

Hail Etkisi

Yazan:

Y. Müh. İnanç KAYALIOĞLU
(TRT Kurumu Ankara Radyosu)

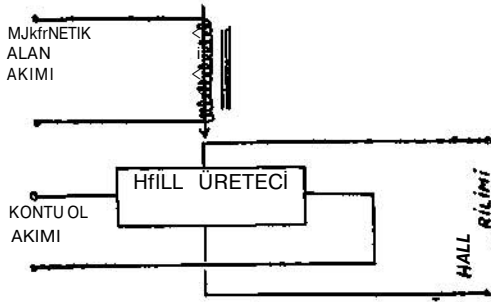
ÖZET

Bu yazıda Hail etkisi ve kullanılış alanlarından söz açılacaktır. Genel olarak bir cismin içinden uniform olarak 1 amperlik bir akım akıyorsa, ve akım akışı doğrultusuna dik olarak B gausluk magnetik alan tatbik edilmiş ise bu iki doğrultuya dik olan üçüncü doğrultuda bir voltaj gradyanı meydana gelecektir. Böylece elde edilen gerilime «HALL GERİLİMİ*» ve bu olaya «HALL ETKİSİ» denir. Bu gerilim, uygulanan magnetik alan ve iletkenden geçen akımın çarpımı ile orantılı olduğundan pratikte çeşitli kullanma imkânları sağlar.

TARİHÇE :

Bilindiği gibi akım taşıyan bir iletken, bir magnetik alan tarafından kesildiği zaman bir itme maruz kalır. Bu itme etkisiyle iletken, içinden geçen akımın doğrultusu ile magnetik alanın doğrultusu birbirine dik olacak şekilde hâkilde hareket eder. Bu ilke doğru akım motorlarının ve d'Arsonval ölçü aletinin çalışma prensibidir, iletkenin hareketine engel bulunduğu takdirde ne gibi olayların meydana geleceği sorusunu bir yüzyıla yakın bir zaman önce Edward H. Hall, John Hopkins üniversitesindeki denemeleri sırasında cevaplandırdı.

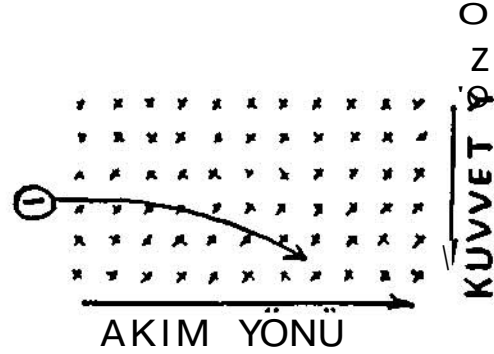
«Akım taşıyan bir iletken şerit, bir magnetik alan içinde hareketsiz tutulursa bu iletken şeridin karşı kenarları arasında bir potansiyel farkı meydana getirir» (Şekil. 1)



Şekil 1 — Hail Geriliminin elde edilmesi

Bu potansiyel farkı, akım akışında magnetik alanın etkisiyle, elektronların iletkenin bir kenarına doğru sarması sebebiyle meydana gelir. (Şekil. 2). Böyle bir sarma için magnetik sarmalı cinsten bir katod ışınli osiloskop tüpü iyi bir örnektir. Ayrıca bazı yarı iletkenlerde pozitif yükler (delikler) majör taşıyıcıdır ve bunlar

da magnetik alan tarafından saptırılırlar. Elektron veya delik, yüklerin böylece bir tarafta toplanmaları bir potansiyel farkı doğuracaktır.



Şekil 2 — Magnetik alanın etkisiyle sarma

Edward H. Hall tarafından 1879 yılında, iletken olarak ince bir altın şerit kullanmak suretiyle yapılan bu denemeler sonucunda bulunan bu prensip uzun süre kullanma alanına çıkamadı. Çünkü iletkenlerin düşük olan dirençleri elde edilen Hail geriliminin de küçük olması sanucunu doğuruyordu. Ancak yarı iletkenler teknolojisindeki ilerlemeler bu yeni malzemenin kullanılabilmesini sağladıktan sonra, gerekli duyarlık ve çıkış temin edebilen Hail elemanları yapmak mümkün oldu.

TEORİ :

Hail geriliminin büyüklüğü doğrudan doğruya magnetik alanın şiddetine bağlıdır. Elektronlar bir kenara doğru saptıklarından böylece hasil olan negatif yük aynı kenara daha fazla elektron hareketine engel olmak eğilimindedir. Karşı koyucu kuvvet, magnetik alan şiddetinin itici kuvvetiyle tam karşılandığı zaman bir denge şartına

erişilmiş, olur. Malzemedeki elektronlara tamamen serbest nazarıyla bakılırsa, akım yoğunluğu, i ve tatbik edilmiş olan magnetik alan B ise, elektriksel alan sebebiyle elektronlardan bin üzerindeki etki eden kuvvet $R_H \cdot i \cdot B \cdot e$ dir. R_H Hail katsayısı birim magnetik alan ve ele alınan malzemenin akan birim akım yoğunluğunun hasil ettiği potansiyel gradyandır. e ise elektron yüküdür. Magnetik alan sebebiyle bir elektron üzerine etki eden kuvvet $B \cdot e \cdot u/c$ ile verilir. Burada u elektronların ortalama sürüklenme hızıdır, c ise ışık hızını gösterir. Eğer bütün elektriksel büyüklükler elektrostatik birim sisteminde ise bu c , denkleme girer. Elektromagnetik birim sisteminde ise magnetik alanın sebep olduğu kuvvet $B \cdot e \cdot u$ dur. Diğer taraftan i akım yoğunluğu $n \cdot e \cdot u$ çarpımayla belirlidir. Burada n elektron yoğunluğudur. Elektrik alanın sebep olduğu kuvvet magnetik alanın doğurduğu kuvvetin denge halinde;

Elektrostatik birim sisteminde : $R_H \cdot i \cdot B = R_H \cdot n \cdot u \cdot e^2 \cdot B = B \cdot e \cdot u / c$
 $R_H = 1 / (n \cdot e \cdot c)$

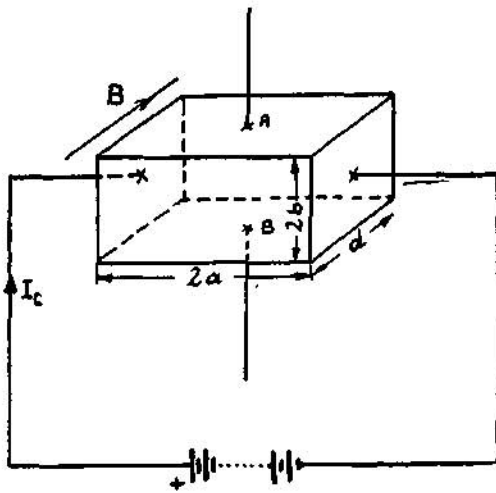
Elektromagnetik birim sisteminde : $R_H = 1 / (n \cdot e)$ olur.

