdeki araştırmacılara gelince, özellikle gelişmiş ülkelerde bu konuda yoğun çalışmalar yapılmaktadır, örneğin Dunn ve Reay İngiltere'de (5), Chi Çin'de (6), Dutcher ve Urke A.B.D.'de (7), Basiulis ve Hummel A.B.D.'de (8), Abdel Aziz Mısır'da (9), Ekridge A.B.D.'de (10), Kukharskii ve Ivannikov Sovyetler Birliği'nde (11) elektronik devre elemanlarının ısı borusu tekniği ile soğutulması üzerinde çalışmaktadır.

Özellikle Kukharskii ve Ivannikov tarafından 1983'te yapılan ilginç çalışmaya biraz detaylı değinmekte yarar vardır. İki araştırmacı, elektrik motorlarının soğutulmasında Merkezci Isı Borusu (Centrifügal Heat Pipe) kavramını geliştirmektedir. Bu teknikte elektrik motoru soğutma işleminde, içi boş boru biçimindeki krank ısı borusu görevini yapmakta olup, rotordan alınan ısı enerjisi, daha sonra anlatılacağı üzere, ısı borusu kondensöründe atmosfere atılmaktadır. Bu yeni çalışmadan önce 1968'de Siemens (Federal Almanya), ilk defa olarak, 4kW gücünde bir indüksiyon motorunu aynı teknikle soğutarak çalıştırmıştır. Yine bu yıllarda Hugh Scott (İngiltere) ve Fuditsu Famik (Japonya) firmaları da ısı yükleri 10^4 w/m² seviyesine çıkan yüksek-moment DC motorlarını Merkezci Isı Borusu tekniğiyle soğutmaya gerçekleştirmiştir. Yine bu yüksek-moment motorlarında, Merkezci Isı Borusu kullanımı sayesinde, motor yararlı gücünün, boru kullanmama durumuna kıyasla, hemen hemen 2 katına çıkarılabileceği saptanmıştır. O halde ısı borusunun önemi ortadadır. İşte buraya kadar belirtilen nedenlerle, elektrik güç elemanlarının, kanat yerine ısı borusu tekniği ile soğutulmasını açıklamak, bazı önemli araştırmaları kaynak olarak vermek ve bu konuya ilgiyi artırmak amacıyla bu makale hazırlanmıştır.

2. NYQUIST GÜRÜLTÜSÜ VE SICAKLIK

Elektronik devrelerin çalışması esnasında, gerçek sinyalle birlikte bir miktar gürültü sinyali de oluşur. Sinyal amplifikasyonu devrelerinde gürültü sinyali de artar. Direnç ve sinyal jeneratöründen oluşan basit bir devrede, direnç elemanı içindeki serbest elektronların ısı enerjileri ile rastgele hareketlerinden dolayı, direncin uçları arasında gürültü gerilimi oluşur. Rastgele davranışlarda Fourier bileşeni gözönüne alınarak, ölçümlerde birim frekans band genişliğine sahip voltmetre kullanılması halinde, gürültü geriliminin karesinin ortalaması $\langle v^2 \rangle$:

$$\langle v^2 \rangle = 4kTR \quad (\text{volt}^2/\text{s}) \quad \dots (1)$$

olarak yazılır (12). Burada: k, Boltzmann sabitini ($1.38 \cdot 10^{-23}$ j/MOLEKÜL °K); T, mutlak sıcaklığı (°K) ve R direnci (Q) temsil etmektedir. Nyquist tarafından bulunan bu denkleme göre, gürültü gerilimi VT ile orantılı olup, buna Nyquist gürültüsü denir. Gürültüyü kesmek için sıcaklığı azaltmak yani soğutma gerekir.

Gürültüsüz bir R direnci, C kondansatörü ve sinyal jeneratöründen oluşan basit devrede, kondansatörde depolanan toplam enerji, termodinamiğin eş-ayırım teoreminden, $kT/2$ olup, yine ortam sıcaklığına bağlıdır. Burada da Nyquist gürültü denklemi geçerlidir.

Elektronik tüplerde ve yarıiletken elemanlarda (transistor, diyot v.b.) da gürültü olayı etkili olabilmektedir, örneğin, vakum tüplerindeki kapama gürültüsü katotdan rastgele salınan elektronların sonucu oluşmaktadır. Zira, salınan her elektron elektrik yükünün en küçük birimi olup bir artış anlamına gelmektedir. Çok gridli tüplerde oluşan gürültü ise, her elektrottaki gürültünün toplanması ile bulunacağından, daha da büyümekte ve etkili olmaktadır.

Bilindiği üzere, yarıiletken malzemenin ısıtılması veya üzerine ışık düşürülmesi halinde iletkenliği artmaktadır. Yani bu elemanlar sıcaklığa çok hassastır. Belli bir sıcaklıkta çalışmaları gerekir ki bu özellik elektronik devre elemanlarının soğutulmasını zorunlu yapmaktadır. Doğrultucu ve amplifikatör devrelerinde çok kullanılan en yaygın elemanlar arasında diyotlar ve transistörler gelmekte olup, bunların davranışları üzerine sıcaklığın etkisine aşağıda kısaca değinilmektedir.

