Boole Cebrine Bir Bakış

Yazan :
H. R. HENLEY

Çeviren :
Ersin ALTANSUNAB
Y. Müh.

1854 senesinde George Boole «Hakikat kanunlarında bir araştırma» adıyla neşrettiği broşürü ile bugün artık Boole cebri olarak bilinen mantık cebrini geliştirmişti. Fakat o devirde kendisi bu çalışmalarının kontrol mühendisliği ve sayısal hesaplama sahasında büyük tatbik sahası bulan matematiki araştırma metodlarım kolaylaştıracağını hiç düşünmemişti.

Boole cebrinden geliştirilen (swıtching) açma—kapama cebri umumiyetle sebebe dayanan oldukça rijit matematik metodları kapsamaktadır. Bizim bu makalede anlatmak istediğimiz cebrin içine girmek değil, basit açma kapama sistemlerinin analiz ve sentezini yapabilmek için lüzumlu bazı kaideleri izah etmektir.

Açma—kapama sistemleri otomatik telefon santrallannda olduğu gibi binlerce röleyi ihtiva edebildiği gibi digital computer'lerdeki şekli ile yarı iletgenlerde de meydana gelebilir. Fakat her halükârda mantıki esaslara dayanan açma—kapama operasyonlarını gerçekleştirir Yukarıdaki iki haldede yâni genel olarak sistemin herhangi bir andaki durumu ile alakadarız. Bu da iki değer olabilir. Doğru ve yanlış durumları. Yâni iletgenlerde gerilim vardır veya yoktur, yahutta devre iletgendir veya değildir durumlarında olduğu gibi.

Farzedinizki A ıletgeninin gerilimi ya 10 volt yada 0 volt olabilsin, «A iletgeninin gerilimi 10 volttur.» hükmü 10 voltun bulunup bulunmamasına bağlı olarak doğru veya yanlış bir hüküm olabilir Kolaylık olması bakımından uygun bir sembol seçelim. Meselâ doğru hükmü için I yanlış için O dersek A = I,A hükmünün doğru olduğunu gösterir.

Bir sistemin işlemesini tarif edebilmek için VE, YAHUT ve DEĞİL hükümlerini de kullanmak zorundayız. Herhangi bir hüküm bu terimlerle ifade edilebilir. Meselâ bir sistemde şu durum bulunabilir. «F iletgeninde 10 voltluk bir çıkış gerilimi yalnız A ve B iletgenleri aynı ve 10 voltluk potansiyelde olduğu zaman ve C iletgenindekı gerilim O ise elde ediliyor». Açıkça görülüyorki bu çeşit sınıflandırmalar çok geniş olabilir. Bu bakımdan sem bolık bir metot kullanılmasına zaruret vardır VE, YAHUT ve DEGIL için normal cebirde kullandığımız X, +, ve — sembollerini kullanalım.

A + B A yahut B diye okunacaktır.

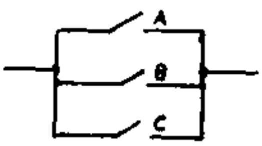
A + B yahut A X B A ve B diye,

$\bar{A}$ A değil diye okunur.

1 = 0 Doğru değil = yanlış demektir.

Bazı cebir sembollerini kullanmamıza rağmen hiç bir şekilde işlemlerimize basit cebir kaidelerini tatbik etmiyeceğiz. Ve cebir kaidelerinin burada bir mânası olmayacaktır.

Röle kontaklarından meydana gelmiş bir mantık devresi alalım, (röle sargısı gösterilmiyecektir.) S ile gösterdiğimiz hüküm şu olsun «Kontaklar üzerinden geçen devre süreklidir.» Eğer bu doğru ise S = I dir. Önce şekil l'deki paralel A,B ve C kontaklanndan meydana gelen devreyi düşünelim.