Bu sonuç metallerde böyleyken yarı iletkenlerde $R_H = 37r / (8 \cdot ne)$ şeklindedir.

Her iki halde de R_H gradyanının yönü alçım taşıyıcılarının yükünün işaretine bağlıdır. Böylece eğer taşıyıcılar çoğunlukla pozitif yüklü (delik) ise gradyanın yönü, taşıyıcıların çoğunluğunun elektron olduğu haldekinin aksidir.

Dikdörtgenler prizması şeklinde bir parçacık düşünülün. Bu parçacığın boyutları Şekil: 3 de gösterilmiştir. Burada akım yoğunluğu

$$i = I_c / 2bd \text{ dir.}$$



Şekil : 3 — BIT katı cisimde Hail etkisi.

Eğer R_H cmVcoulomb olarak ölçülürse Hail potansiyel gradyanı $= \cdot 10^{-8} \cdot R_H \cdot I - B$ volt'dur. Burada görülen R_H için daha önce bulunan ifadelerde mevcut olan e elektron yükü $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb'dur.

A ve B noktaları arasındaki Hail gerilimi:

$$V_H = \frac{2 \cdot b \cdot R_H \cdot I_c - B \cdot I_c}{2 \cdot b - d} \cdot 10^{-8} = \frac{R_H \cdot B \cdot I_c}{d} \cdot 10^{-8}$$

volt olur.

Eğer elektronlar majör taşıyıcılar ise A , B ye göre negatiftir Magnetik alan ile kontrol akımının birbirine dik olmaması halinde bu iki büyüklüğün arasındaki θ açısının smüs'ü de denkleme bir çarpan olarak girer :

$$V_H = \frac{R_H \cdot B \cdot I_c}{d} \sin \theta \cdot 10^{-8}$$

Burada •

- V_H — Hail çıkış gerilimi (volt)
- R_H — Hail katsayısı (cmVcoulomb)
- I_c — Kontrol akımı (amper)
- B — Magnetik fluks yoğunluğu (gauss)
- θ — I ile B arasındaki açı
- d — Malzemenin kalınlığı (cm)

Diğer taraftan

$$B = 0,4 \pi \cdot N \cdot I_B / t$$

dir Burada •

I_B s; Magnetik alanı meydana getiren akım (amper)

N = Sarım sayısı

t = Hava aralığı (cm.)

Bu B değeri yukarda yerine konursa :

$$V_H = K' \cdot I_B \cdot I_c$$

ifadesi bulunur. Burada :

$$K' = \frac{R_H}{d} \cdot 0,4 \pi \cdot \frac{N}{t} \cdot 10^{-8} \cdot \sin \theta$$

dir. Akımları gerilimler cinsinden ifade etmek de mümkündür. Bu takdirde •

$$V_H = K' \cdot V_B \cdot V_C$$

Burada

$$K' = K / (R_B \cdot R_C) \text{ dir.}$$

R_B Alan akımı giriş devresi direnci

R_C = Kontrol akımı giriş devresi direnci

Şu halde Hail gerilimi elemanın iki girişine tatbik edilmiş olan akım veya gerilimlerin çarpımıyla orantılıdır.

MALZEMELER:

Hail etkisiyle ilgili denemelerde Antıman, Kobalt, Sodyum, Çinko gibi birçok metalin de-

nenmesine rağmen sonuçlar memnuniyet verici olmaktan çok uzaktı. Kullanılan bu malzemelerin bu denemeler için uygun olmamasının başlıca sebebi dirençlerinin pratikteki istekler için yeterli büyüklükte Hail gerilimi elde etmeye imkân vermeyecek kadar düşük olması idi. Buna karşılık daha yüksek dirençli malzeme kullanıldığında verim o kadar düşüyordu ki cihaz gerçekten kullanılmaz oluyordu.

Denemeler sonucunda malzemelerin Hail etkisi kullanılışı için uygun olup olmadığını belirleyen iki faktör olduğu anlaşıldı: Bunlardan birincisi yük taşıyıcıların (elektron veya delik) hareket kabiliyetinin yüksek olmasıdır. Taşıyıcı hareketliliği tatbik edilen kuvvete verilen cevabı ve dolayısıyla aletin duyarlılığını belirttiğinden bunun önemi apaçıktır. Bununla beraber yüksek hareketlilik aletin direncini düşürmeye eğilimlidir. Bu ise empedans uydurma işlemini çok güçleştirir. Bu güçlüğü verimi düşürmekten yemek için, malzeme seçiminde ikinci faktör olarak, saf malzeme kullanmak suretiyle taşıyıcı sayısını azaltmak yoluna gidildi. Yukarıda R_H Hail katsayısı için bulunan ifadenin yarı iletkenlerde $377/(8ne)$ şeklinde olduğu hatırlanacak olursa bir malzemedeki taşıyıcı adedi için .

$$n = \frac{3\pi}{8C \cdot R_H}$$

ahut e nin değeri yerine konur hesaplanırsa:

$$n = \frac{7.4}{R_H} 10^{18}$$

$$\text{Bulunur Diğer taraftan } R_H = \frac{V_H \cdot d}{B \cdot I} 10^9$$

$$(\sin \theta = 1)$$

olduğundan :

$$n = \frac{7.4 \cdot B \cdot I_c}{V_H \cdot d} 10^{18}$$

Bu denklem taşıyıcıların adedini B, I_c, V_H ve d bilindiği takdirde kolayca hesaplamaya imkân verir. Eğer iletkenlik de biliniyorsa

$$a = n \cdot e \cdot u_0$$

$$u = a / n \cdot e = 8 \cdot 10^{-10} \cdot R_H / 3 \cdot n = 0,85 R_H \cdot \sigma$$

Olarak bellidir Demek ki R_H katsayısı için taşıyıcı hareketliliği ve malzemenin iletkenliğine bağlı olarak şu ifade bulunmuş oluyor :

$$R_H = u_0 / 0,85 \cdot \sigma$$

Bazı u_0 taşıyıcı hareketliliği değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir :

Oda sıcaklığındaki taşıyıcı hareketlilikleri

| Kristal | delik hareketliliği | elektron hareketliliği |
|--------------------|---------------------|------------------------|
| Si | 500 | 1200 |
| Ge | 1900 | 3900 |
| Elmas | 1200 | 1800 |
| Siyah Fosfor | 350 | 220 |
| AlSb | 100 | 1200 |
| CdTe | 100 | 300 |
| Cu ₂ O | 60 | — |
| Ga ⁺ As | 200 | 4000 |
| GaSb | 750 | 4000 |
| HgSe | — | 10000 |
| HgTe | 100 | 10000 |
| InAs | 200 | 30000 |
| InP | 650 | 3400 |
| InSb | 1000 | 70000 |
| PbS | 350 | — |
| PbTe | 840 | 2100 |
| ZnO | — | 20 |
| LiF | — | 220 |
| KCl | — | 10 |
| KBr | — | 7 |
| NaCl | — | 15 |
| AgCl | — | 40 |

Bu tablodan görüldüğü gibi elektron ve delik hareketlilikleri arasında bir fark mevcuttur. Zaten bu fark olmasaydı, Hail etkisi daima sıfır olacaktı.

