

Nükleer Reaktörlerin Kontrolü ve Cihazlandırılması

Yazan :
D. R. Cockbame
AEK

Çeviren
E. GÜİ/TEKİN
AEK

ÖZET:

Bu yazıda nükleer reaktörlerin kontrol yolları ve metodları izah edilmektedir. Reaktörlerin cihazlandırılmasındaki problemler diğer termik santrallerin cihazlandırma problemleriyle aynıysa, nükleer cihazlandırma aynı bir hususiyet ihtiva eder. Kullanılan cihazlar hakkında böyle kısa bir yazıda geniş malûmat vermek imkânsız olduğundan, kullanılan metod ve genellikle kullanılan cihazlardan bahsedilecektir.

Giriş:

Reaktör kontrol cihazlarından bahsetmeden önce, nükleer reaktör sisteminin fizikini açıkça belirtmek ve nelerin kontrol edilmesi gerektiğini bilmek lâzımdır. Birçok reaktörler, nötron yayılması sonucunda ortaya çıkan fisyon zincirleme reaksiyonunun olduğu, parçalanabilir bir madde olan, merkezi bir kordan ibarettir.

Reaktör çevresinde kor içindeki zincir reaksiyonu kontrol etmek için elektronik, elektromekanik cihazlar vardır. Kontrol için bu cihazların kullanılması lüzumludur. Çünkü, reaktör korundaki yoğunlayıcı radyasyonlar insan hücrelerini hasara uğrattırır. Ayrıca, reaktör etrafında insanların emniyetle çalışabilmeleri için cihazlar ve kor bir radyasyon (bilyolajik) zırh ile kaplıdır.

Termik reaktörlerde parçalanma ile doğan nötronlar kor içinde daha başka parçalanma reaksiyonlarına girmeden önce bir yavaşlatıcı (moderator) vasıtasıyla, hızlı bir kaç elektron voltluk termik hızlara düşünceye kadar yavaşlatılırlar. Yavaşlatıcı olarak ekseriya grafik veya ağır su (deuterium) kullanılır. Bu tip termik reaktörler %, 0,7 uranyum 235 ihtiva eden tabii uranyum kullanırlar. Uranyum 235 oldukça önemli parçalanabilir bir maddedir, ve termik nötronlarla parçalanma ihtimali hızlı nötronlara nazaran daha fazladır. Tabii uranyum diğer bir İzotopu olan Uranyum 238 ki, oldukça büyük bir miktarını ihtiva eder, nötronları fisyonla girmeden yakalar. Bu yüzden termik reaktörlerin zincir reaksiyonu idame ettirebilmeleri için oldukça tesirli yavaşlatıcılar ihtiva etmesi gerekir.

Hızlı reaktörlerde hiçbir yavaşlatıcı yoktur ve reaksiyon yalnız hızlı nötronlarla devam eder. Bu tip reaktörlerde oldukça saf uranyum 235 veya plütonyum 239 gibi parçalanabilir madde

kullanmak lâzımdır. Bu iki esas reaktör tipi arasında hızlı ve yavaş nötronları kullanan bazı diğer tip reaktörlerde mevcuttur.

Genel olarak termik reaktörler 3-4 metre-küplük korlara, hızlı reaktörler ise 0,3 metre-küp veya daha az hacimdeki korlara sahiptirler. Fisyon yoluyla hasil olan ısıyı geniş hacimdeki bir kordan daha kolaylıkla alabiliriz, çünkü ısı transfer sistemini yapmak için geniş, bir alan vardır. Fakat hızlı reaktörlerde, bilhassa 200 megawattlık ısıyı 0,3 metre-küplük bir hacimden tam verimle almak oldukça güçtür. Isı alınmadıkça, parçalanabilir yakıt erir, reaktör kontrolden çıkar ve nükleer bir patlama olabilir; neticede bir sürü radyoaktif maddenin yayılmasına sebep olur. Bu yüzden reaktör binalarının yüksek iç basınca dayanabilmesi lâzımdır, böylece radyoaktif gazlar bina içinde tutulur ve şehir havasına karışmasına mani olunur.

Fisyon zincirleme reaksiyonu kordaki fisyon yapan nötronların kordan kaçan veya yakalanan nötronlara oranının değiştirilmesiyle kontrol edilir. Reaksiyon boron veya kadmiyum gibi nötron yutucuların (absorber) kordan geri çekilmesiyle veya daha başka yakıt elemanı ilave etmekle veyahut kor dışında nötron reflektörleri kullanmakla başlatılır. Yutucu çubukların, ki bunlara kontrol çubukları denir, geri çekilmesi en çok kullanılan methoddur.

Bu kontrol çubukları genellikle 3 grupta toplanır; emniyet çubukları, kapama çubukları, a-yar çubukları. Emniyet çubukları yakıt doldurulurken veya bakım sırasında kor etrafına konularak emniyet sağlanır. Eğer herhangi bir kaza yüzünden kor kritik hale gelirse, bu emniyet çubukları aşağı düşürülerek reaktörün çalışması durdurulur. Reaktör çalışmaya başladığı zaman kapama çubukları sabit bir hızla geri çekilir ve çalışma sırasında bu çubuklar kor etrafında tutulur. Reaktör bu hareketten dolayı

kritik bir hale geçmez ve daha sonra kapama çubukları reaktörün çalışmasını ani olarak durdurmak için kullanılır.