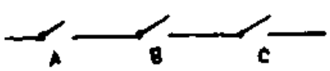


Şekil. 1

Eğer A yahut B yahut C kapalı ise (çalışmış ise) devre süreklidir. Bundan dolayı F = A + B + C yazabiliriz.

Şekil 2 deki seri devre için

F = A. B. C olacaktır.



Şekil. 2

Şimdi faydalı bir vasıta olan doğruluk tab loşundan bahsedebiliriz. Doruluk tablosu A, B, C vs. değişkenlerin ve F neticesinin mümkün olan ihtimallerini gösteren bir tablodur. Meselâ F = A. B. C toksiyonunu nazarı • itibare alalım. Bunun doğruluk tablosu şekil 3 de gös terilmiştir. Tablodan görülüyorkı eğer A = B = C = I ise F = I dir. Değişkenlerin mümkün olan ihtimallerini bu tabloya doldururken sistematik bir metot arzu edilir. Bu da basit olarak şöyledir:

A	e	C	F
o	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	I	0
I	1	t	(

Sekil.3

Birinci kolon I ve O in teker teker değişim leri yazılarak ikinci kolon I ve O in ikişer ikişer değişimleri yazılarak doldurulur. Üçüncü sü tun için dörder değişimler n'ıncı sütun ise (n değişken için) „n-I defa sıfır şeklinde doldurulur.

DEGÎL fonksiyonunun ehemmiyeti röle kon taklarından meydana gelen bir devre ile izah edilebilir. S = A olan bir devremiz olsun. A çalıştığı zaman kapayan bir kontak ise A = I olduğuduğu zaman S = 1 dir. Eğer S = $\bar{A}$ ise A = O olduğu zaman S = $\bar{A}$ = I olur, yani kon tak çalıştığı zaman devre açılır. (Bu çalışınca açan bir kontaktır.) Kontaklar şemalarda bir kabule göre. istirahat (çalışmadığı) durumda gösterilir.

A ve $\bar{A}$ in doğruluk tablosu şöyledir:

A	X
I	O
0	L

Diğer bir kaide YAHUT ve VE nin kanunudur.

A (B + C) = AB + AC (I)

A + BC = (A + B) (A + C) (2)

(I) nolu eşitlik basit cebir kaidelerine benzen, ama diğeri öyle değildir.

Keza VE ve YAHUT izahlarından I ve O için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

1 + 1 = 1 A.A = A

I + O = I A + A = A

1X1 = I A + I = I

1 X 1 = 1 A + I = I

I X O = O A X I = A

Bu eşitlikler doğruluk tablosu kullanılarak tahkik edilebilir.

Görüldüğü gibi bölüm ve çıkarma işlemleri kullanılmamaktadır. Ve keza meselâ A + BC = A + D ise her iki taraftan A çıkarılarak BC = D yazılamaz Böyle işlemler tarif edilmemiştir.

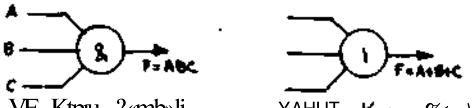
Bu cebirdeki çok mühim bir özellik dua. litedir.

I in duali O,A nın duali $\bar{A}$ dir. VE nin duali YAHUTTUR.

a) A (B + C) = AB + AC

b) A + BC = (A + B) (A + C) eşitliklerinde (a) da + yerine x konursa (b) eşitliği elde edilir. Aynı şey (b) eşitliğinde yapılırsa (a) elde edilecektir. Yukarıdaki kaideler karışık açma - kapama devrelerinin basıtleştirilme sinde kullanılır: Bunlarla ilgili misallerle uğraşmadan evvel, mantık işemlerini diyagram larla tasvir eden daha genel bir yola başvuracağız. Bu usulle şimdiye kadar kullandığımız role kontaklarına ihtiyaç kalmayacaktır. Esasen açma— kapama cebrihin yatbikatlarımn bir çoğunda elektronik elemanlar rölelerden daha çok kullanılmaktadır.