Hail katsayısı, Hail ünitelerinde kullanılan malzemelerin seçiminde bir değer taşır. Indium Antimonide (InSb) en fazla taşıyıcı hareketliliğini (Balcırınının 2400 misli) ve bundan dolayı bulunmuş malzemeler içinde en büyük verimi haiz olanıdır. Bununla beraber ısıya çok duyarlıdır. Bu husus kullanılmasını sınırlar. Onun için (InSb) yerine birçok Hail aletlerinde Indium Arsenide (InAs) ya da Indium Phosphide (in AsP) kullanılıyor. Bu malzemeler InSb kadar verimli olmamakla beraber taşıyıcı hareketliliği bakımından germanyum ve silikon'a nazaran çok daha iyidirler. Diğer taraftan ısıya duyarlıkları InSb den daha azdır. Bakırınının 850 misli daha fazla taşıyıcı hareketliliğine sahip olan InAs eksi 65 °C ile artı 75 °C arasında tamamen sabit bir karakter göstermektedir.

HALL ÜRETEÇLERİNİN ÇEŞİTLİ İMAL ŞEKİLLERİ

Hail üreteçlerinin kullanma alanlarına göre imâl şekilleri de değişiktir. Genel olarak magnetik alan ölçülerinde kullanılan Hail üreteçleri çok küçük hava aralıklarına sığabilecek şekilde gayet ince olarak yapılmalıdır. Aslında bu Hail çıkış gerilimini yükseltmek bakımından da gereklidir.

Çünkü Hail çıkış gerilimi denkleminde de görüleceği gibi elemanın kalınlığı ile çıkış gerilimi ters orantılıdır. Bu bakımdan yarıiletken malzeme ince bir tabaka şeklinde olup dört kenarına uçlar eklenmiştir. Karşılıklı uçlardan bir çifti kontrol akımı diğeri de çıkış gerilimi içindir. Bu tabaka ince bir yalıtkan levhaya iliştirilmiş ve hepsi birden bir çeşit reçine ile kapsül haline getirilmiştir. Yarıiletkenin inceliği malzemenin mekanik mukavemeti ile sınırlandırıldığından imalat bazı güçlükler gösterir. Bilhassa InAs ve InSb gibi elemanlar çok kırılıcı olduklarından bunlar cam ya da benzeri maddeler üzerinde ince bir film halinde, vakumda malzeme biriktirme yoluyla imâl edilirler. Kapsül haline getirilmezden önce karşılıklı kenarlara uçlar bağlanır. Bu usulle imâl edilen bir InSb tabakasının kalınlığı sadece 2 mikrondur. Bu üniteler incelikleri ve InSb nin taşıyıcı hareketliliğinin fazla olmasından dolayı çok duyarlıdır. Bazıları amper - kilogauss başına 2 voltluk gerilim vermektedir. Bu tip biriktirilmiş film şeklindeki imalatın sağladığı yüzey/hacim oranının çok büyük olması ısı dağıtılması bakımından da avantajlıdır. Bu bilhassa InSb nin daha önce bahsedilen ısıya fazla duyarlık meselesini önemli bir miktarda halleder. Bununla beraber filmin inceliği, elde edilebilen akım miktarı için bir limit tayin eder. Görülüyor ki pratik maksatlara uygun akımlar verebilen ve bunun yanısıra boyut bakımından imâli mümkün Hail üreteçleri elde etmek için çeşitli faktörler arasında bir denge durumu aramak gereklidir. Hail üreteçlerinin imâlinde başka bir güçlük de tabaka kenarlarına Hali çıkış gerilimi uçlarının yerleştirilmesidir. Bu uçların tam eşpotansiyeldeki noktalara yerleştirilmemiş olması halinde, magnetik alan sıfır olsa bile kontrol akımından dolayı kontaklar arasında bir gerilim mevcut olacaktır. Bu etki bir direnç devresiyle giderilebilir. Fakat bu yapılmazsa üreteç yanlış okumaya sebep olacak ve bu hata, akımla artacaktır.

Çok küçük hava aralıklarındaki magnetik alanların ölçülmesi yerine, tam tersine dağıtılmış alanların ölçülmesi istendiği hallerde - daha sonra bahsedilecek olan pusula ve alıcı anten kullanılışlarında - Hail üreteçleri gene çok olarak imâl edilmekle beraber duyarlılığı arttırmak için eleman iki magnetik alan toplayıcı arasına sandöviç şeklinde konur. Böylece imâl edilmiş Hail üreteçleri Şekil: 10 ve Şekil: 11 de görülmektedir. Bunlara ait daha fazla bilgi yeri geldiği zaman verilecektir.

Başka bir imâl şekli de Hail etkisinden faydalanılarak yapılan modülatörlerde görülür. (Şekil: 9). Burada yeri iletken Hail elemanı ve magnetik alanı temin edecek olan sargı beraberce bir silindirik kutuya yerleştirilmiş olup dışarı çıkarılmış altı uç uygun bir sokete girebilecek

Şekilde ayaklara, bağlanmıştır. (Magnetik alan için bir çift; kontrol akımı için bir çift ve Hail çıkış gerilimi için bir çift uç vardır.)

Genel olarak bir Hali üretecinin dört ucu mevcuttur; ve bu uçlar şu şekilde bir renk koduyla tanınırlar:

Siyah : Kontrol akımı negatif ucu
Kırmızı: Kontrol akımı pozitif ucu
Sarı : Çıkış gerilimi negatif ucu
Mavi : Çıkış gerilimi pozitif ucu

HALL ÜRETEÇLERİNİN KULLANILIŞLARI:

1. Gaussmetreler:

Hail üretecinin en önemli kullanılışlarından biri magnetik alanları tayin etmek ve ölçmektir. Bunda pikap elemanı ile magnetik alan arasında rölatif bir harekete ihtiyaç olmaması, bu maksatla kullanılan diğer aletlere nazaran büyük bir üstünlüktür. Yalnız kontrol akımının (alternatif veya doğru akım olabilir), bilinen bir değerde olması gereklidir.

Genel olarak dar hava aralıklarındaki magnetik fluksun ölçmesi istenir. Bu sebepten Hail üretici bir kablo ile Gaussmetre'ye bağlanan bir sonda içine yerleştirilmiştir. Çeşitli kullanma şartları için değişik tipten sondalar geliştirilmiştir. Bir aralığı boydanboya geçebilen tipten bir sonda, yassı kenarı doğrultusundaki alanları tayin etmekte kullanılır. Başka bir tip olan eksel sondanın ucuna küçük bir Hail üretici konmuştur. Bu sonda tepesine doğru yönelmiş alanlar için kullanılır. Çok dar hava aralıklarında ölçme yapmak için kalınlıklar 0,5 mm. kadar olan sondalar gereklidir.

