

Nükleer Ölçme Âletlerinin Prensipleri (*)

Yazan :
E.G. GREENMAN

Çeviren:
Ö. Doğan ÖNER
Y. Müh
Ç.N.A.M.

1. NÜKLEER ÖLÇÜ ÂLETLERİNİN LÜZUMU VE ÖLÇME SAHÂLARI :

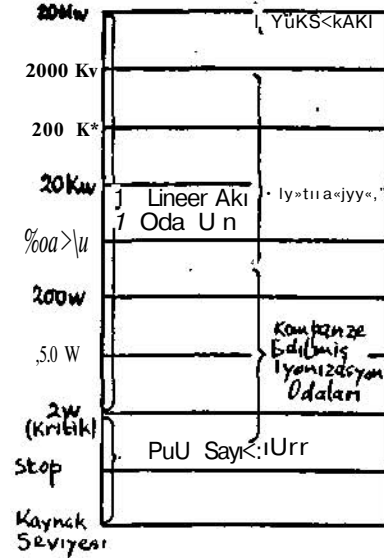
Nükleer ölçü âletleri veya cihazları genellikle, nükleer parçacıkları veya reaktör içindeki çeşitli çekirdeklerden yayılan radyasyonları ölçecek cihazlar olarak düşünülmüşlerdir. Nükleer cihazlar, nötronları ve gamma ışınlarını ölçerler. Genel olarak, reaktörün güç seviyesi reaktör korunun içindeki nötronların sayısı ile orantılı olarak kabul edilebilir. Pek tabii olarak, nötron sayısı ile güç arasındaki bağıntıyı çok daha karışık kılan çalışma şartları da zuhur edebilir, fakat burada sadece prensipler inceleneceğinden doğru orantılılık doğru olarak kabul edilecektir.

Müteamil nükleer ölçü âletleri kullanarak, reaktördeki nötronların belirli bir kısmını ölçme ve sonra neticeyi reaktör gücüne bağlamada bir problem mevcuttur. Başlangıç olarak, reaktör içindeki nötron akısı dağılımının, sabit olmayıp, zamana ve yerine göre değişeceğini farzedelim. Direkt olarak bir güç seviyesi elde etmek için de nötron seviyesinin devamlı olarak ölçülmesi bir icap haline girer. Bu ölçmeyi sağlamak için ise, çok sayıda ölçme âletleri kor'un her yerine uniform olarak yerleştirilebilir ve bunların çıkış kıymetlerinin ortalama alınabilir, ikinci bir metod için işe-korım noktasal bir kaynak olduğu farzedilerek, kor'dan kâfi uzaklıkta bir ölçü âleti yerleştirilebilir, böylece kor'daki lokal nötron yoğunluğu değişimleri de önemsiz bir hale girer. Diğer reaktör işlerinde olduğu gibi, bu metodların her ikisi de, eğer tatbik edilmeleri bahis konusu ise, belirli kabullere muhtaçtır.

Ölçme âletlerinin genellikle reaktörden belirli bir uzaklıkta yerleştirilmiş olmaları gerçeği, âletlerin hassasiyet ve ölçme alanlarını sınırlar. Burada bir nükleer reaktörün hiçbir zaman kat'iyetle durdurulamadığını fakat küçük de olsa yeni bir güç seviyesine indirildiğini hatırlayınız. Normal gücü veya ısı üretimi 5000 kW olduğu farzedilen klasik bir güç santralının gücü 1kW'a kadar düşürülecek olursa, santralın prensip olarak tamamen durduğu kabul edilerek kendi haline bırakılabilir. Fakat, aynı güçte çalışan bir nükleer reaktör için, bahis konusu nükleer o-

laylar bakımından, aynı kabulü yapmak doğru olmaz. Zira, bir kilowat hâlen bir hayli sayıda nötrona tekabül etmektedir.

