

ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNDE GELİŞMELER

Doç. Dr. H. Nusret YÜKSELER
İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi öğretim Üyesi

ÖZET

Elektrik enerjisi üretiminde alışılmış yöntemler en iyimser bir olasılıkla yaklaşık % 40 verime ve gelişen yöntemlerle, eğer alt çevrimlerle kombine sistemlere geçilirse % 60-80 verime ulaşabilmektedir (1). Farklı bir teknolojiye sahip olan MHD generatörlerde giriş enerjisi bir ara dönüşüme uğramaksızın doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve verim, maliyet, temel ve tepe yüklere uygunluk, kolayca servise alıp çıkarılabilir vb. bütün özellikleri bakımından üstünlük göstermektedir. Bu incelemede yöntem ayrıntıları ile ele alınarak generatörün yapısı, dönüşüm olayları, yöntem karşılaştırmaları ve uygulamadaki durumlar gibi konulara değinilmiştir.

GİRİŞ

Alışılmış elektrik enerjisi üretim yöntemlerinde çeşitli birincil enerji kaynaklarından dönüşümle elde edilen ısı enerjisi bir buhar türbinine veya su enerjisi bir su türbinine verilir ve bir senkron makinanın rotoruna akuple edilen bu türbinlerle üretim için gerekli mekanik güç sağlanır. Rotorun hareketi bir döner alan oluşturur ve bu alan statordaki sargılarla zincirlenir. Bu durum bilinen Faraday yasasına göre stator sargılarında bir gerilim endükler. Uçların bir yük devresine bağlı olması durumunda rotorun mekanik enerjisi elektrik enerjisine dönüşerek devreyi besler. Elektrik enerjisi santrallarının çıkışı böyle bir enerji akışıyla sağlanmaktadır.

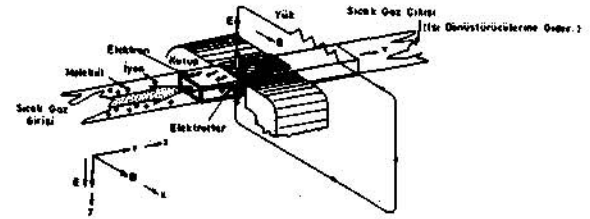
Böyle bir üretim şekli yeni gelişmelere göre ileride tamamen terk edilmeyecek ise de temel enerji üretim yöntemi olma durumunu kaybedecek görünmektedir. Senkron makineler gelişen enerji üretim yöntemlerinde artık enerji kademelerinin değerlendirilmesinde yararlı olabilecektir, önceki yazımızda gelişen yöntemler üzerinde verilen genel bilgilerde şimdiki durum ve gelecek üzerinde durulmuştur (1). Gerek tesis gerekse üretim maliyetleri yönünden MHD yöntemin tartışılmayacak üstünlükleri yanı sıra aynı zamanda geleceğin ideal bir enerji üretim yöntemi olduğu belirlenmiştir. Bu yazımızda yöntem tanıtılarak ayrıntılar ile ilgili açıklamalar verilecektir.

Tarihsel gelişim olarak ilk önce elektriksel yükler cinsleri ve etkileşim şekilleri ile gözlenmiştir. Bunları izleyen magnetik alan ile ilgili gözlemlerle bir yüke etkileyen elektromagnetik kuvvetler anlaşılabilir ve formüle edilebilir duruma gelmiştir. Lorentz Kuvveti adlandırılan bağıntı, değinilen gözlemleri aydınlatan temel bir bağıntıdır. Faraday yasası ile bir gerilimin oluşumunu ve ortamda bir yükün varlığı ile de bunun hareket ve iş yapabilme olanaklarını anlıyoruz. Senkron makinadaki sargıları oluşturan bakır tellerdeki serbest yükler endüklenen gerilimle hareket etmekte ve dış devre ile kapanan yol üzerinde iş yapmakta, bu devreye güç vermektedir. Gene Faraday zamanından bilinir ki güç oluşturan serbest yüklerin hareketi katı bir iletken ortamda olabildiği gibi sıvı veya gaz şeklindeki bir ortamda da olabilir. Bu nokta üzerinde fazla durulmamıştır. Çünkü iletken bir gaz ortamının oluşturulması çok yüksek sıcaklıklar gerektirir ve malzeme teknolojisi bu sıcaklıklardaki olanakları kısıtlar. Bu kısıtlı olanaklarla yapısında bakır iletkenlerin oluşturduğu sargılar bulunan üreteçler kullanılmamıştır. Söz konusu kısıtlamalar üretimin en az iki kademe olmasını **zorunlar**. **Gaz** halindeki sıcak bir ortam enerjisini alışılmış yöntemde bir buhar türbini ile mekanik ener-

