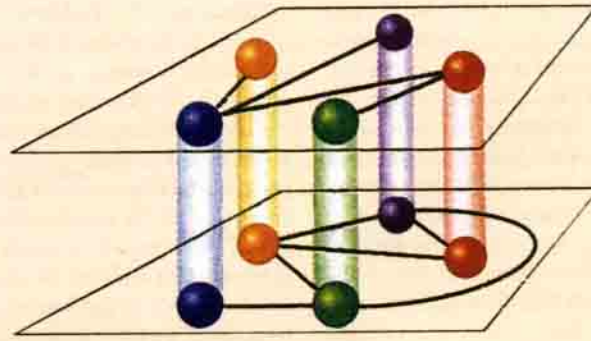


## Renk ve Elektronik

Son zamanlarda elektronik devre levhalarının yapılmasında graf kalınlığı kavramı, kullanılmaya başlandı. Graf, bir takım düğümlerin, kenar denilen doğrularla birleştirilmesidir. Bu uygulama New Jersey'deki AT&T şirketinin Bell Laboratuvarları'nda keşfedildi. Bir grafın düzlemsel olabilmesi için kenarları, birbirini çaprazlamadan, bir düzlem üzerine çizilebilmesi gerekir. Bundan bir sonraki adım, kalınlığı iki olan bir graftır. Kenarlar iki kümeye ayrılmış ve kümelerin her biri ayrı bir düzlem üzerine çizilmiştir. Kalınlığı iki olan veya iki katlı olan grafda düğümler dikey doğrular biçimini alır. Kalınlığı üç olan, ya da üç katlı denilen grafalarda kenarlar, üç kümeye ayrılıp üç kat



*Sandviç, kalınlığı iki olan bir graftır: İki düzlemsel graf ve dikey doğrular biçimini almış düğümler.*

(üç düzlem) üzerine çizilmiştir vb.

Kalınlığı iki olan bir grafı bir çeşit "sandviç" olarak düşünebilirsiniz. Birinci ekmeği dilimi üzerine, birbirlerini çaprazlamayacak şekilde birinci kümenin çizgilerini, ikinci dilim üzerine yine çaprazlamayacak şekilde ikinci kümenin çizgileri çizilir. Düğümler dikey çizgiler şeklini alarak iki dilim arası-

nı doldurur. t sayıda dilim ekmeğe gereksinimi olan bir grafın kalınlığı t'dir.

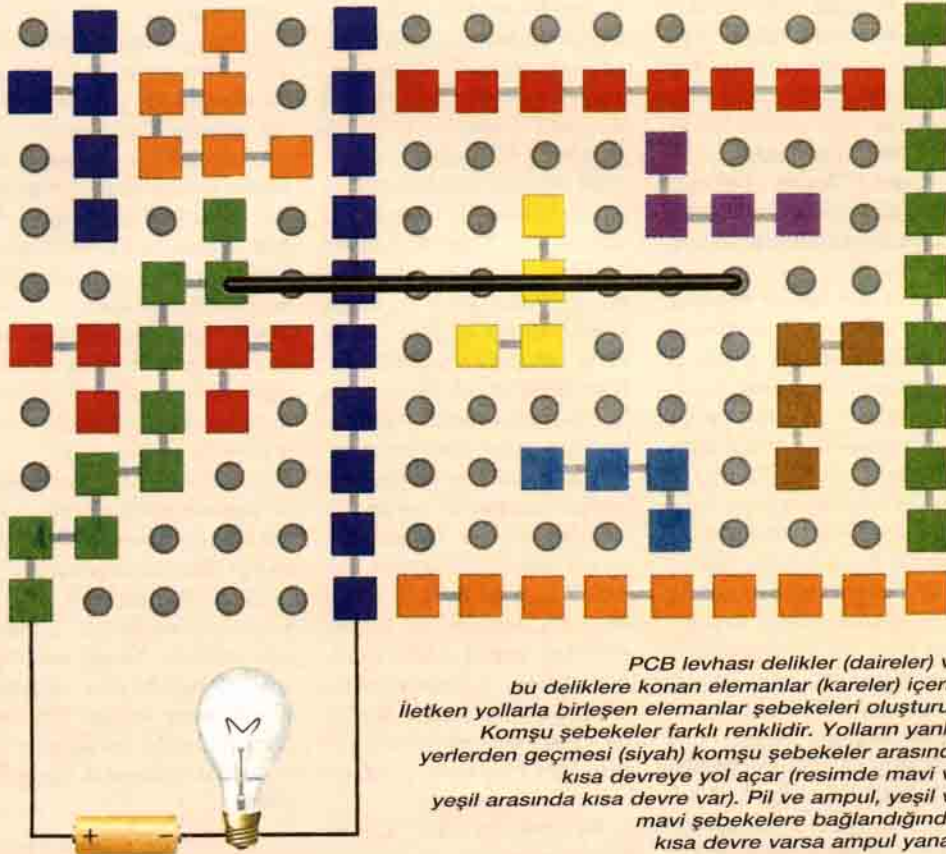
Elektronik devreyi bir graf olarak düşünün. Düğümler, elektronik devre elemanları, çizgiler de bunları birleştiren yollardır. Eğer devre "baskı devre levhası"nın (printed circuit board ya da kısaca PCB) bir yüzünde olacaksa, kısa devreyi önlemek için düzlemsel olmalı-