3. DİYOT VE TRANSİSTÖRLERDE SICAKLIK ETKİSİ

3.1. Diyotlarda Sıcaklık Etkisi

P tipi ve N tipi iki yarıiletken malzemenin oluşturduğu P-N diyot ekleminde, elektronca zengin N-tipi malzemenin P-tipi malzemeye geçen elektronların oluşturduğu akım ile P-tipi malzemeyi terkeden elektronların oluşturduğu akımın net değeri ile artı yük taşıyıcıları akımının net değeri toplandığında oluşan akım I:

$$I = I_0 (e^{qv/kT} - 1) \quad \dots (2)$$

ile verilmektedir (12). "Doğrultucu Denklemi" adı verilen bu ifadeye: I_0 , doyma akımını; q, elektron yükünü; v, uygulanan gerilimi; k, Boltzmann sabitini ve T mutlak

sıcaklığı temsil etmektedir. Bu nedenle, sıcaklık artarken diyot ekleminin fonksiyonundan) geçen net akım sıfıra doğru gitmektedir ki bu durumda diyot fonksiyonunu yitirmekte ve devre dışı kalmaktadır. O halde diyotun soğutulması belli bir sıcaklık ortamında çalışması gereklidir.

3.2. Transistörlerde Sıcaklık Etkisi

Transistörler sıcaklığa duyarlı olup, bu özellik: doğru akım kazancı β , beys-emetör gerilimi V_{BE} ve kollektör-emetör tıkama akımı I_{CEO} ve güç eğrisinin sıcaklıkla değişim karakteristikleri yardımıyla incelenmektedir. Halihazırda çalışma noktası da sıcaklıktan etkilenmektedir. Genelde devre elemanları, -55°C ile 125°C arasında çalışabilmektedir. Ortalama her 1°C artışta V_{BE} 1,8-2,5 mV civarında azalmaktadır (13). I_{CEO} şiddeti:

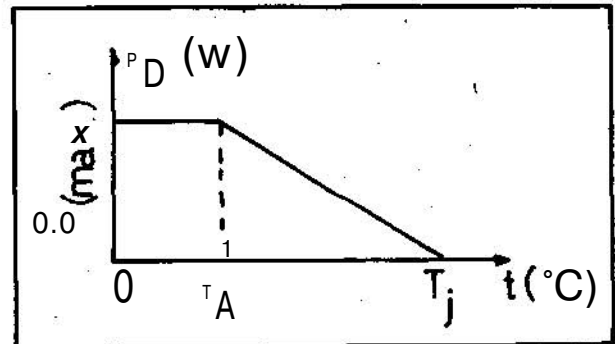
$$I_{CEO} = K \cdot e^{-\frac{E}{kT}} \cdot (1 + \beta) \quad \dots (3)$$

ile bulunmaktadır. Burada: E - 1,79.10⁻¹⁹ coul, K bir sabit olup, öteki parametreler önce belirtilmiştir. Denklem (3)'den sıcaklık artarken tıkama akımının da artacağı anlaşılır ki bu istenmez. O halde transistörü soğutmak gereklidir.

Transistör üzerinde oluşabilecek güç kaybı, eklem ve ortam sıcaklığına aşırı hassas şekilde bağlıdır. Her transistörün güç kaybı-sıcaklık eğrisi imalatçı katalogunda mevcuttur. Tipik bir güç kaybı-sıcaklık eğrisi Şekil 1'de verilmektedir. Bunun incelenmesinden verilen bir transistörün $0 \leq t \leq T_A$ aralığında sabit $P_{D(max)}$ güç kaybına sahip olduğu; sonra hemen hemen lineer olarak maksimum eklem sıcaklığına kadar, $T_{j(max)}$, azalıp sıfıra gittiği anlaşılmaktadır; burada T_A ortam sıcaklığıdır. Şekil 1'de

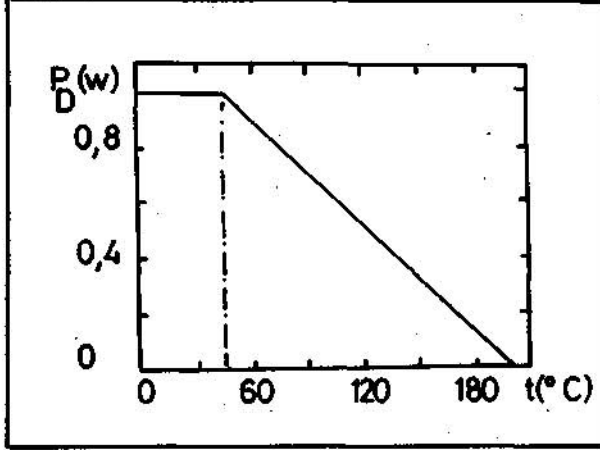
$$P_D = P_{D(max)} - P_{D(max)} \cdot \frac{(t - T_A)}{(T_j - T_A)} \quad \dots (4)$$

olup, P_D ise t sıcaklığında harcanan güçtür, t artarken güç azalacağından, $t - T_j$ için sıfır olmakta ve $t > T_j$ için transistor arızalanmaktadır. Doğru eğimini temsil eden $-P_{D(max)}/(T_j - T_A)$ oranı w/°C biriminde olup, derece başına güç değişimini; bunun tersi ise °C/w biriminde ısı direnci simgelemektedir. Örneğin Şekil 2'deki BCY 58 transistörü için derece başına güç düşümü 1 w/(200-45)°C - 0,006 w/°C ve ısı direnci 155 °C/w olmaktadır. ısı direnci