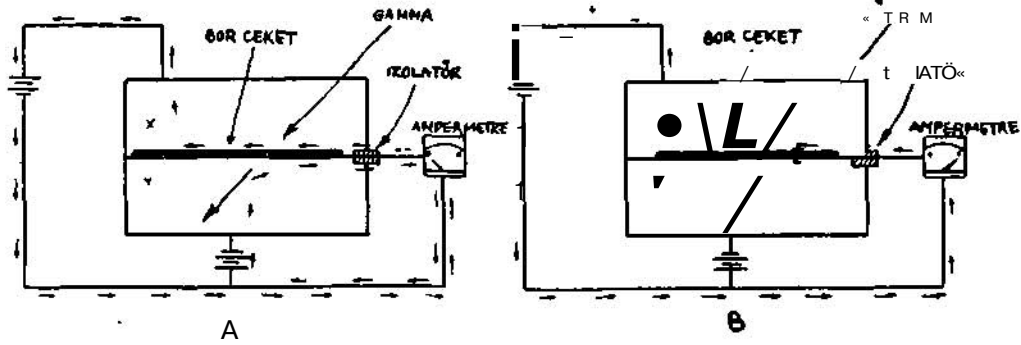
Bir reaktör (1) den büyük çoğaltma katsayısı yaratma kudretinde olduğundan, nötron sayısı, emniyet sebebiyle daimi olarak takip edilmelidir. Reaktör operatörünün de reaktör içerisindeki olayları izlemesi için devamlı bir otomatik metoda ihtiyacı vardır. Bu sebeplerden, nötronlar her zaman ve her güç seviyesinde ölçü ve izlenime tabi tutulmalıdırlar. Güç reaktörlerini düşünmek icabederse, ihtiyaçlar, kaynak şiddetinden tam güce kadar olan bütün alanı tamamen kapsıyacak kapasitede, 10 ondalığa kadar bir alanı kapsıyacak âletlere lüzum gösterebilir.



Şekil : A — Kademeli Cihaz Sistemi.

Maalesef, bugünün hiçbir âleti bu kadar geniş bir alanı kapsıyacak kudrette değildir. Ölçü âletleri genellikle üç, nihayet dört ondalık aralığa kadar hassasiyetle çalışırlar. Dolayısıyla, nükleer reaktörün ihtiyacı olan geniş alanı örtbilmek için, ölçü alanları birbirinin alanına kadar uzanan birçok cihazların kullanılması lâzımdır. Şekil A. kademeli cihaz sistemini göstermektedir.

s-) ANL (Argonne National Laboratory) -6701, VI Bo'üm Easic Nuclear ana Reactor Information for the Reactor Operatör Edited by E.G. Greenman'dan Türkçeye çevrilmiştir.



Şekil — Gomaiara Karg Kom a e edilm i t o i zas o das .

Bu akım, nötron akışıyla orantılıdır ve uygun âletler kullanılarak ölçülebilir. yonizasyon odası, ölçü âletinin uygun şekilde çalışması için gerekli doğru akımı meydana getirir. ritik-altı güç seviyelerinde, yonizasyon odası, alçak nötron seviyesinden dolayı, darbeler şeklinde bir akım üretir ve dolayısıyla bu bölgede kullanılmaz.

Gamma ışınları da atomları iyonize etme kabiliyetini haizdir ve dolayısıyla bir kompanse edilmemiş iyon odası, gamma ışınlarını da nötronlar kadar iyi tesbit eder. Durdurma seviyesinde, fizyon ürünleri ihmal edilemeyecek kadar önemli bir gamma ışını kaynağı teşkil ederler. Bu sebeple, iyon odaları bu seviyede hâlâ akım üretirler. Eğer bu akım, hasil olan nötronların yarattığı akımdan çıkarılmıyorsa yolverme esnasındaki nötron akısı değişiminin gözlemi, gamma ışınları tarafından tamamen maskelenecektir. Gamma ışınlarının varlığının sebep olduğu hatalı okumaları yok etmek için, okunan toplam akımdan otomatik olarak gamma ışınlarını hasil ettiği akımı çıkartacak şekilde kompanse edilmiş iyon odaları yapılmıştır (Şekil). Neticede oda tarafından meydana getirilen nihai, net akım, sadece nötron çarpışmalarını gösterecektir.