Ayar çubukları reaktörü kritik bir noktaya getirmeye yararlar. Bu noktada fisyon hasil eden nötronlar, kaçan veya yakalanan nötronlarla denge halindedir. Ayar çubuklarının daha fazla geri çekilmesi, fisyon hızını, dolayısıyla reaktörün gücünü artırır. Artan bu güç seviyesinde, tekrar kararlı bir çalışma elde etmek için çubuklar korun içine, başlangıçtaki kritik duruma yakın bir duruma getirilmelidir. Böylece ayar çubuklarının durumları çalışma gücünün tek bir fonksiyonu değildir. Bunlar önce bir güç seviyesini ve daha sonra kararlı bir çalışma noktasını bulmak için kullanılırlar. Çubukların durumları önemli olduğundan, her iki yönde değişebilen bir hız sağlayan bir servo sistemiyle çubuklar hareket ettirilir. Ayar çubuklarının durumları bir reaktör operatörü veya elektronik bir kontrol sistemi vasıtasıyla otomatik olarak ayarlanır.

Nükleer reaktörler 'eksşeriyetle denel veya güç tipindedirler. Denel reaktörler' alçak veya yüksek güçlüdür ve nükleer fiziğin temel incelemelerinde kullanılır. Güç reaktörleri ise ısı enerjisi hasil etmek için yapılmıştır. Hasil olan ısı enerjisi elektrik enerjisine çevrilir veya nükleer gemilerde olduğu gibi gemiyi hareket ettirici bir duruma getirilir. Her iki durumda da, hasil olan ısıyı almak için, devamlı değişen bir ortama ihtiyaç vardır. Bu ortam hava veya karbon dioksit gibi bir gaz veya su veya hüt sıvı sodyum gibi bir sıvı olabilir. Denel ve güç reaktörlerin cihazlandırılması genel olarak aynıysa da, tafarruatta değişiklikler gösterirler. Denel reaktörler daha fazla cihaz ihtiva ederlerse de bu cihazlar reaktör kontrolü için olmaktan ziyade deney ve araştırma içindirler.

i Reaktör Kinetiği:

Nükleer zincirleme reaksiyonunu meydana getiren nötronlar daha önce hasil olan fisyonlardan meydana gelmişlerdir. Parçalanma zincir reaksiyonuyla hasil olan nötronların ortalama ömrü λ ise ve bir anda mevcut olan nötronların X kadar zaman önce mevcut olan nötronlara oranı K ise, K_{eff} zincirleme reaksiyonunun yeniden hasil olması faktörünü belirtir. Böylece, $K_{eff} = 1$ ise nötron yoğunluğu sabittir ve reaktör kritik omuştur denir; K_{eff} birden büyük olduğu zaman nötron yoğunluğu artar ve reaktör kritik üstü duruma girer. K birden az olduğu zaman, nötron yoğunluğu azalır ve reaktör kritik altı durumuna girer.

Bu işlemi ifade eden denklem;

$$\frac{dn}{dt} = \frac{K_{eff} M - n}{\lambda} + S \quad (1)$$

n = birim hacimdeki nötron sayısı

S = ani fisyon ile beraber kor içindeki suni kaynaklar vasıtasıyla saniyede birim hacime eklenen nötron sayısı.

işlemin reaktivitesi ρ ile ifade edilir

$$\rho = \frac{K_{eff} - 1}{K_{eff}}, \rho \text{ nin küçük değerleri için}$$

$\rho = K_{eff} - 1$ olur. ρ (I.) denklemde yerine konulursa

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho \lambda}{\lambda} + S \quad (2) \text{ bulunur.}$$

Denklem 2 de $\rho = 0$ ise $\frac{dn}{dt} = S$ olur, reaktör

kritiktir ve nötron çoğalması olmaz. Fakat nötron yoğunluğu S ile lineer olarak yavaşça çoğalır. Böylece kararlı bir çalışma için K_{eff} birden küçük olmalıdır. Fakat, S çok küçük olduğundan pratikte ihmal edilebilir.

Eğer ρ sifıra eşit değilse, 2. denklemin integralini almak suretiyle;

$$n = (N - \frac{S}{\rho}) \exp(\rho t / \lambda) - Sx / \rho \quad (3) \text{ elde}$$

edilir.

Burada N , $t = 0$ anındaki nötron yoğunluğunu gösterir.

3. denklemde K_{eff} birden küçükse belirli bir

zaman sonra $n = \frac{S}{\rho}$ olur. Bu bölgede reaktör

$1/\rho$ ile orantılı bir çoğaltma faktörüyle nötronların çoğalmasını hasil eder. Kritik altı durumu muhafaza edilirken, K_{eff} in artması, bu çoğalma faktörünü fazlaştıracaktır ve nötron yoğunluğu $1/\rho$ ile orantılı bir zaman sabitiyle eksponansiyel olarak artacaktır. Böylece, nötron yoğunluğunun sabit bir değere erişmesi için geçen zaman K_{eff} 'in Fe yaklaşmasıyla artar.