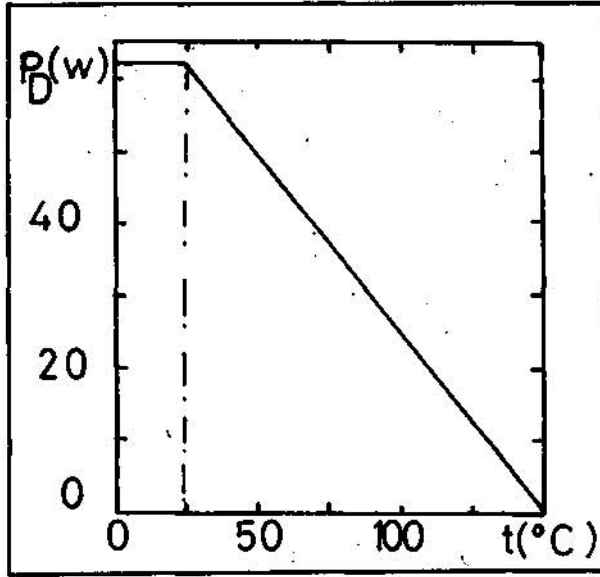
Şekil 1: Tipik bir transistörde güç-sıcaklık değişimi görülen eğrinin denklemi:

kavramı yarıiletken eklemi ile dış ortam arasındaki ısı devre-direnç devresinin analogunu çizmede çok yararlıdır. Bu konuya metinde daha sonra değinilmektedir. Şekil 2'deki eğri anahtarlama (switching) uygulamalarına uygun olan BCY 59 ve BCY 65 adlarındaki PNP tipi düzlemsel silikon transistörler için de geçerlidir (14). Burada $T_A - 45^\circ\text{C}$, $T_{j(\max)} - 200^\circ\text{C}$, $P_{D(\max)} - 1 \text{ W}$ dir.



Şekil 2: BCY 58, BCY 59, BCY 65 E transistör eğrileri.

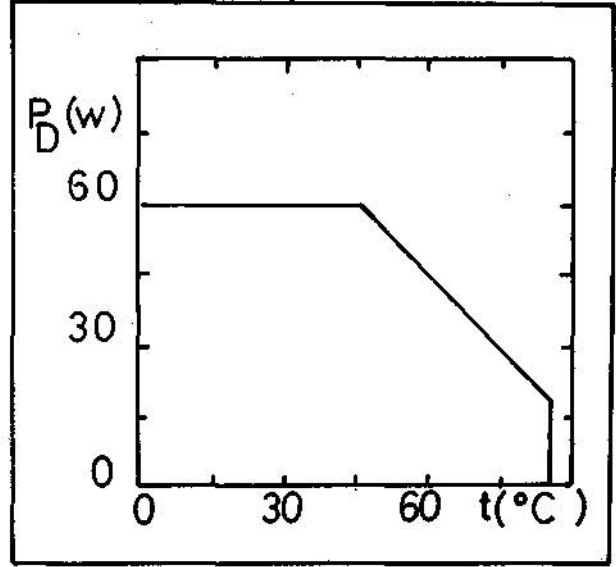
Bir güç transistörü olarak kullanılan BUZ 23'e ait güç eğrisi Şekil 3'dedir. Şekil 3'den $T_A - 25^\circ\text{C}$, $T_{j(\max)} - 150^\circ\text{C}$, $P_{D(\max)} * 62,5 \text{ w}$ olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3: BUZ 23 transistörü güç eğrisi (çap 19,5 mm)

3.3. LED Elamanında Sıcaklık Etkisi

Son bir güç eğrisi örneği de HD 1131-1132-1133-1134 adındaki LED elemanları için Şekil 4'te verilmektedir (14). LED'ler, TV kana! sistemlerinde, elektronik dijital saatlerde ve hesap makinelerinde ve ölçüm cihazlarında uzun süre kullanılmaktadır.



Şekil 4: HD 1131 serisi LED'lerin güç eğrisi.

Şekil 4'ün incelenmesinden mW mertebesinde güç kaybı olduğu, 85°C 'de ise elemanın çalışamaz hale geldiği anlaşılır. $P_{D(\max)} - 60 \text{ mw}$ olup, 85°C 'de güç 15 mw 'dan aniden sıfıra düşmektedir. Sonuç olarak, yarıiletken devre elemanlarında harcanabilecek güç sıcaklığa bağlıdır ve uygun bir sistemle optimum sıcaklığa kadar soğutulmaları gerekmektedir.

4. ISI BORUSUNUN GENEL ÖZELLİKLERİ

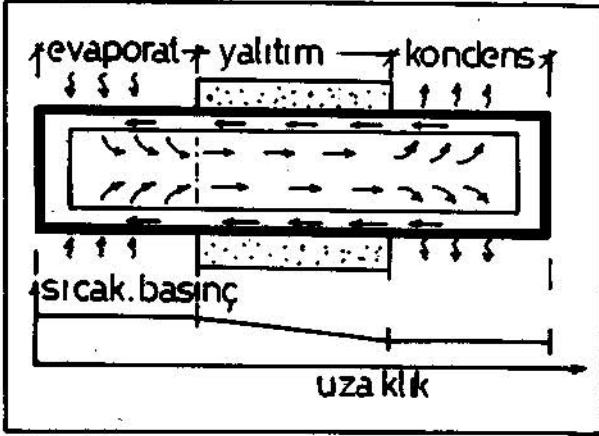
Isı borusu (heat pipe) havası boşaltılıp içine bir miktar çalışma akışkanı (şu, amonyak, aseton, metanol v.b.) konulmuş silindirik veya prizma biçiminde kapalı bir hacimdir. Çalışma akışkanı seçiminde ve bunların kıyaslanmasında en uygun yöntemlerin başında Merit (Me) sayısına bakmak gelir. Merit sayısı:

$$Me(w/m^2) - o.L.p41 \dots (5)$$

olup, burada: o (n/m) sıvının yüzey gerilim katsayısını; L (j/kg) buharlaşma gizli ısısını; p (kg/m³) sıvı yoğunluğunu; n (n.s/m²) sıvının viskozite katsayısını temsil etmektedir. Uygulamada yüksek Me gösteren sıvılar tercih edilir. Bu bakımdan su amonyak, metanol ve etanofdan daha üstün olup, tercih edilir (15).

Isı borusunun çeperleri, uygulamaya bağlı olarak, fitil (wick) denilen gözenekli malzemeyle kaplanır. Pratikte 100-400 meşlik elek teli (bakır ve krom) fitil olarak kullanılmaktadır. Isı borusunda: buharlaştırıcı (evaporatör), ara bölge ve yoğuşurucu (kondenser) olmak üzere 3 bölge vardır. Bunlar Şekil 5'tedir.

Isı borusunun buharlaştırıcı ucundan giren ısı enerjisi, fitil çeper arasındaki çalışma akışkanını buharlaştırmakta, oluşan buhar kılcallık veya yüzey gerilim kuvvetiyle iç bölgeye geçmekte, boru boyunca hareket ederek, sahip olduğu gizli ısı enerjisini yoğuşurucu ucunda atmosfere veya başka bir akışkana aktarmakta ve tekrar sıvı



Şekil 5: Tipik bir ısı borusunun ana bilimleri.

fazına dönüşmektedir. Sonra kılcalık kuvvetiyle fitil çeper arası bölgeye geçerek, yeniden buharlaşmak üzere buharlaştırıcıya akmakta ve devresini tamamlamaktadır.

Bir tür ısı değiştirici olan ısı borusunun en önemli özelliği küçük bir yüzeyden (örneğin transistor veya motordan) oldukça büyük değerlere varan ısı enerjisi çekebilmesidir. Aynı çap ve boydaki ısı borusu ile çok kullanılan dolu metal çubuklar kıyaslandığında, ısı borusunun taşıdığı aksel ısı akısının metal çubuklardan 1000-10000 defa daha fazlasını taşıyabildikleri saptanmıştır (16). Isı borusunun düzenli çalışmasının yerçekimi kuvveti ve eğimin de etkisi bulunmaktadır. Çalışma akışkanı su olan ısı borusunda en yüksek verimin 30-45° eğimle elde edileceği belirtilmektedir (17). Isı borusunun yerçekimsiz ortamda (uzay çalışmalarında) kullanılması da mümkündür (18).

Çok etkili ısı taşıma özelliği nedeniyle ısı borusu: uzay araçlarında, elektronik devre elemanlarında, elektrikli cihazlarda, dalga tüp ve lambalarda, mikrodalga antenlerinde, fırın ve güneş kolektörlerinde, otomobil kalorifer sisteminde, elektronik sıcaklık kontrolü amaçlarıyla kullanılabilir. Prensipte soğutmaya ihtiyaç duyulan elektronik araçlarda ısı borusu kullanılabilir. Aşınan parçası olmaması nedeniyle ısı borusu uzun ömürlüdür.

Şekil 5'te şematik olarak görüldüğü üzere, boru boyunca sıcaklık ve basınç hemen sabit seyretmektedir. Sessiz çalışır ve sıcaklık değişimine karşı reaksiyon süresi çok kısadır. Boru boy/çap oranı genelde 10-100 arasında seçilir. Isı enerjisi taşınması için kondenser ve evaporatör arasında birkaç derecelik sıcaklık farkı yeterlidir. Boru içindeki buhar sıvısıyla temasta olduğundan basınç, çalışma sıcaklığındaki buhar basıncını temsil etmektedir.

Isı borusu performansını olumsuz etkileyen faktörlerden en önemlileri olarak: çalışma sıvısının sıcaklıkla kimyasal bileşenlere ayrılması veya fitil veya boru ile kimyasal reaksiyona girerek evaporatörden kondensere kütle taşınması ve yoğunlaşmayan gaz üretmesi sayılabilir. Bu bakımdan uygun malzeme seçimi gereklidir. Örneğin Cu

boru ve fitille su kullanılabilirliği halde, paslanmaz çelik boru su kullanılan sistemde H₂ üretilmekte bu da ısı borusunun çalışmasını engellemektedir. Kuşkusuz çalışma sıvısının saf olması da önemlidir.

Bir çift TO-3 transistorunun 0,3 m uzunlukta ısı borusu ile soğutulmasına ait bir çalışma literatürde mevcuttur (19). Evaporatör ucundan aldığı gizli ısıyı kondensör ucuna aktarma işlevini yapan ısı borusuna "termik transformator" demek yararlı olur. Zira küçük bir transistor yüzeyinden aldığı çok yoğun ısı akısını büyük bir kanatlı yüzeyde az yoğun ısı akısına çevirmektedir. Öte yandan ısı borusu tek yönlü gizli ısı taşıdığından (evaporatörden kondensere) dolayı "termik diyet" demek de yerinde olur.