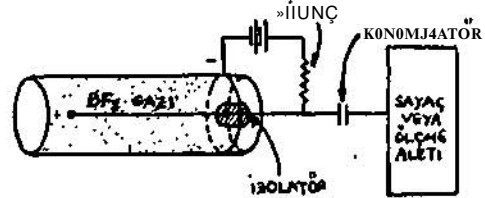
Bunu başarmak için, iki idantik oda yapılmıştır (Şekil A ve B). sadece üst oda (X) bir bor zarf (ceket) ihtiva eder. Üst plâka pozitif yük ve alt plâka negatif yükte tutulmaktadır. Alt kısım bor ihtiva etmediğinden, sadece gamma ışınlarından dolayı bir akım meydana gelecektir (Şekil A). er gamma menşeli pozitif iyon, üst odadaki pozitif yük tarafından, müşterek elektroda doğru itilecektir. arşıt olarak, aşağıda negatif olarak yüklenmiş odada, herhangi bir gamma menşeli elektron ortak elektroda doğru itilecektir. Bu durum ortak elektrotta, net sonucu sifira eşit olan, büyüklükçe eşit, fakat işaretçe zıt bir akım ile neticelenir. Üst silindir bor ihtiva etmektedir. Nötronların odaya girmesiyle odanın içinde $B^{10} (n, o) Li^7$ reaksiyonu ve ilâveten pozitif yükler meydana gelir. (Şekil B) Bu yükler, ortak elektrotta, daha fazla yük birikme-

siyle sonuçlanır ve nötrondan mütevellit akım olarak ölçülebilecek bir dış devre akımı akar.

ompanse edilmiş ve kompanse edilmemiş olan her iki ölçme ünitesi de reaktörlerde kullanılır. Yukarı güç bölgelerinde, kompanse edilmemiş odalar kullanılır; çünkü, bu bölgede nötron akısı kâfi derecede yüksek olduğundan, gamma akısının şiddeti göz önüne alınmıyacak kadar küçüktür. Alt bölgede gamma ışınları şiddetinin nötron akısı şiddeti ile kıyaslanabilir seviyede olduğundan dolayı, kompanse edilmiş odalara ihtiyaç vardır.

3. F, RANTILI SAYAÇ'I:

yonizasyon odasının devamlı akım ürettiğini görmüştük. Bu akımı vermeye kâfi olmayan radyasyon sahalarında, mevcut nötronları teker te-

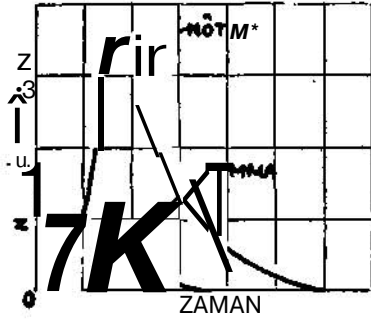


Şekil : 4 — BF₃ ratlı Sa aç'!

ker sayacak, sayaçlar kullanmak lâzımdır. Şte bu darbe-sayıcı cihazların en hassas tipi BF₃ sayacıdır. BF₃ orantılı sayacı, diğer nötron detektörlerinin çoğunda olduğu gibi, yukarıda bahsi geçen $B^{10} (n, a) IA^7$ reaksiyonu tarafından meydana getirilen iyonlaşmış parçacıkların tesbiti esasına göre çalışır.

ısaca, sayaç (Şekil 4) bir metal silindir ile, silindirin içine eş-merkezli olmak üzere uzatılmış küçük çaplı bir telden meydana gelir. sayaçta, tel daima pozitif yüklüdür ve yüksek gerilimle beslenir. ilindir umumiyetle bortriflorür (BF₃) ihtiva eden bir gaz ile doldurulmuştur. Bu gaz, reaksiyonda neşrolan alfa parçacıkları tarafından iyonize edilir. Birinci yonizasyondan meydana gelen elektronlar, sayaç içindeki elektrik alanı

tarafından, toplama elektroduna doğru hızlandırılırlar. Böylece, bu elektronlar, diğer molekülleri iyonize etmek için kâfi enerji kazanmış olurlar. Aşıkâr olarak, tele yaklaştıkça, elektronların toplam sayısı artar. Eğer bir odaya bir elektron girince hadiseyi durdurursak, bu parçacık bir tek elektron koparır. Bu elektron elektrot doğrultusunda hareket ederken bir diğer elektronu, o da bir başkasını kopararak bir elektron şelâlesi meydana gelir. Bu olay gaz mültiplikasyonu» (gaz çoğalması) diye isimlendirilir. Elektrotta çok sayıda elektron biriktiği zaman, telin gerilimi aniden değişecektir. azır olan iyonların h^opsi toplandığı zaman, sayaç, başka bir iyonize edici parçacık odaya girinceye kadar muhafaza edeceği sükûnet durumuna dönecektir, bu darbelerin teşhis edilme nisbeti ölçme âletinde sayacın yerleştirilmiş olduğu nötron-akısı seviyesinin lineer bir fonksiyonudur.