Sonda ile ölçme yapan şahıs, fluks yoğunluğunun en fazla olduğu alanı belirleyebildiği gibi, üreteç elemanı magnetik alana dik iken Hail çıkışı en büyük değere eriştiğinden, alan doğrultusunu da tayin edebilir. Bu tipten ölçmeler, transformator ve rölelerin civarındaki fluks akışını kontrol ederken çok faydalıdır.

Çok ince ölçmeler için Gaussmetre sondası özel bir sıfır - gauss bölmesine konmak suretiyle sıfırlanır. Bu bölme duyar elemanı (0,5 gauss kadar olan) toprak alanından ve herhangi başıboş magnetik alanlardan korur. Aynı zamanda şiddeti bilinen standard magnet'ler de kullanılarak Gaussmetre kalibre edilir.

Bazı Gaussmetrelerde birbirinden sabit bir uzaklıkta bulunan paralel iki sonda kullanılır. Sistem bir osilatör tarafından beslenir; ve ayrı ayrı iki sabit - akım amplifikatörü her bir sondaya kontrol akımı gönderir. Her iki elemaya giden akım sabit tutulur. Böylece çıkışın o noktadaki

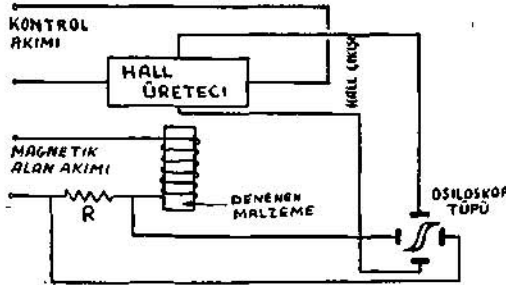
magnetik alanla tam orantılı olması garanti edilir. Bir sondanın Hail çıkış gerilimi ters edilip diğerinkine eklenir; yani iki çıkışın farkı alınır. Bu faik garılımı ölçü aletinde görülür. Bu tipten diferansiyel gaussmentreler, ferromagnetik malzemelerde kusurları, anormallikleri ve kalıcı mıknatsiyeti bulmak ve ölçmekle ilgili olarak magnetik alanın gradyanını bulmak için çok kullanışlıdır. Dünyanın ki gibi üniform alanlar sondanın durumu ne olursa olsun okumaya etki etmezler.

(Belirtmek gerekir ki birçok duyar Gaussmetrelerde kontrol akımı olarak alternatif akım kullanılır. Bu yüzden Hail üreticinin çıkışı da alternatiftir. Alternatif akımı sabit bir seviyede tutmak ve şiddetlendirmek doğru akıma nazaran çok daha kolay olduğu için bu bir avantajdır.

2. Histerezis eğrisi çizicisi :

Hail etkisinin kullanıldığı başka bir alan da magnetik malzemelerin histerezisinin ölçümüdür. Bir magnetik çekirdeğin histerezis eğrisini bilmek bazı hallerde çok önemlidir. Böylece bu çekirdekdeki fluks yoğunluğunun bir alternatif magnetik alanın etkisinde nasıl değiştiğini görmek mümkün olur. Bu histerezis eğrisini çabuk ve duyarlıkla çizmekte Hail üreticileri büyük fayda sağlar. Çünkü herhangi bir zaman gecikmesi olmadan ani alanları ölçebilirler; ve histerezis çevresi bir osiloskop ekranında görülebilir.

Böyle bir histerezis çizicisinin esas elemanları Şekil : 4 de gösterilmiştir. Denenecek çekir-



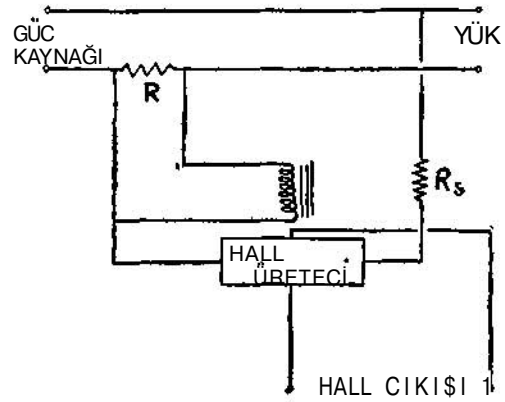
Şekü : 4 — Histerezis eğrisinin çizilmesi

dek, içinden bir alternatif akım geçen bir bobinin ortasına yerleştirilmiştir. Bu akım kontrol akımıyla aynı fazdadır. Bu bobinin sargı devresine konan bir direncin uçları arasındaki gerilim osiloskopun yatay saptırma levhalarına uygulanır. Hail üretici ise, magnetik alan, üretice dik olacak şekilde, çekirdeğe değme halinde yerleştirilmiştir. Böylece elde edilen Hail gerilimi ise osiloskopun düşey saptırma levhalarına uygulanır. Sonuç tipik bir histerezisi eğrisi olacaktır.

3. Güç ölçülmesinde Hail üreticileri :

Bir Hail üretici, daha önce de bahsedildiği gibi esas olarak bir çarpma işlemi yapar. Çıkışı kontrol akımı ve magnetik alan çarpımıyla orantılıdır. Diğer taraftan güç, akım - gerilim çarpımıyla belirlendiğine göre, devre gerilimiyle orantılı bir kontrol akımı ve devre akımıyla orantılı bir magnetik alan sağlayarak, devre gücüyle orantılı bir Hail çıkışı elde etmek mümkündür.

Hail üretici kullanılarak yapılmış bir wattmetrenin genel devresi Şekil : 5 deki gibidir. R direnci devre akımının yalnız bir kesrinin bobinden akmasını, R ise Hail üreticine uygulanan gerilimin sınırlanmasını sağlar. Bu iki direncin değerleri elbette ölçülecek gücün değerine bağlıdır. Alternatif akım devrelerinde 50



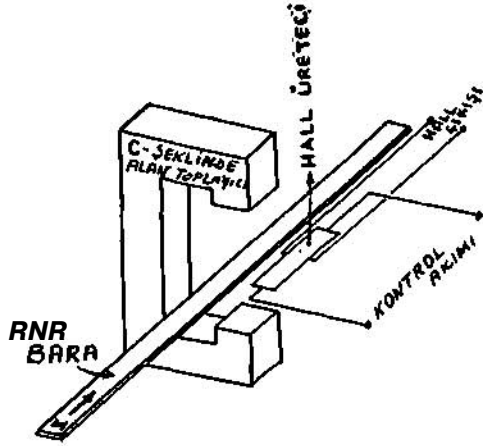
Şekil: 5 — Hail Üreticinin Wattmetre olarak kullanılması

ilâ 500 Hz. lik frekanslarda güç ölçebilen pratik bir wattmetrede, magnetik alan hat devresindeki bir bobinle sağlanmış olup kontrol akımı yük uçları arasına bağlanmış olup kademeli transformator vasıtasıyla elde edilir. Çıkıştaki gerilimin iki bileşeni vardır: Bir doğru akım bileşeni bir de uygulanan frekansın iki misli frekanslı bileşen. (Hail üreticilerinin modülâtör olarak kullanılması ile ilgili bölüme bakınız). Bunlardan ilki watt ile ikincisi de volt - amper'le orantılıdır. Çıkış aleti olarak alışılmış ölçü aletleri yerine bir osiloskop kullanılırsa Hail etkisi büyük bir çabukluk sağlar. Böylece anı güçleri görmek mümkün olur. Bu, bir devre koptuğu ya da kesildiği anda hata akımlarının sebeb olduğu geçici rejimleri incelemekte çok faydalıdır.