K_{eff} 1 den büyükse reaktör kritik üstü durumdadır ve ani nötronlardan ileri gelen nötron yoğunluğu N 'e nazaran çok küçüktür, ve 3. denklem

$$n = N \cdot \exp(\rho t / \lambda) \quad (4)$$

Şeklini alır ve neticede nötron yoğunluğu reaktivitenin positif değerleri için zamanla eksponansiyel olarak artar.

I. ve 4. denklemler, fisyon halindeki nötronların ani bırakılmaları prensibine dayanılarak çıkarılmıştır. Fakat uranyum 235 yakıtlı bir reaktörde fisyonla giren nötronlardan B (0.00755) (I) kadar bir kısmı gecikerek hasil olurlar. Bu gecikmiş gruplar Tablo. I de kazanç oranlarıyla birlikte gösterilmiştir.

TABLO I

Grup	Ortalama ömür (saniye)	Parçalanma sabiti (1/saniye)	Kazanç oranı
1	80,2	0,0125	0,0026
2	31,7	0,0315	0,00166-
3	6,51	0,154	0,00213
4	2,19	0,456	0,00241
5	0,62	1,61	0,00084
6	0,07	14,00	0,00025

Bu gecikmiş, nötronlar da hesaba katılırsa (I). denklem;

$$\frac{dn}{dt} = \frac{K_{eff} n - \sum_{i=1}^6 \lambda_i n_i}{\Lambda} + s \quad (5)$$

ifade edilir. Burada λ_i , i tipi çekirdek yoğunluğunu gösterir.

Her grupta geçikmiş nötronları hasil eden çekirdeklerin meydana gelmesi ve azalması :

$$\frac{dn_i}{dt} = \lambda_i n - \lambda_i n_i \quad (6)$$

Burada λ_i , i tipi çekirdeği meydana getiren nötronların oranıdır. 5. ve 6. differansiyel denklemlerinin tam çözümü ise;

$$n = N_2 A e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Denklem (7) deki birinci terim, iden 6 ya kadar olan geçici terimler bittikten sonraki nötron yoğunluğunun durumunu ifade eder. Bu geçici ifadeler geçikmiş nötron gruplarıyla hemen eşit zaman sabitlerine sahiptir. Böylece 80 saniyelik bir zaman geçmeden kaybolmazlar. Bununla beraber gecikmiş grupların pratikte yardımı küçüktür ve geçici fazdan birkaç saniye sonra kaybolurlar.

İlk birkaç saniyede meydana gelen geçici terimler ihmal edilirse ve kora bir miktar postitif bir reaktivite ilave edildikten sonra nötron yoğunluğu yaklaşık olarak;

$$n = N_0 e^{\rho t} \quad (8)$$

ρ , reaktivitenin bir fonksiyonudur. (Ref. 2) Ayrıca (8). denklemin Byl agmyan postitif reaktivite değerleri için doğru olduğu hatırlanmalıdır.

Eğer ρ , B den büyük olursa, yani mevcut olan gecikmiş nötronların bir miktarından büyük olursa, reaktör hızlı nötronlardan dolayı kritik üstü hale gelir ve nötron yoğunluğu çok ani olarak artar. Bu durum oldukça tehlikelidir ve bütün İmkânlarla elimine edilmesi lâzımdır.

Λ/u_0 kemiyetine reaktör periyodu denir, ve nötron yoğunluğunun e (2,71) faktörü kadar artması için geçen zamana eşittir. Yoğunluğunun iki misli artması için geçen zaman $0,693/u_0$ 'a eşittir, bu zamana iki kat arttırma zamanı (doubling time) denir.

Reaktör her fisyon için tablo nde görülen miktarda enerji salınır (3)

Bu tablo grafit moderatörlü termik reaktör için verilmiştir. Bu reaktörde fisyon ürünlerinin kaçmasını önlemek için yakıtın etrafı aliminyumla kaplanmıştır.

• 198 MW'lık enerji miktarı $3,2 \times 10^{10}$ erge eğittir. Bir jullük enerji için $10V3,2 \times 10^{10} = 3,1 \times 10^{10}$ fisyon gerekir, böylece saniyede $3,1 \times 10^{10}$ fisyon bir watta tekabül eder.

Buradan da anlaşıldığı gibi reaktörün kontrolü için nötron yoğunluğunu ve reaktör periyodunu ölçmek gerekir.