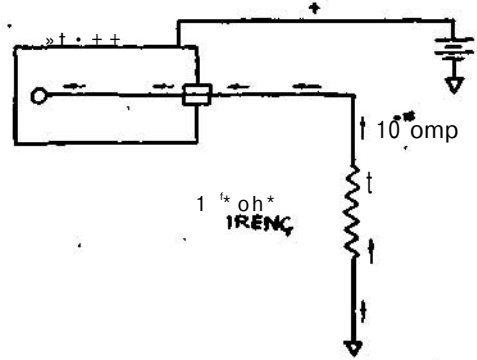
Şekil . 5 — Nötro ve Gamma Darbeleri,

Telde meydana gelebilecek tipik bir gerilim darbesi şekil 5'te çizilmiştir. Bu darbe, uygun bir sayma devresine gönderilebilir (sokulabilir) ve bu şekilde münferit parçacıklar sayılmış olur. Nötron ve gamma darbeleri arasındaki fark cihaz tarafından kolaylıkla ayırt edilmiş olduğundan, bu tip bir sayacı kompanse etmek zaruri değildir. Gaz mültiplikasyonu temini bakımından BF sayıcıları gayet yüksek gerilimlerde çalıştırılır. Bu cihazlar yol verme fonksiyonlarını tamamladıkları anda daima kapatılırlar. Darbe sayacındaki büyük yüksek akı ölçülerinde kullanılmazlar. Yüksek akıda çalışır durumda bırakılırsa bozulurlar.

Bu yazıda bahsedilen bütün ölçme vasıtaları gamma radyasyonunu da ölçeceklerdir. Bunu sağlamak için, oda gamma ışınlarına olan hassasiyeti arttıracak şekilde seçilmiş malzemeden yapılmıştır. Odanın içinde ağır gaz ve elektrotlar için ağır metal kullanılması, hassasiyeti artırıcıdır. Her reaktör kontrol cihazından istenilenler; yüksek nötron hassasiyeti ve gamma-radyasyonuna karşı sağırılık veyahut gamma-radyasyonu ölçülecekse nötrondan meydana gelebilecek radyoaktivitenin minimum seviyede kalmasını temin edecek mukabil özelliklerin sağlanmasına gidilir.

4. DETEKTÖR DEVRELERİ :

Çeşitli nükleer detektör devrelerinde hasıl olan akımları inceledik. Çeşitli devrelerin bu akımları ölçmeleri zaruridir. Genel olarak bir iyonizasyon odasından hasıl olan ve dirence karşı bir gerilim meydana getiren akım bir dirençten geçer. asıl olan gerilim, odadan dışarı akan akımla orantılıdır. Gerilim, sonradan, işletme kaydedicilerinin durdurma devrelerinin çalışma seviyelerine şiddetlendirilir.



Şekil: 6 — İyonizasyon Odası Akım Ölçme Devresi.

Şekil 6'da gösterilen sistemi göz önüne alalım. Toplanma elektrodu, toprağa bağlı bir dirençle irtibattadır. Bir güç kaynağı, meselâ bir batarya, devreye gerilim sağlar, akım uçlarında bir gerilim meydana getirir ve bu gerilim ölçülür. Eğer elektrottan çıkan 10^{-12} amperlik akım 10^{12} ohmluk direncin içinden geçerse, ölçülen net gerilim bir volt olur. Bu, akım ölçme sistemlerinin çoğunun çalışma metodudur. Ölçme alanını değiştirmek gerekiyorsa, direnç değiştirilir.

Darbe sayıcıları kullanıldığında sayaç, normal olarak, darbeleri kaydedecek şekilde sayıcı ile birlikte tertibedilir. sayaç, içine giren belirli sayıda darbelerin bitiminde bir darbe kayıt eden bir âlettir. Meselâ onluk sayaç, içine giren 10 darbe için bir darbe verir. Nükleer işlerde kullanılan sayaçların çoğu -onluk tiptendir. Mekanik kaydedicilerin yüksek sayma hızlarındaki hatalarını önlemek için onluk sayıcı kullanmak lüzumludur. Darbeleri alıp onların oluş hızını ölçen diğer bir devre, sayma hızı ölçme devresidir. Bu cihazlar ancak saniyede birkaç darbeden daha yüksek darbe seviyelerinde randımanlıdırlar. Ve darbeleri tek tek kaydeden sayaç kadar da hassas değildirler.