jiye dönüştürmekte ve bu da mekanik kuplajla senkron makinanın rotoruna aktarılmaktadır. Bu enerji dönüşümleri önemli kayıplara ve verimin sınırlandırılmasına neden olur. Acaba içinde iyonların, elektronların, moleküllerin bulunduğu sıcak gazın enerjisi ortamın uygun bir iletkenliğe kavuşturulması ve bilinen yasaların uygunluğu nedeni ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülemez mi ve böyle bir direk dönüşüm daha yüksek verim sağlamaz mı? Bu düşünceler MHD generatörlerin geliştirilmesinde temel hareket noktası olmuştur. Gelişen malzeme teknolojisi ile gerekli sıcaklıklara ç (kılabilceği anlaşıldığından, önceden üzerinde durulmayan bu konu günümüzde yeni bir çağın başlangıcına neden olmuştur. Böyle bir yöntem MAGNETOHİDRODİNAMİK (MHD) adını alır.

MHD GENERATÖRLER

Şekil 1 'de bir MHD generatörün basitleştirilmiş görünüşü verilmiştir. Generatörün temel elemanları olarak içinden plazma akışının sağlandığı bir kanal, magnetik alanı oluşturan bir kutup çifti, dış devreyi besleyen yüklerin üzerinde toplandıkları kanal yüzeyindeki elektrotlar ve dış yük devresi bu şekilde görülmektedir. Kanalın elektrotlarla bitişik ve karşılıklı olan yüzeyleri çok iyi bir iletim sağlayan malzemeden, kutuplara bitişik diğer iki karşılıklı yüzey ise yalıtkan malzemedendir. Isı enerjisi taşıyan sıcak gaz kanaldan geçerken bu enerjinin önemli bir kısmı elektrik enerjisine dönüşerek dış devreyi besler. Çıkış gazındaki enerji ise alt kademelerde dönüşüme uğrar.



Şekil 1. MHD bir generatörün basitleştirilmiş görünümü.

MHD ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ

Konu iki yönden ilginçtir. Birincisi, acaba kanalda enerji dönüşümü nasıl oluyor? ikincisi, böyle bir düzenin teknolojik ayrıntıları nasıldır? Diğer bir deyişle alışlagelen sistemlerden ne gibi farklılıkları vardır? ikinci yön bilhassa son iki on yıldır üzerinde geniş

araştırma ve geliştirmelerin yapıldığı bir konu oluyor (2). Birinci yön ise elektromekanik bir dönüşümden büyük farklılıklar gösteren, farklı ara dönüşümleri kapsayabilen bir olay olması nedeni ile ilginçtir.