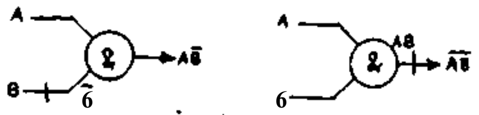
VE \e YAHUT fonksiyonları birkaç giriş ve bir çıkışı olan daireler şeklinde gösterilir.



VF Ktpıu ?«mb»li YAHUT Kapısı %tm\.\ü

Şekil 4

Şimdiye kadar devre dediğimiz bu şeylere bundan sonra kapı diyeceğiz. Bundan böyle Ve kapısına girişlerin hepsi I ise kapı açıktır. Eğer girişlerin biri veya daha fazlası O ise kapalıdır. HAYIR giriş iletgenlerinden birinin üzerine konulan kısa bir hatla gösterilmiştir. (Şekil 5)



D4>>- Sembolleri

Şekil. 5

Fizikı bir mantık fonksiyonu HAYIR işle mini yerine getiriyorsa aşağıdaki sembolle gös terilecektir.

Şimdi birkaç misalle eşitlikleri daha basit benzer formlara düşürmeyi görelim. Buna indirgeme denir.

F = A + AB

= A.I + AB

= A (B + $\bar{B}$) + AB

= AB + AB + AB VE için dağıtım kaidesini kullanarak ve (AB + AB = AB) olduğundan

= AB + A§

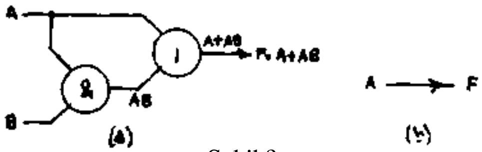
= A(B + $\bar{B}$) = A I = A elde edilir.

Bulunan netice şaşırtıcı bir neticedir. Zira bu demektir ki orjinal devre direkt bağlantı ile yer değiştirebilir. Yani B girişi çıkışa tesir etmemektedir. Bu neticenin doğruluğu doğruluk tablosu ile tahkik edilebilir.

A	8	A8	M M
1	|	1	(
0	1	6	0
1	0	0	1
0	,0	0	0

Şekil. €

tik ve son kolonlar aynıdır. Devre direkt bağ Jantı ile yer değiştirebilir. Mantık diyagramı olarak Şekil 7 (a) daki diyagram (b) haline gel miş oluyor.



Şekil.?

Yukarıdaki ifadenin duvali olan A (A+B) = A aynı yoldan ispat edilebilir. Diğer dualite teoremleride indirgeme için lüzumludur.

A (Â_+ B) =AB

A + AB = A + B

ikinci eşitlikte

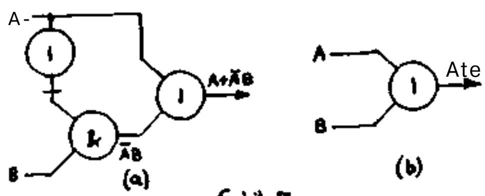
A + ÂB = (A + Â) (A + B) yazılabilir.

(YAHUT'un dağıtım kanununu kullanarak)

= I. (A + B)

= A + B

Bunların hepsi doğruluk tablosu kullanılarak tahkik edilebilir. Bu basitleştirme Şekil 8 de gösterilmiştir Burada (a) nın yerini (b) al maktadır. Bu neticeye göre bir VE kapısı ile ile $\bar{A}$ meydana getiren tertip yerine yukarıda görüldüğü gibi daha az eleman kullanarak büyük bir ekonomi sağlamaktayız.



Şekil 8

De Morgan Teoremi: Bu teorem mantık devrelerinin analiz ve sentezinde kısmende (DEÖÎL—*VE)* ve (DEĞtL—YAHUT) devrelerinin anlaşılmasında çok önemli bir kanundur. Teorem derki:

$\overline{AB}$ = Â~ + $\bar{B}$* dualıtesı düşünülürse

$\overline{A + B}$ = Â$\bar{B}$ dir.