Isı borusu sisteminin verimi kondenserin bulunduğu soğuk ortam sıcaklığına (örneğin çevreye) bağlıdır. Isı borusu 107°C (380°K) ile 27°C (300°K) arasında çalışan bir tür ısı makinası gibi kabul edilirse Carnot verimi (380-300)/380 - % 21,1 olur. Halbuki çevre sıcaklığı 17°C (290°K) ve düşmesi halinde verim %23,7 yani % 2,6 arttığı halde, çevre sıcaklığı 27°C fakat evaporatör sıcaklığı 97°C (370°K)'ye düşerse verim % 18,9 yani % 3,2 azalır.

İlginc bir kaç uygulamaya, daha değinelim. Uzaydaki roketlerin güneş ışınları gören tarafı 400°K'e kadar ısındığı halde, gölge tarafı 150°K civarındadır (20). Halbuki roket gövdesine sarılan ısı boruları sayesinde her iki taraf da aynı sıcaklıkta tutulabilmektedir. Kondenser ucuna asal gaz dolu bir depo birleştirilmiş ısı borusuna evaporatör ucundan verilen ısı akısı azaltılırsa ısı borusu içindeki basınç ve sıcaklık da azalacağından depoda daha fazla asal gaz iç bölgeye yayılmakta, böylece etkili kondenser yüzeyi değişmekte ve atılan ısı akısı arzu edilen düzeyde tutulabilmektedir (21).

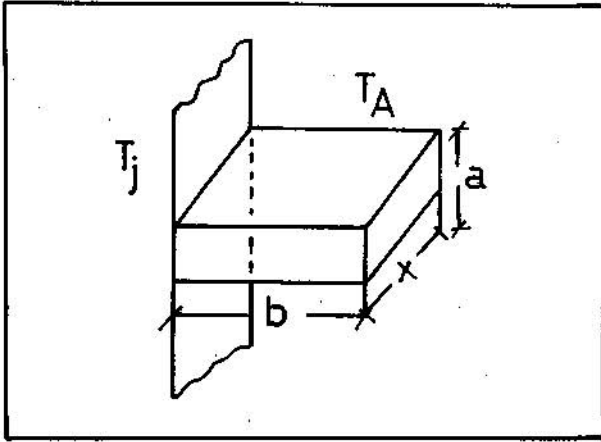
Isı borusunda aksel ve yansal doğrultularda sıcaklık* birkaç derece değiştiğinden, elektrikli araçlarda mekanik zorlanmalara ve ek yerlerinde arızalara neden olan ısıl dengesizlikler ortadan kalkmakta ve daha düzenli ve güvenli bir çalışma olmaktadır.

Isı borusu ile enerji taşınımının metal çubuktan üstünlüğünü bir örnekle açıklayabiliriz. 0,6 m boyunda, 0,0125 m çapında ısı borusu 100°C'de çalışarak evaporatörden aldığı 200 Wlık gücü sadece 0,5°C sıcaklık düşüşüyle kondensere taşıyabilmektedir. Aynı boy ve çaptaki Cu çubuğun uçları arasında 70°C fark olması halinde 5 w taşıyabildiği; 200 w taşınabilmesi için uçlar arasında 2550°C'ye varan fark olması gerekir ki bu imkansızdır. Cu çubuğun 70°C sıcaklık farkıyla 200 w taşınması istenirse boyutları artırılarak kütlesi 24 kg olur ki bu da pratik olmamaktadır. Oysa bu işlevi 0,3 kg'lık ısı borusu yapabiliyor.

4.1. BUZ 23 Transistorunun Açık Kanatlı Soğutma Tasarımı

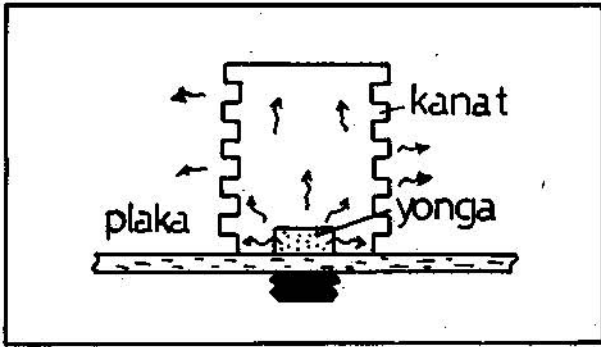
Kanatlı soğutma-teknikğine ilişkin ısı transferi hesapları Çiğdemoğlu ve Dağsöz tarafından verilmektedir (1), (22). Dikdörtgen kesitli bir kanatın boyutları Şekil 6'dadır. Kanat tabanı transistor gövdesiyle temasta olup, kanat

çevreyle soğutulmaktadır. Kanatlı sistemdeki girintili çıkıntılı yapı yüzeyi büyüttüğü için, küçük bir transistör yüzeyinde oluşan ısı enerjisini daha etkili olarak çevreye atmaktadır.