4. Hail etkili Ampermetre :

Öyle devreler vardır ki devreye bir ampermetre sokmak için akımı kesmek bazan çok vakit alır, bayan da imkânsızdır. Örneğin, yüksek akım taşıyan ana bara vs. gibi tesisatta devreyi

açmadan akım ölçülmesi istendiğinde Hail etkili ampermetreler çok kullanışlıdır. Bunun için C şeklinde bir çekirdek ana bara'ya çengel şeklinde geçirilir. Bu şekilde bara etrafındaki magnetik alan çekirdeğin hava aralığına konacak bir Hail üreticini etkileyecek miktarda konsantre edilmiş olur. Kontrol akımı (doğru veya alternatif olabilir) sabit bir seviyede tutulmalıdır. Ana baranın etrafında hasil ettiği magnetik alan etkisiyle Hail üreticinin doğurduğu gerilim ana bara akımıyla orantılı olacaktır. (Şekil : 6).

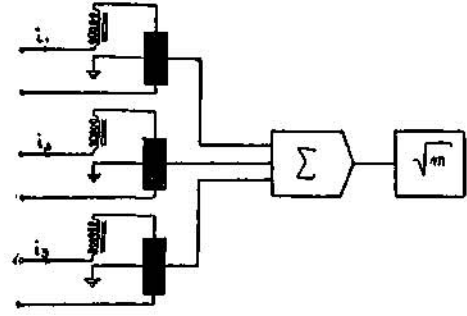


Şekil . 6 — Hail etkili ampermetrenin çalışma şekli.

5. Analog Hesap Makinelerinde Hail Üreteçleri :

a) Fonksiyon üretici olarak kullanılmaları - Hal çıkış geriliminin genel ifadesinde görülen $\sin \delta$ terimi bazı hallerde önemlidir. Şimdiye kadar ki kullanış alanlarında Hail elemanın hareketli kaldığını farzetmiştik. Eğer Hail üretici magnetik alanda dönmeye olursa, kolayca görülür ki, bir sinüs (ya da referans noktasına bağlı olarak cosinüs) biçimi dalga doğuracaktır. Bilinen fonksiyon üreteçlerinin çıkış genlikleri bir iletken tarafından kesilen kuvvet çizgileri ile doğru orantılıdır. Buna karşılık Hail çıkış gerilim genliği, üreticinin dönme hızından bağımsızdır. Bu yüzden çok alçak frekanslı işlemlerde de iyi sonuçlar verir.

b) Kare ve Karekök almada kullanılmaları — Fizik ve Elektronikteki birçok problemlerde birbirinden bağımsız üç değişkenin kareleri toplamının karekökünün alınması istenir. Basit analog hesap makinaları bu çeşit problemleri çözmek amacıyla yapılır. Şekil : 7 de Hail etkisi esasına dayanan bir analog hesap makinası görülüyor. Lineerlik, cevap hızı ve basitlik bakımından Hail üreteçleri bu iş için çok uygundur. Çalışma şeklini izah için tekrar



Şekil: 7 — Üç adet kare alıcı Hail elemanı, toplama devresi ve kök alma devresinin bağlama şem'ast.

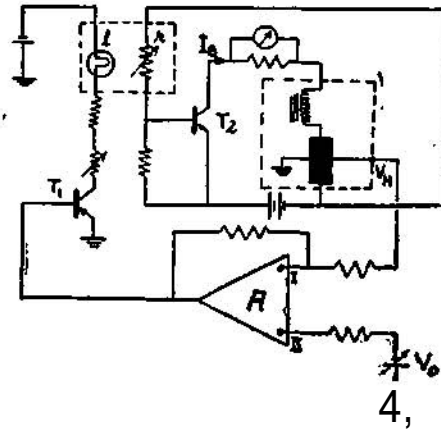
$V_H = K \cdot I_B \cdot I_c$ ifadesine dönelim. Burada

$$I_p = I_c$$

şartı sağlandığı takdirde

$$V_H = K \cdot I_c^2$$

olur. K sabit olduğundan V_H doğrudan doğruya I_c nin karesiyle orantılıdır. Bu şekilde çalışan üç Hail elemanın çıkışları bir toplama devresine verilirse bu toplama devresinin çıkışında girişlere tatbik edilen üç akımın kareleri toplamıyla orantılı bir gerilim meydana gelecektir. Bu gerilim Şekil : 8 deki devreye uygulanarak karekökü alınmak suretiyle problem çözülmüş olur. Bu ikinci devrenin çalışması şu şekildedir :



Şekil 8 — Hail etkili karekök alıcı devre

Devrede görülen Hail elemanı kare alma esasına göre düzenlenmiştir. Yani magnetik devresi ve kontrol akımı devresi seri bağlıdır. Bu Hail üreticinin çıkışında olan V_H Hail gerilimi bir A diferansiyel amplifikatörünün birinci girişine bağlanmıştır. İkinci girişe ise Şekil : 7 deki toplama devresinin V_o çıkışı tatbik edilmiştir. Bu V_o geriliminin üç akımın karelerinin toplamıyla orantılı olduğunu biliyoruz. Diferansiyel amplifikatör ($V_o - V_H$) farkını kuvvetlendirerek

emetörü topraklı T_x güç amplifikatörünü sürer. Bu amplifikatörün çıkışı ise I lâmbasını besler. Bu lâmbanın ışık şiddeti r fotorezistansın direncini tâyin eder. Bu lâmba ile fotorezistansın teşkil ettiği elektrooptik sistem Hail üretcecinin giriş ve çıkış devrelerini birbirinden izole etmek suretiyle A amplifikatörünü şiddetli yüklenmeden korur. Ortak emetörlü T_2 güç amplifikatörü bir gerilim kaynağından elde edilen Hail akımını kontrol eder. Bu akım aynı zamanda r in efektif değeri vasıtasıyla da kontrol edilir. Eğer A amplifikatörüne sıfırdan büyük bir V_0 işaret gerilimi tatbik edilirse, kuvvetlendirilmiş olan bu işaret T_j transistörünün baz'ını iletim bandına sürer ve I lâmbasından akan akım r in direncini düşürür. T_2 transistörünün baz'ındaki öngerilim azalması Hail üretceci ile seri bağlı olan mağnetik alan doğurucu solenoid'ten bir I_u akımı akmasına sebep olur. Böylece A amplifikatörünün birinci girişinde bir V_H Hail gerilimi hasil olur. $I_B (= i_c)$ ve V_H in gelişmesi $V_H = V_0$ olana kadar devam eder. Böylece :