Bu hükümler Boole cebrinin temel hüküm leridir. Bunlardan ilkini doğruluk tablosu ile tahkik edelim. Tablo Şekil 9 da gösterilmiştir.

A	B	X	i	Ā?	Xtf
I	1	0	0	0	O
e	1	1	6	1	1
/	0	0	1	1	1
0	0	t	1	1	1

ŞcUA- 9

Son iki kolon birbirinin aynıdır buda teoremin doğruluğunu tahkik etmektedir, ikinci eşitliğin tahkikini okuyucuya bırakıyoruz. Bundan aşağıdaki eşitlikler türetilebilir.

$\overline{AB + CD} = (\bar{A} + \bar{B})(\bar{C} + \bar{D})$

$\overline{(A + B)(C + D)} = \bar{A}\bar{B} + \bar{C}\bar{D}$

Görüldüğü gibi De Morgan teoremi dualite kaidelerine uyan çok genel bir ifadedir.

S E N T E Z :

Şimdiye kadar öğrendiğimiz bilgilerle çok entrasan olan kontrol devrelerinin sentezi ile uğraşmaya başlıyabiliriz. Burada istediğimiz, belli hükümlere göre girişler alındığında çıkış ta belli bir cihazı kontrol ederek bir mantıki hadiseyi meydana getirecek sistemin gerçekleştirilmesidir. Mesalâ bir yolcu asansörünün kontrol sisteminin şu işlemleri yapması gibi: Kapının kapalı olup olmadığı; hangi kat çağırıyor, yolcu tarafından seçilebildimi? Operatör tarafından veya yolcu tarafından kontrol edilebilmesi gibi.

Umumiyetle böyle sistemler iki sınıfa ayrılırlar: Birleşime göre çalışanlar sıraya göre çalışanlar. Biz burada birince sınıfa girenlerle uğraşacağız. Bu da belli girişlerin toplamına göre çıkışın ne olacağının incelenmesidir. İkinci sınıf devrelelerde elemanların sırası yani meydana geliş zamanları önemlidir. Devrenin çıkışı girişlerin ve devrenin önceki durumunun bir fonksiyonudur. Bu mevzu bizim makalenin kapsamı dışındadır.

Birleşik mantık sistemlerinde istenenler umumiyetle daha evvelden karar verilmiştir. Bu giriş ve çıkış hükümleri doğruluk tablosuna nakledilmelidir. Bu tablo vasıtasıyla giriş ve Çıkışla ilgili eşitlikleri türetebiliriz. Tatbik edilecek metot şudur:

a) Doğruluk tablosunda çıkışı doğru olan sıralar (yani neticesi I olan sıralar) seçilerek işaretlenir.

b) Bu sıraların her biri içm giriş fonksiyonlarının neticeleri yazılır.

c) Bu neticeler birleştirilerek çıkış fonksı yonu bulunur.

Meselâ : istenilen doğruluk tablosu Şekil 10 da gösterildiği gibi olsun yapılacak işlemi bura ya tatbik edelim.

A	0	c	F
I	1	1	1
I	0	1	6
0	|	9	I
1	e	0	0

/ FsABt

• f»Â8C̄

Şekil 10

F neticesi doğru olan (yani I olan) (I) ve (3) vıolu sıraları işaretler ve seçeriz. Fonksiyo nun ne'.icslerini yazarız. Bunlar sıra için F = ABC, uçuncü sıra için F = $\bar{A}B\bar{C}$ dır. Neticeleri birleştirirsek :

A	B	F
I	(	a
0	1	1
1	0	I
0	0	O

✓
✓

•>ek,'l. ti

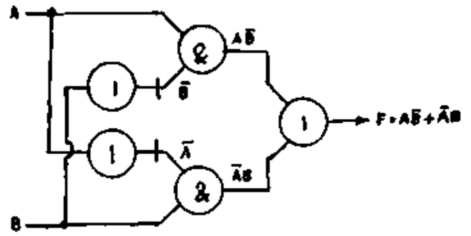
F = ABC + $\bar{A}B\bar{C}$ elde edilir.