Şekil 6: Dikdörtgen kesitli bir kanat boyutları (a: kanat kalınlığı, b: kanat yüksekliği, x: kanat uzunluğu),

Bir transistör veya yonganın kanatlı sistemle soğutulması ise şematik olarak Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7: Kanatlı sistemle transistör yongası soğutulması. Çiğdemoğlu çıplak uçlu sığ kanat için yaptığı ısı transferi hesapları sonucu, transistör tarafından birim zamanda kanada giren ısı enerjisinin (transistordaki güç düşümüne denk alınarak):

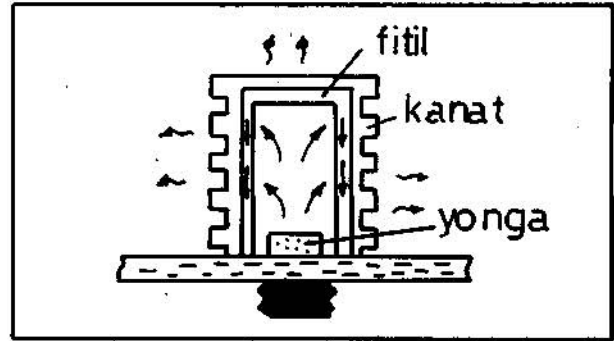
$$Q(w) - k.a.L.m. (T_j - T_A) \left[\frac{\sinh(m.b) + M \cdot \cosh(m.b)}{\cosh(m.b) + M \cdot \sinh(m.b)} \right] \dots (6)$$

ile verilmektedir (1).

Burada: $T_j - 150^\circ\text{C}$, $T_A - 25^\circ\text{C}$, tipik kanat boyutları $a - 0,002 \text{ m}$, $b - 0,02 \text{ m}$, $x - 0,15 \text{ m}$, $k' - 200 \text{ w/m} \cdot ^\circ\text{C}$ (alüminyum için ısı iletim katsayısı), $h - 5,5 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (kannattan ortama ortalama konveksiyonla ısı yayılma kat sayısı) olup, öteki parametreler; $m - (2.h/k.a)^{0,5} - 5,244 \text{ l/m}$, $M - h/m.k - 5,24 \cdot 10^{-3}$ ve $m.b - 0,105$ yazılırsa, denklem (6)'dan, gerekli işlemlerden sonra, $Q - 4,3 \text{ w}$ çıkmaktadır. O halde $P_{D(max)} - 62,5 \text{ w}$ olan BUZ 23 transistörünün burada tasarlanan bir kanatla soğutulması için $62,5/4,3 - 14,5$ kanat gerekir. Kanatlar arasından da

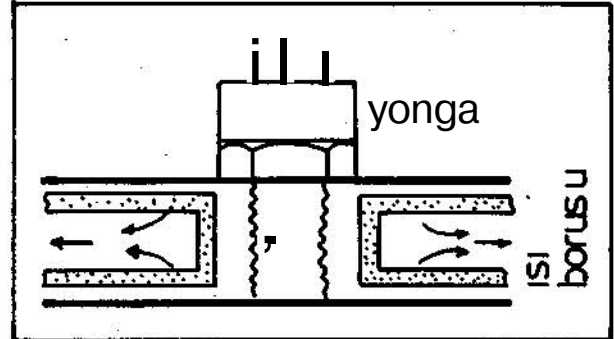
çevreye bir miktar ısı yayılacağı düşünülürse, iki tarafında 7'şer kanat bulunan bir sistemin bu transistörü soğutacağı anlaşılır. Kaynak (1)'in (30) nolu denklemiyle hesaplanan kanat verimi % 100 civarında çıkar. Isı borusu boyunca sıcaklığın hemen hemen sabit olduğu hatırlanırsa bu kanat verimi normaldir. Kanat malzemesi yerine Cu kullanılsaydı, ısı iletim katsayısı yaklaşık iki katına çıktığı için, iki tarafında 4'er kanat bulunan bir sistemle soğutma yeterli olabilirdi.

Kanatlı bir ısı borusu ile yarıiletken malzemenin soğutulması ise şematik olarak Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8: Kanatlı ısı borusu ile yarıiletken soğutma.

Düzlemsel biçimde tasarlanan ısı borusu ile transistör soğutmanın şematik görünümü de Şekil 9'da verilmektedir. Fitol ve kanatların bakırdan yapıldığı, fitil olarak 100



Şekil 9: Düzlemsel ısı borusu ile transistör soğutma.

meşlik elek kullanıldığı, 0,025 m. çaplı, çalışma akışkanının su olduğu bir denemede eksenel ısı akışının $6,7 \cdot 10^6 \text{ w/m}^2$ civarında seyrettiği belirtilmektedir (21). Bu akı daha önce belirlenen kanat sistemiyle kıyaslanabilir. 4 kanatlı Cu sisteminde $4 \times 2 - 8 \text{ mm}$ ve kanatlararası da bunun % 50 artmasını sağlıyorsa, toplam uzuntuk 12 mm olur. Bu durumda, eksenel ısı akışı, Fourier kanunundan:

$$k. \Delta T/x - 400 \text{ (w/m} \cdot ^\circ\text{C)}. 25^\circ\text{C}/1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m} \dots (7)$$

$$- 4,2 \cdot 10^6 \text{ w/m}^2$$

çıkar. Burada 25°C 'lik bir sıcaklık farkı kabul edilmektedir. Böylece ısı borusu, aynı koşullardaki kanata kıyasla, $6,7 \cdot 10^6/4,2 \cdot 10^6 - 1,6$ kat daha etkili

olmakta ve iki taraftaki 4'er kanat yerine 2"şer kanattan toplam 4 kanatlı sistemin yeterli olacağı anlaşılmaktadır. Bu sayede, kullanılan hacimler küçülmekte, maliyet azalmakta, daha etkili ve ekonomik olarak devre elemanları soğutulabilmektedir.