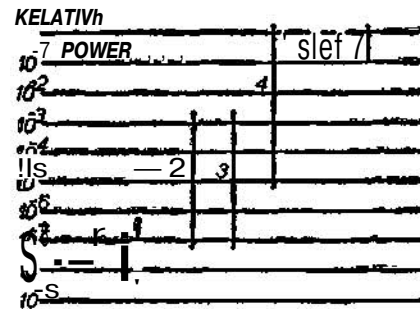
TABLO H

	MW
Fisyon ürünlerinin kinetik enerjisi ...	168,9
Nötronların kinetik enerjisi	5,0
Ani gama radyasyonu	4,6
Fisyon mahsülü beta radyasyonu ...	4,8
Fisyon mahsülü gama radyasyonu ...	6,9
U235 in yakalama gama radyasyonu .	1,0
U238 in yakalama gama radyasyonu .	4,0
Grafitin yakalama gama radyasyonu	1,4
Aliminyum muhafazanın yakalama gama radyasyonu	0,2
U239, NP239 un beta radyasyonu	0,5
U239, NP239 un gama radyasyonu ...	0,5
Toplam	107,8 MW

Reaktörün dhazlandinlması:

Son gücü 500 Megawattan daha fazla olabilen bir reaktör bir wattan daha küçük güçlerde bile kritik hale gelebilir. Böylece ölçülmesi gereken nötron yoğunluğu 5×10^6 den daha fazla olabilirki, bu miktar bir tek cihazla ölçülemez. Yüksek nötron güçlerinde, nötron detektörü radyoaktif hale gelip, nötron kapama akısından daha fazla değerler verebilir. Bu yüzden nötron yoğunluğunun değişmesiyle bunu ölçen cihazların ölçme bölgelerinde değiştirilmesi gerekir.

Bunun için gerekli tipik bir sistem Şekil: İde gösterilmiştir

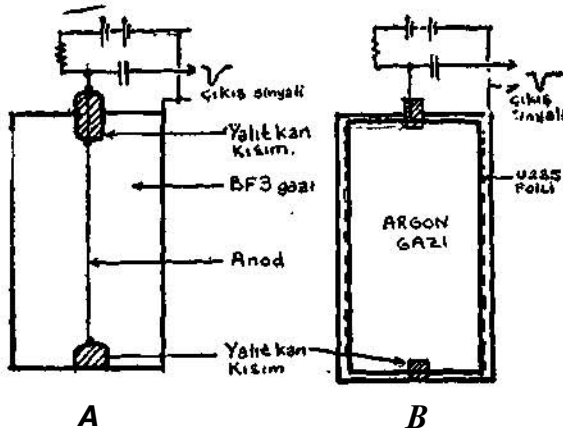


Şekil: 1 — Cihazların ölçme bölgelerinin reaktör gücüne göre Oeğişimi.

Reaktör tam güce getirilirken kontrolün kaybolmaması için cihazların ölçme bölgeleri birbirleriyle örtüşmelidir. Küçük güçlü denel reaktörlerde güç ölçme bölgesi ufak olduğundan aşağıdaki bilgiler 1 megawattan daha büyük güçlü reaktörlere aittir.

Nötron akısının ve gama radyasyonunun kapama anındaki düşme hızı reaktörün tipine bağlıdır. Şöyleki, ağır su moderatörlü bir reaktörün alçak güç seviyesine gelmesi için birkaç günün geçmesi lazımdır. Fakat, grafit moderatörlü bir reaktör tam gücünün 10-12'ye birkaç saat içinde düşer.

Ani kritik durumlara mani olmak için alçak güç seviyesinde nötron akı ve periyodunu kontrol etmek ve nötron akısının yakın ani ölçülmesini sağlamak gerekir. Nötron sayımı için kullanılan detektörlerde ya BF3 gaza gibi bir gaz bulunur veya asal bir gazın içine yerleştirilmiş parçalanabilir bir maddeden ince bir tabaka bulunur. Nötron sayımı için kullanılan detektörlerin tipik bir yapısı Şek. 2 de gösterilmiştir.



Şekil: 2 — A) BF3 Sayacının yapısı, B) Filyon sayacının yapısı

BF3 sayaçları 1 n/cmVsn lik bir nötron akısı içinde 3 sayma/sn lik bir duyarlığa ve 5x104 sayma/sn lik bir sayma hızına sahiptirler. Filyon sayaçları ise 1 n/cm2/sn lik bir akı içinde 0,05 lik sayma/sn lik termik nötronları sayacak kadar duyarlılıkları vardır. Fakat, toplama zamanları daha hızlı olduğundan sayma hızları 5X10⁵ sayma/sn olabilir.

BF3 sayaçlarındaki nükleer reaksiyon nötronun BIO çekirdeği ile reaksiyona girmesinden hasil olur.



He4 alfa parçacığı ve LJ7 filyon ürünü BF3 gazının iyonizasyonundan doğrudan doğruya ölçülür. Filyon sayaçları ise yüksek hızlı filyon ürünlerinin iyonizasyona sebep olma prensibine

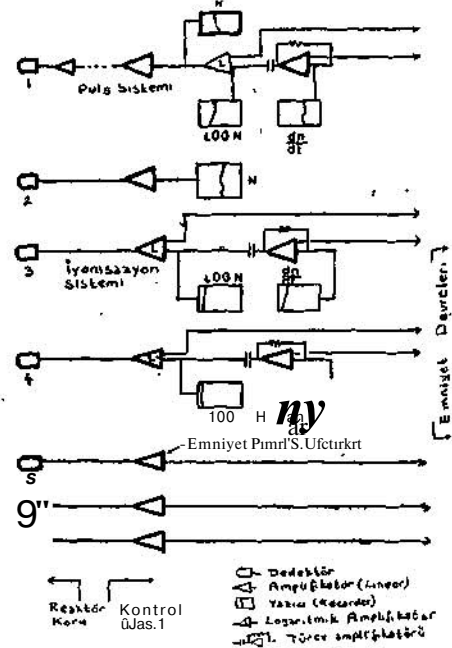
göre çalışırlar. Filyon sayaçları aynı zamanda içerlerinde bulunan uranyum foillinden hasıl olan alfa parçacıklarından dolayı bir alfa tabii-fon sayımı verirler.