Bir misal olarak muhtasar bir YAHUT devresi düşünelim Bu daha evvel uğraştığımız basit YAHUT devresinden farklıdır. Onda A ve B nin aynı anda I olması durumu yoktur. İstenilen işlem A = I yahut B = I iken çıkışın I olması. Fakat A ve B nın aynı anda = I olmaması halidir. Buna tekabül eden doğruluk tablosu şekilde gösterilmiştir. Tablodan F = I hali 2 ve 3 numaralı sıralardadır. Dolayısı ile istenilen eşitlik:

F = $\bar{A}B$ + $A\bar{B}$ dıı. Genel olarak doğruluk tablosundan elde edilen eşitlikler bu mısaldekine nazaran çok daha kompleks olabilir bunun için bir veya daha fazla kaide tatbik ederek mümkün olan basitleştirmeyi yapmak lâzımdır

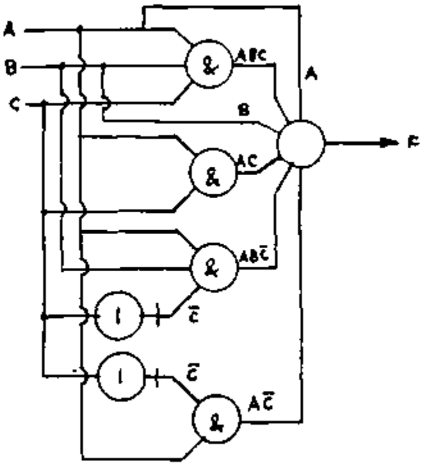
Bütün bunları yaptıktan sonraki iş elde edilen cebrık ifadenin mantık devresine çevrilmesidir. Bunu yapmak için daha önce incele diğimiz kapılar hakkındaki referanslar hatırlanmalıdır. Elde edilmiş olan cebrık ifadedeki her + işaret YAHUT devresine bir girişi göste rir ve her istihsal edilen netice yanı çıkış bir VE devresine girişi icap ettirir. Yani AB + CD toplamı iki girişli iki VE devresi ve iki girişli bir YAHUT devresine ihtiyaç bosterir.

Şimdi yukarıdaki misale dönelim. Orada F = $A\bar{B}$ + $\bar{A}B$ idi. îki netice (çıkış) vardır. ($A\bar{B}$ ve $\bar{A}B$) Bundan dolayı iki girişi olan iki VE devresi lâzımdır Ayrıca VE devrelerinin çıkıştemı giriş kabul eden bir YAHUT devresi bulunacaktır Bunlara ilâveten $\bar{A}$ ve $\bar{B}$ için iki tane HAYIR devreside olacaktır. Bu fonksiyonun diyagramı Şekil 12 de gösterilmiştir.



Şekil. 12

Daha karışık bir misal olarak F = AC + ABC + $AB\bar{C}$ + $A\bar{C}$ + A + B ifadesini alalım. Bunun diyagramı şekil 13 deki gibidir. Her ne kadar şekilde C için ıkı ayrı değiştirici kullanılmışsada bir tanesinden ıkiside beslenebilirdi. Bu misale daha evvel öğrendiğimiz kaideleri tatbik edebiliriz.