5. AKI KANALI :

Şimdi, hem reaktör içindeki akıyı ölçen ve hem de nötron şiddeti önceden tesbit edilmiş bir seviyeye eriştiğinde reaktörü durdurma fonksiyonunu teminde gerekli âletlerin bazılarını göz

önüne alalım. Göz önüne alınacak ilk alete Yüksek-Akı analı denir. Bu tip kanal, reaktörün güç seviyesini göstermek için kullanılmaz, umumiyetle bu kanal yalnız reaktör güç skalasının, en üst iki buçuk ondalığı için kullanılır. Analın tamamı bir amplifikatöre bağlı olan ve kompanse edilmemiş tipte bir iyonizasyon odası ihtiva eder. Amplifikatör, odanın akımını alır ve giren akım ile orantılı bir gerilim üretir. Daha önceden belirtildiği gibi bu gerilim de nötron akısı ile orantılı olacaktır. Bu voltaj reaktör gücünü sınırlamada kullanılabilir. Odada üretilen gerilim bir tetik devresi veya kesici devreye gönderilir. Eğer nötrondan meydana gelmiş olan gerilim, önceden ayarlanmış emniyet sınırını geçerse, kesici devre çalışacak ve bundan sonra reaktörü otomatik olarak durduracak olan, emniyet yahut kontrol çubuklarını düşürme mekanizması, emniyet çubuklarını reaktör korununun içinde düşüreceklerdir. Yüksek akı kanalları umumiyetle, hatadan korunmuş tipte yapıpıp devrelerde birden fazlası kullanılır. Böylece, devrelerden birindeki bir anza reaktörü emniyetsizliğe götürmez.

Lineer-akı kanalları esas itibariyle, daha geniş bir çalışma sahasını kapsamaları hariç, yüksek-akı kanallarının aynıdır. Bu kanal, reaktör güç seviyesini geniş bir ölçekte temin eder. Anal, çok ölçü kademeli bir amplifikatöre bağlanmış bir iyonizasyon odası ihtiva eder. Şiddetlendirilen işaret bir kaydediciye veya bir galvanometreye gider. Bu tip bir cihaz, kalibrasyon aralığı içinde çok doğru bir okuma sağlar.

Burada göz önüne alınacak son akı kanalı Logaritmik Akı analıdır. Çok basit olarak ele alacak olursak bu çeşit âletler reaktör nötron akısını logaritmik bir ölçek üzerine çizerler. Bu suretle nötron akısının bütün değişim aralığı, kademe değişikliği yapılmaksızın bir tek grafik şeklinde gösterilmiş olur. Herhangibir ondalıktaki, reaktör özelliklerinin, ince teferruatı gözükmez, fakat cihaz, bütün işletme sahasının genel resmini göstermiş olur. Bu kanaldaki iyonizasyon odası, logaritmik amplifikatöre beslenen (i) akımını meydana getirir. Logaritmik amplifikatör (i) akımının logaritması ile orantılı gerilim meydana getirir ve bu da istenilen bir kaydedicide gösterilir.

6. ERY D KANALI :

Reaktörü kontrol etmeye mahsus, diğer bir devre de Peryod analıdır. Bu kanal nötron seviyesindeki değişim hızı ile orantılı bir çıkış verir. Peryod değerleri ilk olarak güç seviyesiyle orantılı işaretten hareket ederek elde edilir. Ondan sonra bu işaretin logaritması, logaritmik bir amplifikatörden elde edilir ve sonuç olarak ters periyod sinyali verecek şekilde logaritmik işaretin zamana göre türevi alınır. (Peryod büyü-

dükçe işaret küçük veya tersi; periyod küçüldükçe işaret büyük). Bu işlemin kalbi aynı zamanda istenilen geniş aralığı daraltmakta kullanılan logaritmik amplifikatördür. Reaktör periyodu reaktör gücünün (e) faktörü oranında ($e = 2,718$) değişmesi için lüzumlu zaman olarak tarif edilir. Peryod kanalının periyodu veya periyodla orantılı birşeyi ölçmesinin icabı aşikârdır. Reaktör gücünü veren formül:

$$p = p_0 e^{t/\tau} \text{ dir.} \quad (5a)$$

er iki tarafın tabii logaritmalarını alalım.