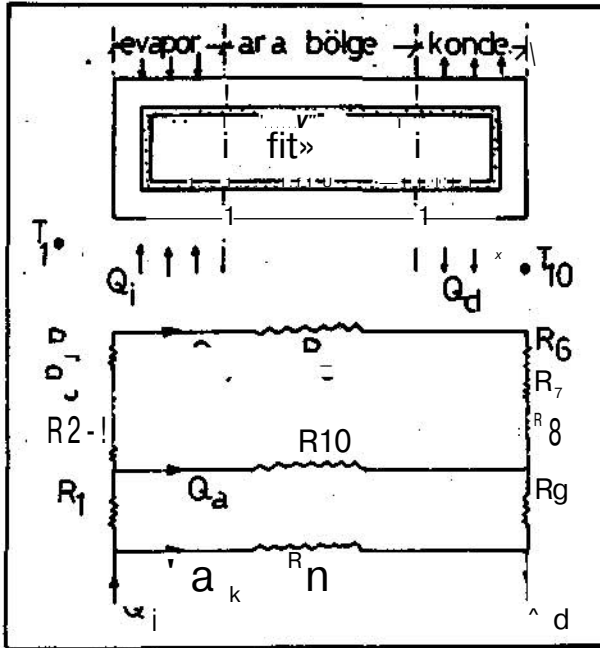
Isı borusunda ekstenel yönde taşınan maksimum ısı güç, Q, basınç düşümü denge denklemi ile Darcy kanunu yardımıyla:

$$Q \cdot m \cdot L - (p \cdot K \cdot A \cdot J \cdot i \cdot d) [(2 \cdot o \cdot \cos 6 / r) - p \cdot g \cdot d \cdot \sin a] L \dots (8)$$

ile bulunur (5). Burada: m, fitildeki sıvı debisini (kg/s); d, boru boyunu (m); L, buharlaşma ısısını; p, a, u. sırasıyla çalışma sıvısının yoğunluğunu, yüzey gerilim katsayısını ve viskozitesini; d, boru boyunu; K, r, A sırasıyla fitil permeblitesini, gözenek yarıçapını ve alanı; e temas açısını; 0 eğim açısını ve g yerçekimi ivmesini temsil etmektedir. Denklem (8) ile ekstenel ısı akısı üst değeri tahmin edilebilir.

4.3. Isı Borusu ve Isıl Diranç Devresi

Genel anlamda ısı transferini anlamak amacıyla, ısı borusu ısıl dirençler yardımı ile, elektrik devresine benzetilebilir. Böyle bir benzetim devresi Şekil 10'da verilmektedir. Bu devrede, T, sıcaklığındaki kaynaktan (örneğin transistor yongası veya elektrik motorundan) T₂ sıcaklığındaki evaporatör dış cidarına konveksiyon ile aktarılan güç, Q_j-Q_k - kadardır. Burada: Q_i, sıcak kaynaktan alınan ısı güç, Q_k ise T₁₀ sıcaklığında çevreye olan kayıp güçtür. Q_a ısı gücü ise Şekil 10'da tanımlanan R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇, R₈ ısıl dirençlerinden geçerek T₉ sıcaklığındaki kondenserin dış cidarına ulaşır; Q_a kadar



Şekil 10: Isı borusunda ısıl dirençler.

güç ise T₂ ile T₉ sıcaklığı arasında R₁₀ ısıl direncinden geçip, üst koldan gelen güçle birleşip, R_g ısıl direncinden geçip, kondenser dış cidarından konveksiyonla çevreye atılmaktadır. Isıl direnç, R, denklem (9)'la bellidir:

$$R = \text{Sıcaklık farkı} / \text{Isıl güç} \dots (9)$$

Şekil-10'da görülen bütün ısıl dirençler, prensip olarak, konveksiyon, kondüksiyon ve Clapeyron denklemlerinden kolayca bulunabilir. Bazı ısıl dirençler ise ötekiler yanında önemsiz kabul edilebilir ve yaklaşık çözümlere gidilebilir. Bununla beraber devrenin denk ısıl direnci, R₀, denklem (10) ile verilir:

$$R_d - R_{11} \cdot F_i + R_9 + R_{10} \cdot (f_{feB} + R_{to} > V) \\ F_{,A} + R_{,} + R_g + R_{a,} \cdot R_{10} / (R_{JJB} + R_{10}) \\ R_{20} = R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 \dots (10)$$

Aynı zamanda denk ısıl direnç:

$$R_d \cdot (V \cdot T_{10}) / Q \dots (11)$$

ifadesine de eşittir.

Tekrar çapı 19,5 mm (alanı 3.10⁻⁴ rr\$ ve P_{D(max)} · 62,5 w olan BUZ 23 güç transistörüne dönelim. Bu transistördeki ısı akısı 62,5/3.10⁻⁴ - 2,1 · 10⁵ w/m² civarındadır. Halbuki suyla çalışan tipik bir ısı borusunda ekstenel ısı akısı 6,7 · 10⁶ w/m² düzeyinde olup, 6,7 · 10⁶/2,1 · 10⁵ - 32 kat daha fazladır. Başka bir deyişle tek ısı borusu 32 tane BUZ 23 tipi transistoru soğutabilecek potansiyele sahiptir. Bu transistorun ısıl direnci, denklem (11)'den, R₀ - (150 - 25)°C/62,5 w - 2°C/w olarak çıkmaktadır.