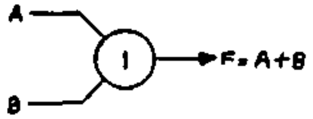
Çekil. 13

$$F = A(C + \bar{C}) + AB(C + \bar{C}) + A + B$$
$$= A + AB + A + B$$

= A + AB + B dir çünkü C + $\bar{C}$ = I

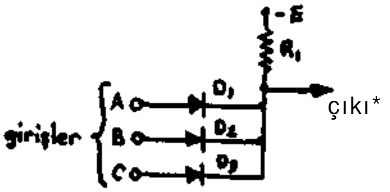
A + A = A idi A + AB = A olduğu hatırlanırsa

= A + B elde edilir. Bundan böyle yukarıdaki çok karışık ifade basit bir YAHUT devre si haline gelmiş olmaktadır.

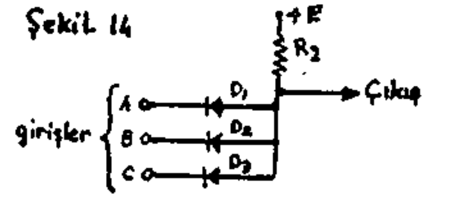


Mantık işlemlerini gerçekleştiren elektronik devreler.

VE ve YAHUT devrelerin gerçekleştiren çeşitli elektronik devreler vardır Bunların en basiti ve en ucuzu Şekil 14 ve 15 de gösterilen diyotlardan meydana gelen sistemlerdir.



Diyodlarla gerçekleştirilmiş
VE Kapısı
Şekil 14



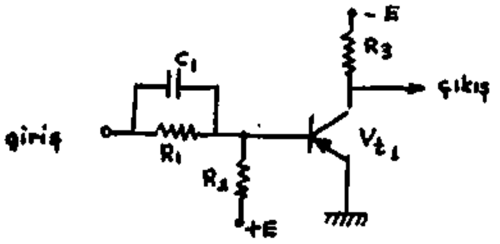
Diyodlarla gerçekleştirilmiş
YAHUT K«fMi
Şekil. 15"

Her iki kapıda şekilde görüldüğü gibi — E Volt gerilim seviyesini mantık gerilim seviyesi olarak almıştır. —E volt = «I» dir. O volt = «O» olarak alınmıştır. VE devresinde kolayca görülüyorki eğer A, B yahut C girişlerinden biri O volt İse Dİ, D2, D3 diyotlanndan biri doğru polanlmış olacağından çıkış O volt olacaktır. (Hakikatte diyodun iletim yönündeki gerilim düşümü dolayısiyle çıkış sıfırdan fark lı olur. Bu 0,3 volt kadardır.) Eğer A,B ve C ay nı anda —E volt gerilimde ise çıkış —E volt olacaktır.

Eğer girişlerin hepsi — fakat farklı geri I imde iseler çıkış en düşük seviyedekinden yüksek olmayacaktır.

YAHUT kapısı durumunda bütün girişler 0 volt ise çıkış takriben sıfır olur. Eğer A ya hut B yahut C veya bunlardan birkaçı —E volt geriliminde ise çıkış —E volt olacaktır. Bu rada —E volt — «I», 0 volt = «I» dır.

Bu sistemde giriş kaynaklan çıkış akımını temin edebilecek gücü verebilmelidir. Çıkış seviyesi giriş uçlarının adedinin ve gerilimlerinin bir fonksiyonu olacaktır. Birkaç kattan sonra sinyal seviyeleri çok zayıflayacağından amplifikatör katları kullanılması icap edecektir. Şekil 16 da DEĞÎL fonksiyonunu gerçekleştiren



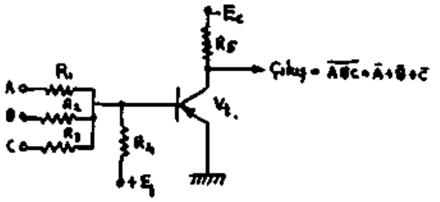
Şekil. 16

bir emetör montaj lı amplifikatör görülmektedir

Giriş gerilimi sıfır ise («0») Vtl in bazı RI.R2 gerilim bölücüsü vasıtası ile pozitifte tutulur. Ve transistor kesimde kalır. Dolayısiyle çıkış —E volt olur. (Transistor kaçak akımı dolayısı ile R3 üzerinde meydana gelecek gerilim düşümü ihmal edilmiştir.) Bundan dolayı çıkış «I» dir.