dır. Levhanın iki yüzünü de kullanırsak -iki dilimli sandviç gibi- kalınlığı iki olan bir graf elde etmiş oluruz. Levhaları üst üste koyarak grafın kalınlığı artırılabilir.

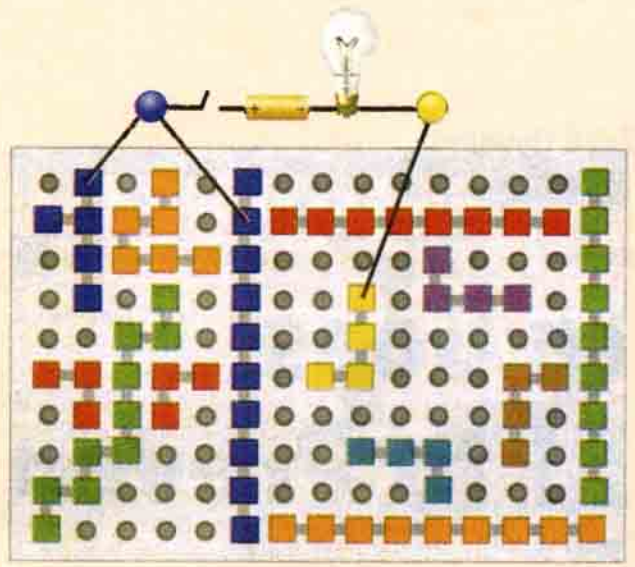
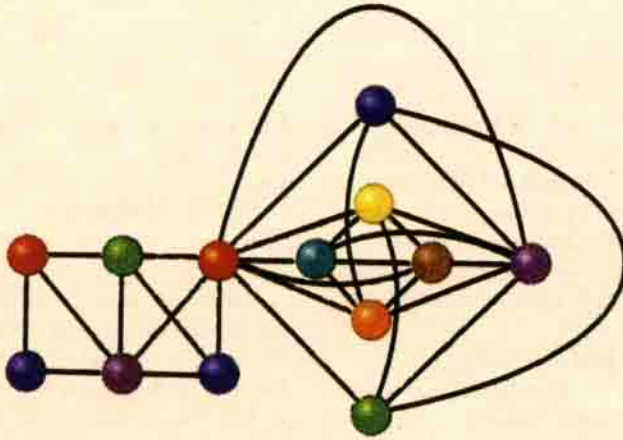
Tipik bir PCB üzerinde 10 000 (100 x 100) delik vardır. Her iki deliğe bir elektronik devre elemanı konur; elemanlar dikey ve yatay iletken yollarla birleştirilir. Bu iletken yollara, elemanları birleştiren teller gözüyle bakılabilir.