$$\ln P = \ln P_0 + t/\tau \quad (5b)$$

burada $\tau = 1/\lambda$ olduğundan

$$\ln P = \ln P_0 + \lambda t \quad (5c)$$

(5c) formülünden görülmektedir ki reaktör gücü, P_0 ilk gücünden P gücüne değişmektedir. Dolayısıyla, $(\ln P)$ 'nin değişmesi, $(\ln P_0)$ 'nin değişmesi ile (λt) nm değişmesinin toplamına eşittir. İlk değer herhangi bir sabit değer olduğundan ve herhangi bir değişmesi olmayacağından, $\ln P_0$ 'nin değişimi

$$\frac{d \ln P_0}{dt} = 0 \quad \frac{d}{dt} \lambda t = \lambda \text{ dir.}$$

O halde nihai olarak formül,

$$\frac{d}{dt} \ln P = \lambda = \frac{d}{dt} (\lambda t) = \lambda \quad \frac{d}{dt} (\ln P) = \lambda \text{ olur.}$$

Bu şekilde bir denkleme göre güç, reaktör gücünün yüselmeye başlamasından herhangi bir zaman sonra ölçülebilir. Bu güç, nötron akısı veya güç ile orantılı akımı meydana getiren bir iyonizasyon odası tarafından ölçülür. Odanın içinde hasil olan (i) akımı, bu akımı kendi logaritması ile orantılı olan bir gerilim şekline çeviren logaritmik amplifikatöre gönderilir. Bu gerilim çıkış gerilimi takriben $1/T$ ile orantılı olan bir hız değişim devresine girer. Bir kesici devre bu kanala bağlanmıştır ve $1/T$ ile orantılı gerilim önceden ayar edilmiş bir seviyeyi geçerse, devre açılacak ve peşinden emniyet çubukları düşecektir.

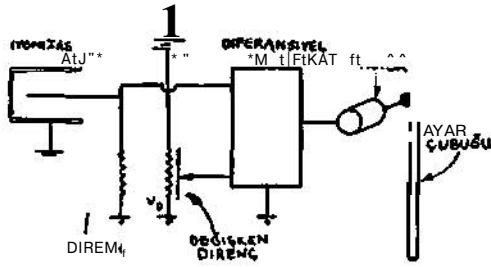
7. OTOMATİK KONTROL DEVRELERİ VE AYAR ÇUBUĞU :

Ayar çubuğunun kontrol devresi, reaktörün gücünü hisseder (Ölçer) ve bu güce tekabül eden akım seviyesini önceden ayar edilmiş standart akım ile mukayese eder. Bu mukayeseye göre, ayar çubuğu uygun bir hareketle cereyanları eşit tutar ve böylece, önceden istenen güç seviyesi muhafaza edilmiş olur.

Bir otomatik kontrol sistemi, umumiyetle, ayar çubuğuna bağlı kapalı bir sistem olup, orantılı kontrol veya kesintili kontrol olarak çalıştırılabilir. İstenilen güç seviyesi, transienler veya dahili sistem değişikliği gibi sebeplerden biri neticesi meydana gelebilecek hata ile orantılı ve fakat aksi fazla olacak şekilde regülatör veya kontrol çubuğunun durumunun değiştirildiği sisteme orantılı regülasyon sistemi denir.

Diğer taraftan, kesikli ayar sisteminde ise, kapalı kontrol sistemi içinde belirli bir yüzdeden değerce daha büyük bir hata olmaksızın, ayar çubuklarının hiç birinde hareket olmaz. İstenilen şartlara nazaran kâfi derecede bir sapma meydana geldiği zaman, ayar çubuğunun durumu belirli bir hızla değişir. Meselâ, CP-5 reaktörün ayar çubuğunun 0,5 cm/san, lik sınırlı bir hızı vardır.

tandart ve iyonizasyon odasına ait akımların mukayesesi büyük önemi haizdir ve iki çeşit fonksiyonu vardır. Birincisi, hata işaretinin (esas itibariyle nötron-reaktörünün çıkış işareti ile, istenilen güç işaretleri arasındaki fark) oluşunu teminat altına alması, ikincisi, reaktörün lineer