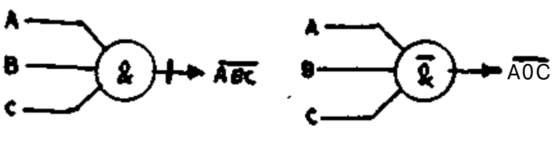
Eğer giriş «I» ise yani —E volt olursa Vtl bazı negatife gider. Transistor çalışır. R3 deki gerilim düşümü —E volt olur. Dolayısiyle çıkış O voli yani «O» olur. Yukarıdaki devre olarak karışık mantık sistemlerinin hücrelerini teşk'l eder. Münasip bağlantılar yapılarak istenilen sistem gerçekleştirilir.

Pratikte çok kullanılan diğer bir sistem DEGIL ve VE sistemlerinin birleştirilmesinden meydana gelen kombinezonlardır. Bunun gibi DEĞÎL ve HAHUT! sistemleride birleştirilebilir. Şekil 17 de DEĞÎL-VE mantık devresi gösterilmiştir.

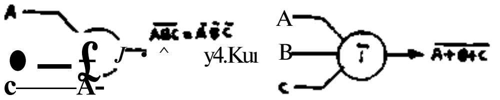


Şekil. 17

Referans gerilim seviyeleri «I» = O volt ve «O» = E, volt olsun, Rl, R2, R3 baz dirençleri öyle seçılmiştirki bütün girişler o volt «I» ise Vtl kesimdedir. Ve çıkış —E volt yani «O» dır. Eğer bir veya daha fazla giriş —E volt olursa Vtl iletgen hale gelir. Çıkış sıfır volt yani «I» olur. Bu devre daha önce izah edilen DEĞİL devresi gibidir. Fakat girişlerinde VE fonksiyonuda vardır. Eşdeğer devre şekilde gösterilnı'ştir.



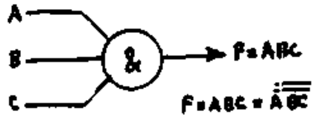
Yukarıdaki devrede açıkça görülüyorki ıeferans seviyeler değiştirilirse yani «I»=—E volt ve «O» = O volt olursa transistor bütün girişler «O» iken kesimde olur. Girişlerden bi ri «I» ise iletgen hale gelir. Bu şekilde DEĞIL - YAHUT kombinezonu meydana çıkar. İkisi arasında bir dualite vardır. Bir tanesi iki kombinezonu yerine getirecek şekilde kullanılabilir. Bu devre şematik olarak şekil 18 de gösterilmiştir.



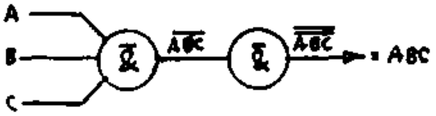
Ş«k.'l. IS

Bu devrelerde bir sistemin hücreleri olarak yapılırlar. Bunların avantajı her hücrenin aynı zamanda lüzumlu amplıfikasyonu da sağlamasıdır.

DEĞİL - VE fonksiyonu ile donatılma iki kademe halinde yapılır. Önce Boole cebri kullanılarak basit diyagram çizilir. Sonra her eleman eşdeğer DEGÎL - VE elemanları ile değiştirilir. Bir misal olarak VE kapısını alalım. Şekilde basit VE kapısı gösterilmiştir.

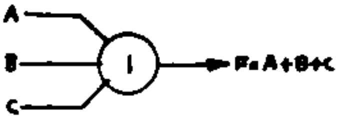


Bunun eşdeğer DEGÎL - VE devresi aşağıdaki gibidir.