İntegre iyonizasyon odaları BF3 gaza ile doldurulmuş olabilirler veya boron foillerine sahiptirler. Reaksiyonları yukarıdaki reaksiyonun aynısıdır. Akım miktarı 10⁻¹² den 10⁻⁸ ampere kadar değişir, 10⁻⁴ ampere tekabül eden nötron akısı 10¹⁰ n/cm²/sn. dir. İyonizasyon dolan, yüksek nötron yoğunluğu ölçmede kullanıldıklarından, diğer puls sayaçlarına nazaran daha büyüktürler, aynı zamanda bu tip sayaçların yapıldıkları maddenin endükleme radyasyonu hasil etmemesine çok dikkat etmek gerekir.

İyonizasyon odaları aynı zamanda gama radyasyonuna da hassastırlar ve 1 rontgen/saat İlk bir gama radyasyonu 100 n/cmVsn İlk 10⁻¹² ampere tekabül eden bir oda akımı meydana getirirler, bu da iyonizasyon odalarının alt limitini verir.

Bu tip odalar alçak güç seviyelerinde kullanılırlar, yüksek güçlerde odalar endüklemiş gama akımına mani olmak için kordan çekilmelidir.

Hakikaten, Şek. 2'de 10-a lik bir bağıl güç seviyesinde çalışırken, 1, 2 ve 3. sistemler geri çekilmeli ve nötron akısına karşı zarflanmalıdır. İndüklenen gama radyasyonu ve yan ürün olarak kullanılan maddeye bağlıdır. Ekseriyetle bu gaye için alluminyum kullanırsa da son zamanlarda zirconyum alaşımları da kullanılmaktadır. Şek. 1 için kullanılan cihazların tipik bir tertibi Şek. 3 de gösterilmiştir. Ayrıca, suyun gi-



Şekil : 3 — Reaktör parametrelerini tespit ve kontrol eden cihazların tertibi-

riş i e çıkış sıcaklığım, suyun akış hızını kaydeden cihazlarla, reaktör etrafında çalışılan bölgedeki radyasyonu ölçen cihazlarında bulunması gerekir.

Denklem (8) 1 yeniden yazarsak;
 $n = N A_0 e^{u_0 t}$ (8)

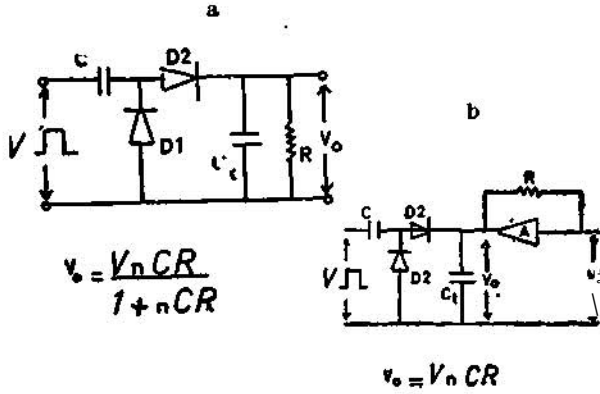
her iki tarafında tabii logaritmaları alınır
 $\ln(n) = \ln(N) + u_0(t)$ (9)

elde edilir. Bu ifadenin zamana göre türevini alırsak— $\frac{u[\ln(n)]}{dt} = u_0$ (10) elde ederiz.

Bu matematiksel işlemleri elektronik olarak yapılırsa reaktör kontrolü için gerekli mühim parametreler elde edilir.

Elektronik Cihazlar :

Bir puls sisteminde gelen pulsların sayısını tespit etmek için hız ölçme metreleri (ratemeter) kullanılır. Bu tip cihazlar Şek. 4a da gös-



Şekil: 4 — Diyot pompa devreleri

terilen diyot pompa devresini kullanırlar. Bu devrede girişte verilen kare dalga C kondansatörünü CV kolombluk bir yükte yükler. D_x diyonu giriş sinyali pozitif olurken akım geçirir ve negatif olarak düşerken akım geçirmez.