$$I_B = I_c = \frac{W_0}{K}$$

olur. Şu halde Şekil : 7 deki devreye tatbik edilen akımlar sırayla i_1, i_2, i_3 ise Hail üretcecinin çıkışlarında bu akımların kareleri ile orantılı v_1, v_2, v_3 gerilimleri olacak, toplama devresinin çıkışında ise $v_1 + v_2 + v_3 = V_0$ gerilimi meydana gelecektir. Şekil : 8 deki devrenin A amplifikatörünün ikinci girişine tatbik edilen bu V_0 gerilimi Hail elemanı devresindeki ölçü aletinden bir I_B akımı akmasına sebep olacaktır. Bu I_B akımı neticede i_1, i_2, i_3 akımlarının kareleri toplamının kareköküyle orantılı olacaktır. Böyle bir sebep makinesinin duyarlılığı elektrooptik transdüktörün faz kayması ve ısıl histerezisi yanında ayrıca ferromağnetik çekirdeğin mağnetik histerezisi ve lineer olmamasıyla sınırlanır.

c) Bölme yapmada kullanılmaları — Yukardaki devreye benzer bir devreye Hail üretcecinin analog hesap makinelerinde bölme işlemi yapmakta da kullanmak mümkündür. Bu takdirde Hail elemanının mağnetik alanıyla kontrol akımı aynı devreden alınmaz, ($I_B = I_c$) • Kontrol akımı dışardan verilir. Diferansiyel amplifikatörün ikinci girişine tatbik edilen gerilim V_I ise Hail devresindeki ölçü aletinde okunan I_B akımı $V_H = V_I$ olduğunda :

$$I_B = \frac{V_I}{K \cdot r}$$

olur.

d) Çarpma yapmada kullanılmaları — Hail üretcecinin çarpma yapma özelliğinden daha önce de bahsedilmişti. Uygun bir devreye Hail üretceci iki büyüklüğü çarpmak maksadıyla da kullanılabilir. Bunun için bu iki büyüklüğün

birini mağnetik alan akımı değerini de kontrol akımı olarak kullanmak yeter.

6. Hail üretcecinin modülâtör olarak kullanılmaları :

Hail etkisinin teorisini kısaca incelerken Hail gerilimi için şöyle bir ifade ile karşılaşmış-tık :

$$V_H = K' \cdot V_B \cdot V_c$$

Burada V_B ve V_c gerilimleri sinüsoidal ise

$$V_B = V_{OB} \cdot \cos w_b t$$

$$V_c = V_{oc} \cdot \cos Wc t$$

ise çıkışta

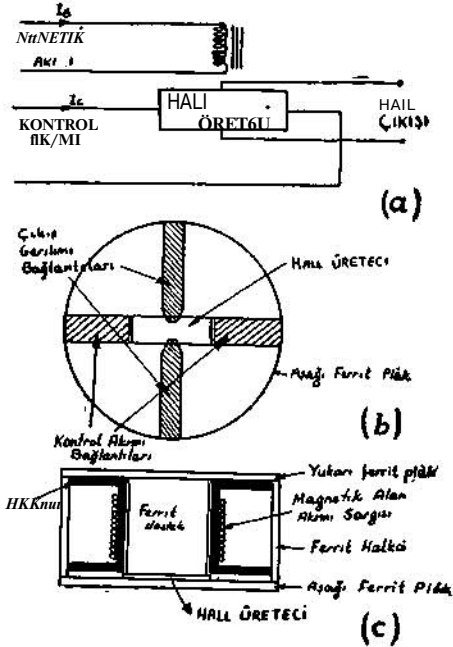
$$V_H/K' = V_B \cdot V_c = V_{OB} \cdot V_{OC} \cdot \cos w_b t \cdot \cos Wc t$$

elde edilir. $V_{OB} \cdot V_{oc} = V_0$ olsun.

$$V_H/K' = (V_0/2) [\cot(M;e + » b) t + \cos(u >_c - Wb)t]$$

Eğer V_c bir taşıyıcı frekans ve V_B de bir modüle edici işaret ise yukardaki eşitlik modüle edilmiş bir dalgayı gösterir. CÖzel olarak $p_c = w$, ise bu denklem $V_H/K' = (V_0/2) + (V_0/2) \cos 2\omega t$ olur ($w = Wc = W_b$) Budunun için Güç ölçülmesinde Hail üretcecinin kullanılmasıyla ilgili 3. bölüme bakınız.)

Modüle edilmiş dalga denkleminde bakılacak olursa bu ifadenin iki tane yan band ($w_c + t \text{ @ } b$), ($I_{oc} - 10 b$) terimi ihtiva ettiği buna karşılık sadece taşıyıcı (w_c) teriminin bulunmadığı görülür. Şu halde böylece elde edilen çıkış bir bastırılmış taşıyıcılı dalgadır. (Şekil: 9a),



Şekil : 9 — a) Modülâtör devresi, b) Hail elemanının kontrol akımı ve çıkış gerilimi bağlantıları, c) Mağnetik alan sağlayan bobin ve Hail elemanının birlikte yerleştirilmesi.

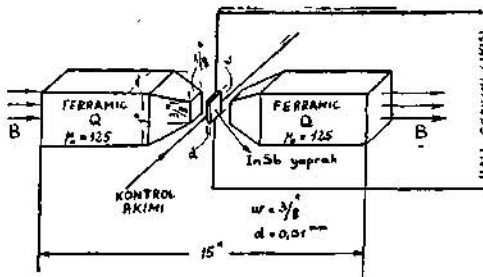
Hail etkili modülâtör kullanmak suretiyle çeşitli maksatlara uygun devreler düşünülmüştür. Bu iş için (Şekil : 9b) de görülen fiziksel imâl şekli kullanılır. Dikdörtgen şeklinde bir InAs malzeme bir ferrit disk üzerine yapıştırılmış ve sonra istenen kalınlığı temin etmek üzere inceltmiştir. Şekil : 9b de görüldüğü üzere dört elektriksel bağlantı yapılmış sonra da bu yarı iletken eleman ile ferrit disk beraberce Şekil : 9c deki gibi mağnetik sisteme eklenmiştir. Yarı iletken geçecek olan mağnetik alan, merkezde bulunan ferrit destek üzerine monte edilmiş olan makaranın sargılarından geçen akımla hasıl edilir.

Teorik olarak herhangi bir sinyali herhangi bir girişe tatbik etmek mümkündür. Fakat pratikte taşıyıcı frekansı kontrol akımı devresine vermek mağnetik alanı ise modüle edecek işaret akımı ile sağlamak tecrüb edilmiştir. Çünkü taşıyıcı frekans işaret frekansından daima daha yüksektir. Kullanılan ferrit malzemede çekirdek kayıpları yüksek frekansta daha fazla olduğundan mağnetik devreyi alçak frekanslı akımlarla beslemek iyi sonuçlar verir. Diğer taraftan yarı iletken malzeme esasında saf direnç olduğundan buraya yüksek frekanslı taşıyıcı tatbik etmek bir mahzur doğurmaz.