PCB yapımında önemli bir sorun, birbiriyle birleşmemesi gereken elemanların yanlışlıkla birleştiği -kısa devre yapmış- PCB'leri bulup ayırmaktır. Pratik nedenlerle PCB yapımı sırasında elemanlar "şebekeler" (nets) ayrılır. Şebekeler, bir düğümler ve çizgiler kümesidir; öyle ki şebekeler hiçbir kapalı devre oluşturmaz. Yani şebekelerin uçları birleşip kapalı bir eğri oluşturmaz. İki şebekenin yanlışlıkla birleşip kısa devre yapması bir sorundur. Bunu saptamanın en kolay yolu, bütün şebekeler çiftlerini kısa devre bakımından kontrol etmektir. Kısa devre şöyle anlaşılır: Bir pilin pozitif ucuna bir şebekeler, negatif ucuna da seri bağlı bir ampul üzerinden ikinci şebekeler bağlanır. Kısa devre varsa ampul yanar. n sayıda şebekelerde kısa devre saptaması için  $n(n-1)/2$  sinama yapmak gerekir. Bu, n şebekeden seçilebilecek ikililerin sayısıdır. 500 şebekeler varsa  $500 \times 499 / 2 = 125\ 000$  dolayında sinama gerekir. Bu sayı çok fazladır.

Graf kalınlığı kavramının yardımıyla yapılacak sinama sayısı 11'e ve hatta 4'e iner. Şöyle ki: PCB tasarımı, kısa devreleri ortaya çıkaracak bir grafa dönüştürülür. Buna şebekeler grafı adı verilir. Her şebekeleri bir düğüm temsil eder. Şebekeler grafın kenarları potansiyel kısa devrelerdir. Potansiyel diyoruz, çünkü kısa devre olduğundan emin olursa, zaten bu araştırma



*PCB levhası delikler (daireler) ve bu deliklere konan elemanlar (kareler) içerir. İletken yollarla birleşen elemanlar şebekeleri oluşturur. Komşu şebekeler farklı renklidir. Yolların yanlış yerlerden geçmesi (siyah) komşu şebekeler arasında kısa devreye yol açar (resimde mavimsiyah yeşil arasında kısa devre var). Pil ve ampul, yeşil ve mavimsiyah şebekelere bağlandığında, kısa devre varsa ampul yanar.*



Resimdeki şebeke grafının kalınlığı ikidir; PCB levhasının hem üst yüzü kullanılmıştır. Her şebeke bir düğüm tarafından simgelenmiştir. Komşu düğümler olası kısa devreler olan kenarlarda birleştirilmiştir.

Prob aynı renkli şebekeleri birleştirir. Mavi ve yeşil probalar arasında ampul testi yapılırsa, bu iki renk arasında kısa devre olup olmadığı anlaşılır.

yapılmaz. Şunu da belirtelim: İki şebeke "komşu" ise, bunlar bir kenarla birleştirilmiş iki düğümle temsil edilecektir. Şebekelerin komşuluğunun tanımı şudur: İki şebeke, bir ara şebekeden geçmeyen dikey ya da yatay bir doğruyla birleştirilebiliyorsa komşudur. Doğaldır ki kural olarak komşu olmayan şebekeler arasında da kısa devre olabilir. Hemen hemen bütün bu tür kısa devreler, komşu şebekeleri de kısa devre yaptırır. PCB'lerin yapıldığı aygıt, levha üzerinden biri yatay, biri dikey olmak üzere iki geçiş yapar. Eğer aygıt gerektiğinden fazla iletken madde döşerse, iki şebeke yanlışlıkla birleştirilmiş olur. Buna üretim hatası denir. İletken madde yanlışlıkla birçok şebekeyi de birleştirmiş olabilir. Ama bunlardan en az ikisi komşu olmak zorundadır. Bu nedenle kısa devre saptamasında yalnızca komşu şebekeleri inceleme yeterlidir.

PCB grafının kalınlığının iki olduğunu (levhanın üst ve alt yüzleri) belirtmiştik. Şebeke grafının kalınlığı da aynı nedenle ikidir. Ama 19. yy İngiliz matematikçisi Percy John Heawood'a göre, kalınlığı iki olan bir graf 12 renkli olabilir! Şöyle ki; her düğüme 12 renkten biri verilir ve kenarlar yalnız farklı renkten olan düğümleri birleştirir. O halde herhangi bir PCB'nin şebeke grafi 12 renkli olabilir. Bu kuramı

PCB şebekelerine uygulayalım. Aynı renkli şebekeler asla komşu olmayacak biçimde her şebekeye 12 renkten biri verilir. Komşu şebekeler arasında kısa devre arandığı için, yalnız farklı renkli şebekeler arasında kısa devre arama yeterlidir.