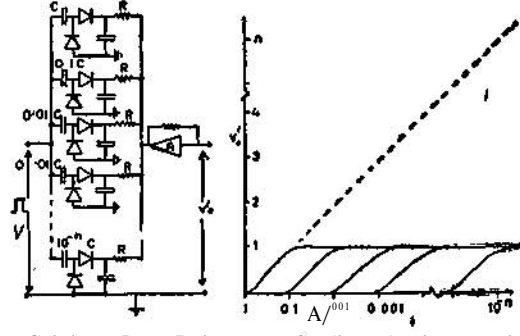
Böylece C kondansatörü V giriş potansiyeline yüklenir. Giriş sinyali posttife doğru giderken C kondansatörü C, kondansatörüne yükünü boşaltır. C_i kondansatörünün değeri C kondansatörünün değerinden büyüktür ve böylece R direnci üzerindeki çıkış potansiyeli V_o = VCR ile verilir. Girişte sinyal gelmediği zaman C, kondansatörü R direnci üzerinden boşalır, fakat C_i R zaman sabiti girişteki sinyaller arasındaki zamandan büyükel çıkış voltajı :

$$V_o = \frac{nVCRt}{nCRt_1} \quad (11) \text{ olur.}$$

V_o potansiyeli V giriş potansiyelinden küçükse, çıkış potansiyeli doğrudan doğruya giriş sinyallerinin ortalama hızı olan n ile doğru orantılıdır. Şek. 4b de görüldüğü gibi bir DC amplifikatörü kullanmak suretiyle ve C, üzerindeki potansiyel V/A ya ayarlanmak suretiyle

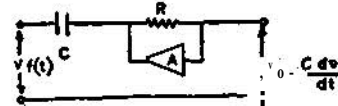
amplifikatör çıkışında V_o = VnCR elde edilif. (A = amplifikatör kazancı). Amplifikatör kazancı 100 den fazla ve giriş sinyallerinde potansiyeli büyük olduğu zaman linear hız metre çıkışında oldukça duyarlı sonuç elde edilir.

Denklem (II) den faydalanılarak Şek. 5 a ve b de giriş sinyalinin hızının logaritmasının nasıl elde edildiği gösterilmektedir. Burada DC amplifikatör devresi her diyot pompa devresindeki akımları toplar ve toplam logaritmik olur. (5)



Şekil : 5 — Puls sayısını (hızını) logaritmik olarak ölçen metre (Logaritmik pulse counter)

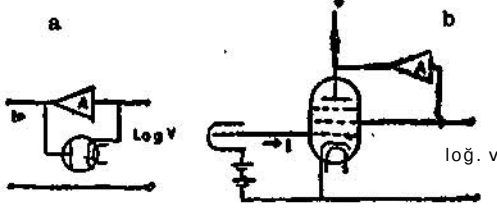
Şek. 6 daki diferansiyel amplifikatör kullanılırsa bu amplifikatörün çıkışı CdV/dt ile orantılı olduğundan, reaktörün periyoduna te kabul eden terim elde edilir. (Bak. denk. 10) DC ionizasyon odası cihazları logaritmik veya linear olabilirler. Linear sistemi ihtiva edenler yüksek giriş empedans ve alçak kaçış (leakage) akımlı linear amplifikatörler kullanırlar. Çünkü; ölçülecek alam 10⁻¹² amper mertebesinde olduğu için böyle bir amplifikatör kullanmak zorunludur.



Şekil: 6 — Diferansiyel işlemi yapan amplifikatör devresi.

Logaritmik DC amplifikatörler ise getirtirici alan şartları altında termiyonik diyotların logaritmik karakteristiklerinden faydalanırlar. Diyotlardan geçen akım I = I₀ exp (kT/e) ile ifade edilir. Burada I₀ = doyma (saturation) akımı ve K Boltzman sabitesidir. T mutlak sıcaklık (Kelvin cinsinden) ve e ise elektron yüküdür. Yarı iletken diyotlarda kullanabilinir. Fakat termiyonik diyotlar 10⁻¹² - 10⁻⁶ amper mertebesinde küçük akım karakteristiklerine hazilerse de yarı iletken diyotlar 10⁻⁸ - 10⁻² amper mertebesinde daha yüksek akım karakteristiklerini haizdirler. Bu iki methodta sıcaklığı oldukça bağlıdır. Stabilitiyi arttırmak için hususi dev-

reler yapılmıştır. Şek. 7 a ve b de bunun için kullanılan iki metod gösterilmektedir. Diyot pompa devresini logaritmik DC amplifikatörü ile beraber kullanarak oldukça basit bir logaritmik sinyal hız metresi yapılabilir.



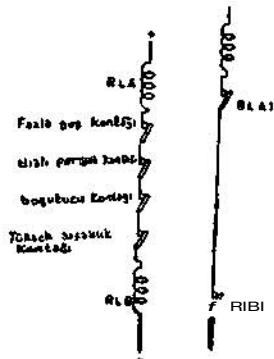
Şekil: 7 — Logaritmik DC amplifikatörü

Eğer rektör ölçme cihazlarından bazıları anza yaparsa bu arıza reaktörü kapama amplifikatörü vasıtasıyla tespit edilip, reaktörün çalışması durdurulur ve böylece reaktör emniyete alınmış olur. Bu cihazlar en üst güç seviyesini tespit ederler; en üst güç seviyesi aşılsa reaktörün çalışması otomatik olarak durdurulur. Bu cihazların hata-emniyet konumları oldukça detaylı olarak incelenmiştir, öyleki iyonizasyon odasında husule gelen herhangi bir bağlantı kopması bir alarma sebep olur, Bu alarm ise iyonizasyon odası kondansatöründen geçen ufak bir sinüsoidal sinyal vasıtasıyla hasıl edilir.