7. Hail üreteçlerinin alıcı - duyar eleman olarak kullanılmaları :

Çok alçak frekanslarda kullanılan Hail alıcı antenleri çerçeve ve çubuk antenlere nazaran bazı üstünlükler sağlar. 10 Hz. ile 10 KHz. arasındaki bölgede Hail antenlerinin duyarlık değişiklikleri ancak 7 db kadarken, çerçeve ve çubuk antenlerde aynı frekans bölgesinde 60 db kadardır.

Bazı haberleşme ve denizcilik sistemlerinde 10 KHz. in altındaki frekanslarda çalışılır. Çünkü bu alçak frekanslar epeyce büyük çalışma menzili sağlar. Araştırmalar sonucunda Hail etkili elemanların fluks toplayıcılarla birlikte çalıştırılmaları halinde (Şekil: 10) 1 mikrogau (0,03 V/m lik alan şiddeti) civarında duyarlık sağladıkları anlaşılmıştır. Bu duyarlığa erişmek için daha önce de görüldüğü gibi taşıyıcı hare-



Şekil : 10 — Fluks toplayıcılarla birlikte bir Hail anten elemanının bazı boyutları

ketliliği en fazla olan InSb yarı iletkeni kullanılır. Bu takdirde ısıya olan duyarlık da artar. Isıl gürültünün miktarını bilmek bu tatbikatta çok önemlidir. Bunu bulmak için oda sıcaklığındaki ısı gürültüye E_n denirse :

$$E_n = \sqrt{4 \cdot K \cdot T \cdot R \cdot BG}$$

dir. Burada :

- K = Boltzmann sabiti
- T = Kelvin derecesi
- R = Hail elemanı iç direnci
- BG = Band genişliği

Bilinenler yerine konursa :

$$E_n = 1,26 \cdot 10^{-10} \cdot \sqrt{VR \cdot BG}$$

Munzam gürültüler de düşünülürse :

$$E'_n = N_r \cdot E_n$$

Burada NR gürültü oranıdır.

Elektrik alan şiddeti E_s ile gösterilirse alıcı aletin minimum duyarlığı

$E_{s, \min} = E'_n = 1,26 \cdot 10^{-10} \cdot N_r \cdot \sqrt{VR \cdot BG}$ olur. Görüldüğü gibi bu duyarlık frekanstan bağımsızdır. Bir mukayese olmak üzere belirli bir InSb yaprağı kullanılarak yapılmış olan bir Hail antenin aynı frekans bölgesinde kullanılan çerçeve ve çubuk antenlere göre durumu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir :

Çeşitli antenlerde birim çıkış veren alan şiddetleri :

| Çalışma frekansı (Hz.) | Band genişliği v (Hz.) | Giriş V/m. | | |
|------------------------|------------------------|-------------|---------------|-------------|
| | | Hail anteni | Çerçeve anten | Çubuk anten |
| 10.000 | 10 | 2400 | 0,15 | 0,13 |
| 1000 | 10 | 2400 | 1,5 | 1,32 |
| 20 | 10 | 5200 | 76 | 66, |
| 10 | 10 | 5300 | 153 | 132 |

Çerçeve antene ait büyüklükler : Yükseklik = 15"

Genişlik = 15" N = 2 sarım

Çubuk antene ait büyüklük : Yükseklik = 15"

Bu tabloda görülen çerçeve ve çubuk antenler için E_{\min} formülleri şu şekildedir :

$$(Çerçeve) E_{s, \min} = \sqrt{VL/66,3} \cdot N \cdot A \cdot Q = \sqrt{L} \cdot BG/66,3 \cdot N \cdot A \cdot f$$

$$(Çubuk) E_{s, \min} = 1/10^{10} \cdot H \cdot Q \cdot \sqrt{VC} = BG' \cdot 10^{10} \cdot H \cdot f \cdot \sqrt{VC}$$

Burada

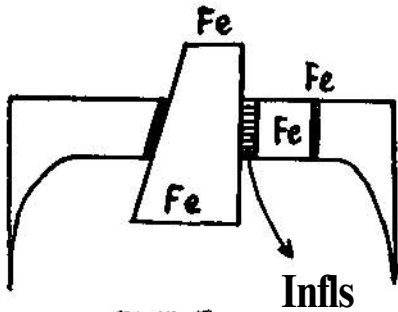
- L = Çerçeve endüktansı (henry)
- N = Çerçevadaki sarım sayısı
- A = Çerçeve alanı (m²)
- H ⇒ Çubuk uzunluğu (m.)
- C = Çubuk kapasitesi (F.)

Q = Giriş devresi değer faktörü
 f = Çalışma frekansı

Bu denklemlerden görülüyor ki giriş devresi band genişliği sabit tutulduğu takdirde E_{mm} frekansla ters orantılıdır. Çerçeve ve çubukun iç empedansı çok reaktif olduğundan giriş devresinde harici akord yapılması gereklidir. Bu frekanslar için Q ler yüksektir. Bu yüzden istenen band genişliğini sağlamak için giriş devresine ilâve dirençler sokmak gerekir. Çerçeve ve çubuk pick - up elemanları bu bakımdan omik bir iç empedansa sahip olan Hail alıcı - duyar elemanlarından farklıdır. Hail antenleri bu yüzden geniş band uygulamalarına daha iyi uyurlar. Yalnız Hail antenlerinin sadece alıcı anten olarak kullanılabilirliklerini belirtmek gerekir. Bunlarla yayım yapmak, başka deyimle bunları verici anten olarak kullanmak mümkün değildir.

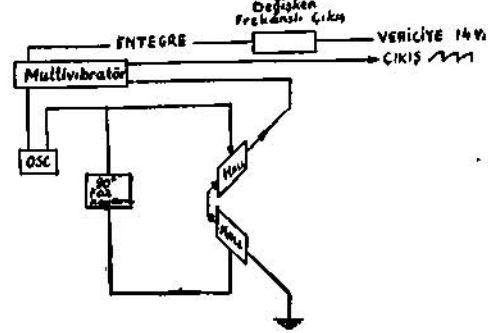
8. Hail etkili pusulalar:

Arktık'te sesli şamandıralarda Hail etkili pusulalar kullanmak suretiyle hareketli, bilgi gönderici şamandıraların yerini tesbit etmekte veya deniz akıntılarının yönü ve hızı hakkında fikir edinmekte büyük kolaylıklar sağlanmaktadır. Diğer tip pusulalarda mekanik kısımların yağlanması önemli bir problemdir. En ufak bir tutukluk bunların kuzeyi göstermelerinde hataya sebep olur. Buna karşılık Hail pusulaları çok duyarlıdır. Atlantik'te mağnetik kuvvet çizgilerinin yatay bileşeni epey zayıflamış durumda olduğundan duyarlık ayrıca çok önemlidir. Hail pusulaları ile enlemi yüksek olan yerlerde 0,01 gauss kadar olan yatay mağnetik bileşen detekte edilebilir. (Bu bileşen mağnetik ekvator yakınında 0,4 e kadar yükselir.) Bu hususta yapılan deneme üniteleri 0,001 gauss'un altındaki değerlere kadar mükemmel bir lineerlik göstermişlerdir. Bu iş için geliştirilen alet şu şekildedir. 2" lik bir çift, mümetal fluks toplayıcının kutup parçaları arasına sokulmuş olan 2 x 2 x 0,1 mm. boyutunda bir InAsFe eleman aletin esasını teşkil eder. (Şekil : 11). Bu fluks toplayıcıları elemana doğru hareket etmekle fluks yoğunluğunu



Şekil : 11 — Pusula olarak kullanılan Hail elemanının fluks toplayıcılarla birlikte imâl şekil

yüz defa arttırabilirler, tki Hail elemanı bir kaçış teşkil edecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Bu sayede ısı etkisi azaltılır. (Şekil: 12) Pusulanın çıkışı bir darbe gerilimidir. Bu çıkış mağnetik kuzey ile pusulanın referans doğrultusu arasındaki açının saat yönünde büyümesiyle oran-



Şekil . 12 — Hail etkili pusulanın blok diyagramı

tılı olarak artar. Bataryayla beslenen ve 2,5-5 KHz. de çalışan bir transistorlu osilatör Hail elemanlarından birini doğrudan doğruya, diğerini de 90° lik bir faz kayması ile besler. Birleşik Hail gerilimi bir multivibratör devresine verilir. Bu multivibratör aynı osilatör tarafından çalıştırılıp, Hail gerilimi tarafından durdurulur. Böylece elde edilen darbenin genişliği pusulanın dönüş açısıyla orantılıdır. Hail elemanı çıkışının multivibratörünkü ile entegrasyonu sonucunda değişken frekanslı bir çıkış geliştirilir. Bu şekilde - örnek olarak 2 volt için 28 KHz. ve 14 voltluk maksimum için 32 KHz. elde edilir.

9. Hail üreteçlerinin diğer kullanma alanları :

Hail üreteçleri için daha birçok kullanma alanları düşünülmüştür. Bazıları şimdilik sınırlı olarak kullanılmakta, bir çoğu ise henüz deneme safhasındadır. Örneğin çok küçük doğru akım işaretlerinin ölçülmesinde, bunları daha önce alternatif akıma çevirip kuvvetlendirerek ölçmek yerine, bir Hail üretici kullanmak çok daha iyi sonuç vermektedir. Bu iş için bir alternatif mağnetik alan kullanılır; ve doğru gerilim Hail üreticinin kontrol uçlarına bağlanır. Üreticinin çıkışı mağnetik alan ve kontrol akımının çarpımı ile orantılı olacaktır.

Hail üreteçlerinin başka bir uygulama alanı da mikrodalgalar devrelerinde bunların yalıtıcı (isolator) olarak kullanılmasıdır. Bir yalıtıcı dört uçlu, tek yönlü transmisyon aletidir. Amplifikatör olarak kullanılan elektron tüpleri ve transistorlar yalıtıcılara birer örnektir. Çünkü tek yönde çalışırlar. Diğer taraftan bir tünel . diodu iki uçlu ve iki yönlü elemandır. Gerçekten tünel diodlarının ortak giriş ve çıkış uçları, çok katlı amplifikatörlerde kullanılmalarını güçlendirmek-

tedir. Bugünkü çabalar Hail elemanlarını tünel diodlarla beraber kullanabilmeye yöneltilmiştir. Başarı kazanılırsa her iki elemanın kullanılabilirliği diğeri tarafından genişletilmiş olacak böylece giriş çıkış devrelerinin gerekli yalıtımı sağlanacaktır

FAYDALANILAN KİTAP VE DERGİLER :

1. D. A. WRIGHT : «Semi - conductors». London Methuen and Co. Ltd. Third Edition 1958
2. John R. COLLINS : «The Hail Effect». Electronics World p. 39. April 1963.
3. H. H. WIEDER : «Square - root computer uses Hail Multiplier» Electronics Jan 24, p 30, 1964.
4. H. H. WIEDER : «Analog Ratio Computer uses Hail Multiplier» Electronics Nov 8, p. 46, 1963.
5. W. A. SCANGA, A. R. HELBINGER, C. M. BARRACK : «Hail Effect Multipliers» Electronics July 15, p. 64, 1960.
6. Cletus M. WILEY : «Navy tries Solid - State Compass». Electronics Feb 14, p. 57, 1964.
7. Albert R. HILBINGER: «New uses for Hail - Effect Modulators». Electronics Jan 17, p. 30, 1964.
8. G. J. MONSER : «Pick - up devices for very - low - frequency reception; Hail device. Electronics April 14, p. 68, 1961.
9. R. A. GRENIER : «Feedback amplification improves Hail Effect Multipliers». Electronics Aug 25, p. 52, 1961.

MÜHENDİS ARANIYOR

MALATYA BELEDİYESİ BAŞKANLIĞINDAN

Yevmiyeli personel talimatnamesine göre istihdam edilmek üzere askerliğini yapmış bir mühendis aranmaktadır. İlgililerin belediyemize müracaat etmeleri rica olunur.

ELEKTRİK Y. MÜHENDİSİ ARANIYOR

Kovada Santralı Belediyeler Birliği Başkanlığından :

Kovada Santralı için bir adet askerliğini yapmış Elektrik Y. Mühendisi alınacaktır. Taliplerin şimdiye kadar çalıştığı yerleri gösteren belgeleri ile birlikte Belediyeler Birliği Başkanlığı - İsparta adresine müracaatları ilân olunur.

MÜHENDİS ARANIYOR

Denizli Belediyesi Elektrik, Su, Otobüs İşletmesi Müdürlüğünde 100 lira yevmiyeli Elektrik Y. Mühendisi (Keşif ve Denetçi) kadrosu açıktır.

Yevmiyeli personel talimatnamesi gereğince yevmiye ödenir, isteklilerin adı geçen Müdürlüğe müracaat etmeleri rica olunur.

ETIBANK ŞEBEKE TESİS MÜDÜRLÜĞÜNDEN

Etibank Karadeniz Bölgesi Tesis Başmühendisliğine (Merkez : Tosya) ve Diyarbakır Bölgesi Şebeke Tesis Başmühendisliğine (Merkez : Mardin) yüksek gerilim trafo merkezleri ve enerji nakil hatları montajında tecrübesi olan Elek. Y. Müh. ve Müh. leri alınacaktır.

10195 Sayılı Kararnameye göre şantiye ve mahrumiyet zamları verilir.

İsteklilerin Selanik Caddesi Işkur Han Kat. 1 Ankara adresindeki Müdürlüğümüze başvurmaları rica olunur.