Bunu yaparken $\overline{A} = A$ olduğunu kabul ediyoruz Biliyoruzki bir DEĞÎL - VE kombinezonu olumsuzluk ifade eder onun için ikinci aynı tip bir devre kullanmaya ihtiyaç vaıdır.

Aynı, şeyi YAHUT fonksiyonu için yapalım.

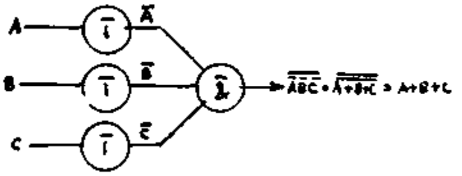


De Morgen teoremi kullanılırsa

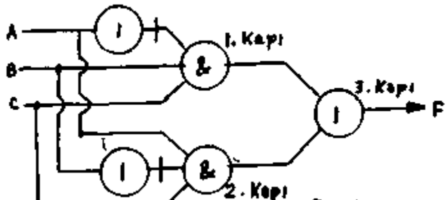
$F=A+B+C=\overline{\overline{ABC}} = \overline{\overline{A}+\overline{B}+\overline{C}} =$
$A+B+C$

en sağdaki ifade istenilen çıkış, soldaki ifade ise girişleri $\overline{A},\overline{B},\overline{C}$ olan bir DEGÎL-VE kombinezonu olarak kabul edildiğinde Şekil 19 daki devre elde edilir.

Yukarıdaki misallerde görüldüğü gibi bir fonks yonun bu şekildeki donatımında basit mantık devrelerine nazaran daha fazla elemana ihtiyaç hasıl olmaktadır Fakat buna rağmen VE, YAHUT ve DEĞÎL fonksiyonlarını ıh'iva eden karışık sistemlerde bu metot kullanıldığında eleman sayısı azaltabilmektedir. Bunu aşağıdaki misalle görelim. $\overline{A}BC + A\overline{B}C$ fonksiyonunu nazarı itıbare alalım. Basit mantık devrelerini düşünürsek yukarıdaki fonksiyonda iki VE kapısı, iki DEĞİL elemanı ve bir YAHUT kapısı vardır. Bu devre Şekil 20 de gösterilmiştir.

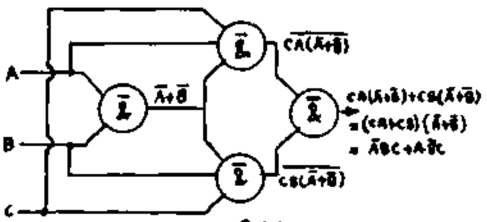


Şekil. 19



Şekil. 2.0

Şekil 21 de ise DEGÎL - VE kombinezonu kullanılarak türetilen devre görülmektedir.



Şekil. 21

Şekilde görüldüğü gibi eleman sayısı azalmıştır. Bu devre dört transistorle gerçekleştirildiği halde, basit VE, YAHUT elemanları kullanılan devrede üç kapı iki değiştirici olmak üzere toplam sekiz diyod iki transistore ihtiyaç gösterir. Transistor ve diyot fiatlannı aynı kabul edebiliriz. Sonuncu devrenin daha ekonomik olduğu görülmektedir. Fakat DEGÎL - VE kombinezonunda daha fazla güce ihtiyaç olacaktır. Sıraya göre çalışan açma - kapama sistemleri makalemiz mevzuu dışında kaldığından temas edilmeyecektir. Burada sadece açma - kapama devreleri cebrine bir giriş anlatılmıştır. Bu mevzuda daha geniş malumat aşağıda iki ve üç numarada gösterilen referanslarda bulunabilir.

Referanslar :

1. An Investigation into the lavvs of Thought G. Boole. 1854
2. The Logic Design of Transistor Digital Computors. Maley, Earle
3. A Set of Five Independent Postulates for Boolean Algebra H.M. Sheffer, Trans. Amer. Math. Soc. Vol. 14 1913
4. Svvitching Circuits for Engineers M.P. Marcus 1962