Şekil: 7 — Otomatik Kontrol Devresi

olmayış karakterini kompanse etmede kullanılmasıdır. Ayar çubuğuna ait basit bir kontrol devresi Şekil 7'de görülmektedir. İyonizasyon odası direnç uçlarında bir V_p (güç gerilimi) meydana getirir. Bu gerilim reaktörün güç seviyesiyle orantılıdır. Diğer gerilim V_d (istenilen güç gerilimi) başlangıç noktası olan uygun bir güç kaynağı tarafından ikinci bir direnç uçlarında meydana getirilir. İkinci direnç, değişik isteme gerilimlerinin ayarını yapabilecek şekilde bir değiştirme sürgüsünü haizdir. Her iki gerilim, ayar çubuğu tahrik motoruna güç sağlayan, diferansiyel bir amplifikatörde mukayese edilirler.

1. V_p istenilen V_d gücünden büyükse, çubuklar reaktörün içine doğru girerek reaktiviteyi düşürürler.
2. $V_p < V_d$ ise, çubuklar dışarı çıkar, reaktivite artar.
3. $V_p = V_d$ ise hareket yoktur.

K NTR L SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ:

Mevzuu sonuçlandırırken, reaktör emniyet devrelerinin yapılışı ile alakalı problemlerin bazılarını da şöylece inceleyebiliriz: Durdurma ile alakalı en makbul faktör, sistemin vazife görmede, seyrek de olsa, zaf gösterme karakterinin fevkalâde zayıf olmasıdır. Reaktör randımanı bakımından hatta neticesi doğan durdurmaların da fevkalâde az olması icabeder.

Reaktör inşasında, göz önüne alınması gereken iki ana durum vardır. Birincisi, büyük negatif ısı katsayısı ve küçük fazla reaktivitesi olan reaktörler, tehlike durumlarının pek çoğunda kendi kendini korumaya yardım edeceklerdir. Diğer reaktör tipleri bu yapıya dayanarak korunmayı haiz değildir ve ilâveten harici durdurma devrelerine ihtiyaç gösterirler. Tabiiyle harici durdurma devrelerinin ilk halde de tesisi elzemdir, fakat burada devrelerin güvenilebilirliğinin ikinci sıktaki kadar büyük olması icabetmez.

Tehlike dışı sebeplerle reaktörü zaman zaman durduran amillerden azade ve hatalara karşı tamamen emniyetli devrelerin tekâmülünün imkânsızlığı aşikârdır. Bu arzu edilmeyen durdurmaların sayısını asgariye indirmek için bir metod, durdurmaya sebep olabileceği düşünülebilen bütün cihazların çift kanal olarak tertipleme ve sonra da her kanalı en iyi ve en çok güvenilebilir cihazlardan teşkil etmektir. Böylece reaktör birinci kanal cihazları devrede olarak çalıştırılmakta iken, diğeri kontrol veya tamir edilebilir. Herhangi bir mutasavver özel emniyet devresinin kullanılmasının icabedeceği, o özel reaktörün ihtiyacına göre belirlenmiştir. Yukarıda bahsedilen bütün ölçme elemanlarını takiben kullanılan amplifikasyon, sayma, türevlendirme ve integrasyon devreleri oldukça karışık mevzulardır; yapıları ve kullanılışları hakkındaki yazılar pek boldur. Bütün devreler, iki kategoriye ayrılabilir; darbe sayıcı ve akım ölçücü tipler.

Kontrol bakımından esas mesele bu devrelerin çıkışlarını daima, reaktör içindeki nötron seviyesiyle şu veya bu şekilde orantılı olan bir elektrik işareti şeklinde olduklarını hatırlamaktır. Bu noktaya kadar herhangi bir reaktördeki karışıklıkların bazıları göz önüne alınmıştır. Temel olarak araştırma reaktörlerinin, işletme seviyesi veya güç çıkışının sınırı iki sebeplidir, değişik araştırma gruplarının istekleri ve daha önemli olarak bunlardan birinin sıcaklıkla ilgililiği; sıcaklık dağılımı kontrol çubuklarının dağılımına büyük ölçüde bağlıdır ve reaktörü kontrol çubuklarının pek çok değişik şekilde pozisyonlandırılmalarıyla kritik yapmak mümkündür. Reaktörün en iyi şekilde kullanılması, verilen işletme şartlarında reaktör kontrol çubuklarını mümkün olan en iyi akı dağılımı daimi olarak muhafaza edecek şekilde tertip ve ayar etmektir.