Aynı renkten olan tüm şebekeler bir araya getirilir. 12 rengin her biri için bir prob yapılıp (aynı renkli tüm şebekeleri birleştiren, ağaç dalları biçiminde iletken bir oluşum).

Diyelim ki mavi ve sarı renkleri seçildi. Mavi ve sarı probalar, PCB'ye ayrı ayrı bağlanır. Sonra bunlar bir pil ve ampulle birleştirir, ampulün yanıp yanmadığına bakılır. PCB'de bir kusur yoksa ampul yanmaz. Ampul ya-

narsa mavi ve sarı şebekeler arasında kısa devre var demektir.

Ne ki bu sınıma, kısa devrenin nerede olduğunu bildirmez. Kısa devreli bütün PCB'ler atılacağından (onarım söz konusu değil) bunun bilinmesi de gerekmez. Kusurlu PCB'leri bulmak için, olası bütün prob çiftleri denenmelidir. 12 prob bulunduğu için bu çiftlerin sayısı 66'dır.  $12 \times 11 / 2$ . Görüldüğü gibi yapılacak sınıma sayısı matematik sayesinde 125 000'ten 66'ya düşmüştür.

Ne ki bundan daha iyisi de yapılabilir. Önce  $P_1$  (prob 1) ile  $P_2$  (prob 2) sınanır. 1. ve 2. şebeke arasındaki kusurlu PCB'ler atılır.  $P_1$  ve  $P_2$  bir anahtarla birleştirilir. Sonra

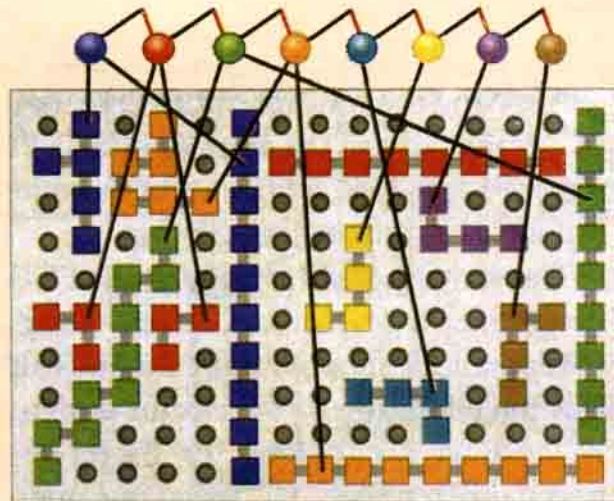
$P_3$ 'ün,  $P_1$  ve  $P_2$  ve anahtarlardan oluşan devreyle kısa devre yapıp yapmadığı araştırılır. Eğer kısa devre varsa  $P_3$ , ya  $P_1$  ya da  $P_2$  ile birleşmiş demektir. Bu PCB atılır. İkinci bir anahtarla  $P_3$ ,  $P_1$  ve  $P_2$ 'ye birleştirilir. Böylece yapılacak sınıma sayısı 66'dan 11'e düşer.

West Michigan Üniversitesi'nden Allen J. Schwenk, bu sayının daha da düşürülebileceğini göstermiştir. 1'den 12'ye kadar olan sayılar ikili (binary) sistemle 0001'den 1100'a kadar yazılır. Sıfır ile başlayan tüm şebekeler bir süperproba ve bir ile başlayan tüm şebekeler de başka bir süperproba bağlanır. Bu iki süperprob arasında birleşme olup olmadığı araştırılır. Birleşme varsa o PCB atılır. Birleşme yoksa ikili sayının 2. basamağı aynı olan problemlerden iki süperprob elde edip sınıma tekrarlanır. İkili sayının 3. ve 4. basamakları için de aynı şeyi yapılır.

Bunun nasıl sonuç verdiği şöyle anlaşılabilir: Eğer iki prob arasında kısa devre varsa, bunların ikili sayılarla yazılışı dört basamaktan en az birinde farklı olmalıdır; böylece bu dört sınımadan biri hatayı gösterecektir.

Böylece 125 000 sınımadan 4 sınımaya düşülerek hızlı bir üretimde, her PCB için yapılacak kısa devre sınıması çok basitleştirilmiş oldu.

Stewart, I., Scientific American, Eylül 1997  
Çeviri: Selçuk Alsan



Değişik renkli problemler art arda birleştirilirse kısa devre sınımalarının sayısı azalır.