5. SONUÇ

Tasarım ve teknoloji bakımından oldukça basit yapıdaki ısı borusu yöntemiyle, elektronik güç elemanlarının ve elektrik makinalarının soğutulması mümkündür. Böylece bu araçların verimi yükselmekte ve ömrü uzamaktadır, bu konuda çok kapsamlı araştırmalar yapılması zorunlu görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- (1) Çiğdemöğlü, M., "Yüksek Güçlü Elektronik Devre Elemanları İçki Soğutucu Tasarımı", Elektrik Mühendisliği, C. 28, S. 299, 1983/7.
- (2) Güngör, A., "Düzensel Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Isı Borusu uygulamaları ve Prototip Bir Toplayıcının Geliştirilmesi Üzerine Deneysel Çalışmalar". Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, C. 10, S. 4, 1988.
- (3) Uyarel, A., "Her İklim Tipi Güneşli Su Isıtıcısı", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, C. 8, S. 1, 1985.
- (4) Ataer, O.E., "İki Fazlı Termosifon ile Kollektör Tasarımı için Bir Öneri", EİEİ Güneş Enerjisi Konferansı, 1984, Ankara.
- (5) Dunn, P.D., Fteay, D.A., "Heat Pipes", Pergamon Press, 1982, London.
- (6) Chi, S.W., "Heat Pipes Theory and Practice", Hemisphere Publishing Corporation, 1976, New York.
- (7) Dutcher, C.H., Burke, M.R., "Heat Pipes, A Cool Way to Cool Circuits", Electronics, pp. 93-100, 16 February 1970.

- (8) Basiulis, A., Hummel, T.A., "The Application of Heat Pipe Techniques to Electronic Component Cooling", ASME Paper, 72-WA/HT-42.
- (9) Abdel Aziz, M.M., "Thyristor Cooling by Heat Pipe", Proceedings of Melecon 83, Mediterranean Electrotechnical Conference, 1983, Athens.
- (10) Eldridge, J.M., "Heat Pipe Cooling Etched Silicon Structure", IBM Technical Disclosure Bulletin, V. 25, No. 8, p. 4118, January 1983.
- (11) Kukharskii, M.P., Ivannikov, V.A., "Effectiveness and Applications of Centrifugal Heat Pipes in Electric Machines", Soviet Electr. Eng. (USA), V. 53, No. 9, p. 94, 1982.
- (12) Brophy, J.J., "Basic Electronics for Scientist, Mc Graw-Hill Book Company, 1966, New York.
- (13) Pastacı, H., "Elektronik", Yıldız Üniversitesi Matbaası, 1985, İstanbul.
- (14) Components Technical Descriptions and Characteristics for Students, SIEMENS, Munich, 1986.
- (15) Grover, G.M., Kemme, J.E., Keddy, E.S., "Advances in Heat Pipe Technology", 2nd International Symposium on Thermionic Electrical Power Generation, STRESA, Italy, May 1968.
- (16) Meinel, A.B., Meinel, M.P., "Applied Solar Energy", Addison-Wesley Publishing Company, 1977, London.
- (17) GÖrses, A.Ç., Tezcan, L., "Su Doldurmalı Isı Boruları Performansında Eğitim Açısının Etkisi", 9 Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE/MAK-86, AR 019, 1986, İzmir.
- (18) Feldman, K.T., Whiting, G.H., "Applications of the Heat Pipe", Mechanical Engineering, November 1968, pp. 48-53.
- (19) Fitton, G.L., "Taking Out the Heat", Electronic Engineering, December 1973, pp. 65-68.
- (20) Katzoff, S., "Heat Pipes and Vapour Chambers for Thermal Control of Spacecraft", Thermophysics of Spacecraft and Planetary Bodies, Progress in Astronautics and Aeronautics, V. 20, edited by B. Gerhard, Academic Press, 1968, London.
- (21) Holman, J.P., "Heat Transfer, Mc Graw-Hill Kogakusha Ltd., Fourth Edition, 1976, Tokyo, Japan.
- (22) Dağsöz, A.K., "Isı Geçişi", Birsen Yayınevi, 1977, İstanbul.



TMMOB
ELEKTRİK
MÜHENDİSLERİ
ODASI

(BİLGİSAYAR) KURSU

Odamız tarafından Bilgisayar programcılığı kursları düzenlendi. Kurslar genel başlık olarak iki bölümden oluşuyor. Zorunlu derslerin bulunduğu birinci bölümde bilişim mantığı, işletim sistemleri, veri yapıları, BASIC, FORTRAN ve COBOL yüksek seviye dilleri gibi konular ele alınıyor.

İkinci bölümde ise seçmeli ders olarak DBASE III ve LOTUS paket programları ve PASCAL yüksek seviye dili veriliyor.

Kurs süresi toplam 8 ay olup bu sürenin sonunda 2 aylık proje çalışması yapılacak. Kurs sonunda MEB tarafından düzenlenen final sınavını kazananlara Bilgisayarçılık Sertifikası verilecek.

İzmir Cad. İhlamur Sok. 10/1 Yenışehir/ANKARA, (Ankara Sanat Tiyatrosu Karşısı)