Emniyet Devreleri :

Elektronik cihazlar bir röle devresini işletmek suretiyle reaktörün kontrolü için belirli bir durumu gösterebildikleri gibi, nötron akısı ve reaktör periyodunu devamlı olarak kaydedebilirler. Rektör kontrolünde iki esas durum vardır. Bunlardan; Alarm : Bu durumda gereken müdahale otomatik kontrol sistemiyle yapılabilir gibi genellikle reaktör operatörü tarafından da yapılır. Kapama (Shut down, seram) : Reaktör kapama çubukları otomatik olarak reaktör koru içine indirilerek reaktörün çalışması durdurulur.

Bütün bu işlemlerin yapılmasında genellikle röle devreleri kullanılır ve bu devrelerin çalışması daha önceden kontrol edilerek gereken emniyet tertibatı alınmış olur. Şek. 8 de kapama

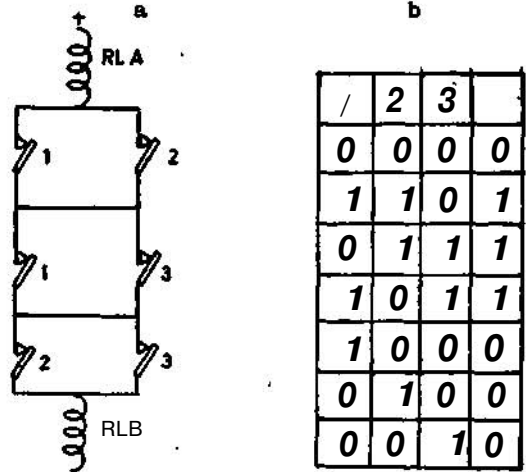


Şekil: 8 — BOleli emniyet devresi.

çubuklarının kontrolü için tipik bir metod gösterilmiştir. Bu çubuklar bir elektromıknatis var sıtasiyla tutulur. Mıknatisin akımı kesilince çubuklar granvitenin tesiri altında kor içine inerler. Röle kontakları normal durumda kapalı, hatalı bir durumda açıktırlar. Çünkü, rölenin açılırken arıza yapması ihtimali, kapanırken arıza yapması ihtimalinden daha küçüktür. Alarm sistemi bir lamba yakarak veya bir zili çalarak reaktör operatörünün dikkatini çeker ve hatta bazı durumlarda kontrol sistemi alarma sebep olan arıza giderilinceye kadar reaktör gücünün artmasına mani olur.

Elektrik enerjisi istihsal eden bir güç reaktöründe, reaktörün çalışmasının durdurulması oldukça büyük kayıplara sebep olur. Bilhassa saatlerce elektrik kesilebilir. Buna mani' olmak için ve bilhassa cihazlardan husule /elen arızaları minimuma indirmek için, ölçülmesi icap eden bir parametre birkaç cihaz vasıtasıyla ölçülür. Böylece, röle devreleri yardımıyla elektronik cihazlardan biri arıza yapsa bile reaktörün çalışması durmaz. Bunun için kullanılan en genel metod 2/3 sistemidir. Bu sistemde eğer 3 tane güç seviyesi kapama amplifikatörü varsa nükleer olmıyan bir arızadan dolayı reaktörün çalışmasının durması yani reaktörün kapanması için bu amplifikatörlerden ikisininde arıza yapması lazımdır.

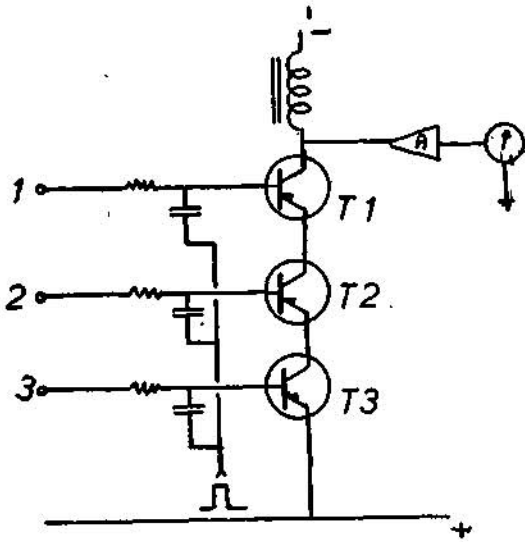
Bu sistem için gerekli röle kontak pozisyonları Şek. 9a da gösterilmiştir. Şek. 9 b ise röle kontaklarının analiz tablosunu (truth table) göstermektedir. O, kontak kapalı, I, kontak açık durumuna tekabül etmektedir. Eğer, güç fazlaşırsa bütün kontakların açılması icap eder.



Şekil : 9 — 2/3 sisteminin şeması ve analiz tablosu.

Transistörlerin kullanılmasıyla, emniyet devrelerinin, reaktör kritik bir duruma gelmeden önce, iyi çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için gerekli uau zaman alan testleri lüzumsuz hale gelmiştir.

Şek. 10 transistörler kullanılarak çalğan bir metodu göstermektedir. Burada J1, J2, J3 transistörleri çubuk elektro - mıknatis akımını kesebilirler. Transistörlerin taban (base) giriş sinyalleri diğer elektronik cihazlardan veya emniyet devrelerinden gelmektedir. Transistorun sebep olduğu arızalar transistörlerin tabanına verilen işareti yüksek frekanslı bir kontrol işareti ile modüle edip transistörleri doyma (on) durumundan, kesim (off) durumuna getirmekle tespit edilir. Arızalı transistor genellikle kısa devre (on) durumunda olduğundan, kollektör voltajları daimi bir şekilde ölçülerek arıza tespit edilip alarm durumuna geçilebilir. Böylece, emniyet devrelerinin muntazam olarak çalışması devamlı bir şekilde kontrol edilir. Bu kontrol sırasında kapama çubuklarını kontrol eden elektro - mıknatis yüksekfrekanslı kontrol işaretine bir tepki göstermeyeceğinden kapama çubukları eski durumlarını muhafaza ederler.



Şekil: 10 — Transistorlu emniyet devresi.

Nükleer Santral:

Nükleer elektrik santrallerinin maliyet fiatı (capital cost) diğer termik santrallara nazaran daha fazladır. Tablo H1de İngiltere'de mevcut 3 santralin bu yönden mukayesesi gösterilmiştir;

Dungeness B nükleer elektrik santrali gaz soğutmalı en son tip bir santraldir ve elde edilen elektriğin kilowatt saati 4,8 kuruşa malolmaktadır, bu fiat en iyi, kömür veya fuel oil kul-

lanan santrallerin maliyet fiatından daha düşüktür.

Büyük bir yatırımı icap ettirdiğinden Türkiye'nin ne zaman elektrik üretiminde nükleer enerjiden faydalanabileceğini kestirmek oldukça güçtür. Nükleer elektrik santrallara oldukça pahalıya mal olmalarına rağmen bilhassa % 85 yük faktöründe çalışıldığı zaman ekonomiktirler. Bu durumda diğer termik santralleri güç seviyesini tepe yük durumunda kararlı bir halde tutmaya yararlar. Nükleer santrallerin diğer bir avantajı da herhangi bir gaz veya duman neşretmemeleridir. Bilhassa termik santrallerin neşrettikleri bu gaz ve dumanlar şehir havasına oldukça tesir ederler.

Nükleer santrallerin diğer mühim bir avantajı da elektrik tüketim merkezlerinin hemen yakınında inşa edilebilmeleri ve böylece oldukça masraflı olan havai hat problemini ortadan kaldırmalarıdır. Böylece, nükleer elektrik santralleri İstanbul gibi endüstri merkezleri için oldukça ekonomiktir.

Fakat, ekonomik ve teknik problemler nükleer santrallerin Türkiye'de kurulmasını bir müddet geciktirecekse de, ileride bu tip santrallerin maliyet fiatı düşebileceği ve diğer tip santrallerin ileride maliyet fiatlarında bir değişme olmayacağı düşünülürse, bir tahmin olarak, ilk nükleer elektrik santralinin Türkiye'de 1970 senesinden sonra inşa edilebileceği öne sürülebilir.

REFERANSLAR :

1. Hughes D. J.: Delayed Neutron from Fission of U 235, Phys. Rev. 73: 11 -124 (1948)
2. Gillespie A. B. The Control and Instrumentation of a Nuclear Reactor. Ins. Elect. Eng. (London) Vol. 103 pt. B (1956).
3. Littler D. J.: Introduction to Reactor Physics Pergamon Press 1957.
4. BF3 Proportional Counters. AERB report no: 924 (UKAEA).
5. Cooke-Yarborough E. H.: P.I.EJ3. (London) Vol. 98. Pt. 2 196. (1951).
6. Cox R. J.: Proc. Int. Conf. on peaceful uses of Atomic Energy Vol. 5 p. 393 U.N. Newyork. 1956.
7. Cockburn D. R.: Improvements Relating to Ratemeters UK Patent Specification 801, 244 (1956).
8. Cockburn D. R.: Improvements relating to Radiation measuring equipment UK Patent specification 853.175.
9. Dungeness B Nuclear Power Station UK Central Electricity board 1965.
10. Cockburn D. R.: Nuclear Science in Turkey, Nuclear News, Amer. Nuclear Soc. Vol. 8. No. 3 March. 1965.

TABLO m

Santral:	Wyfa	Cottam	Dungeness B
Yakıt cinsi:	Nükleer	Kömür	Nükleer
Yakıt masrafı:	13,6 Kuruş/term.	40 Kuruş/term.	11,5 Kuruş/term.
Termik verim : %	31,5	37	41,5
Maliyet fiatı :	<U20 TL/Kw	1080 TL/Kw	2320 TL/Kw