Bir katı iletken magnetik alanda hareket durumunda ise serbest yüklerin endüksiyonla hareketi bu iletken tarafından kılavuzlanmakta, mekanik kuvvet ve enerjiler elektromagnetik kuvvet ve enerjilere doğrudan dönüşmektedir. Oysa kanaldaki olaylar zinciri daha farklıdır. Kısaca ayrıntıları şöylece belirleyebiliriz: Enine alan nedeniyle üzerinde yüklerin bulunduğu parçacıkların hareketi yavaşlar. Magnetik alanın varlığı ve Lorentz kuvveti nedeniyle elektronlar enine alanın etrafında ve dairesel bir yörünge üstünde harekete zorlanır. Böylece oluşan negatif yüklü bir ekran Coulomb kuvveti nedeniyle akış halinde pozitif iyonları da yavaşlatır. Pozitif iyonların kitlelerinin çok daha büyük olması, yavaşlamayı elektronlardaki kadar etkilemez. Bu bağıl yavaşlamalarla oluşan yoğun plazma ekranı (pozitif iyonlar ve serbest elektronlar) doğrudan elastik çarpışmalarla nötr parçacıklar üzerine yavaşlatıcı bir kuvvet etkisi yaratır. Ekranın gösterdiği basınca karşı olan gaz akışı, elektronları alan içinde ve elektrotlar doğrultusunda harekete zorlar. Sonuç, gazın kinetik enerjisinde azalma ve bu kadar bir enerjinde elektrik enerjisi olarak yük devresine verilmesi şeklinde oluşur.

MHD ÇALIŞMA KARAKTERİSTİKLERİ

Meslektaşlarıma yönelen dergimizde konuyu soyutlaştırmadan ve mühendislik görüşleriyle ortaya koymak bakımından yukardaki kavramların formüle edilerek verilmesi uygun düşer kanısındayım. Gaz akışının zamanla değişmeyen süreklilikde, bir boyutla yaklaşık olması kabul edilerek J akım yoğunluğu, B magnetik endüksiyon, E elektrik alan şiddeti, v akış hızı (Şekil 2'deki gibi) olmak üzere sistemin :

Birim hacim için enerji çıkışı,

$$\dot{w} = \frac{J}{a} (avB - J)$$

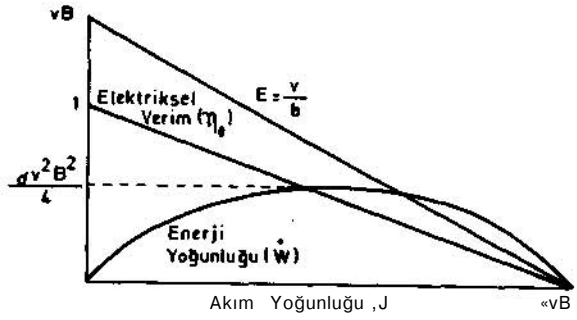
Elektriksel verim,

$$\eta_e = \frac{\dot{w}}{\dot{w} + J^2/cr} = \frac{E}{vB}$$

b kanal genişliği olmak üzere generatörün terminal (uç) gerilimi,

$$V = Eb$$

Elektrik alan şiddeti v yük akımının artışı ile doğrusal azalır ve $J = \langle J \rangle VB$ için sıfır olur. $J = 0$ için $\eta_e = \% 100$ dür. Çıkış gücü ise J ile parabolik değişir ve maksimum J nin yarı değerinde ve $\eta_e = \% 50$ iken maksimum değerini alır. Bu özellikler, kullanılabilen generatördeki güç çıkışı ve verim bağıntılarına benzerdir. MHD generatörün söz konusu karakteristikleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. MHD generatörün çalışma karakteristikleri.

KANAL GAZLARININ ÖZELLİKLERİ

Kanal gazlarının sahip olması istenen temel özelliği mümkün olduğu kadar iyi bir iletken olmasıdır. Gazların doğru akım elektriksel iletkenlikleri

$$\sigma = n_e \mu_e e$$

bağıntısı ile verilir ki burada, n_e elektron yoğunluğu, e elektron yükü ve μ_e ise elektron mobilitesi olarak tanımlanan bir büyüklüktür. Yaklaşık bir değer olarak tipik bir MHD generatör kanal gazında iletkenlik, bakırın iletkenliğinden 10^3 civarındaki bir faktör kadar daha küçüktür. Elektriksel iletkenliğin yükseltilmesi amacı ile metalik bir eleman örneğin Cs, Na, K katkı maddesi olarak kullanılır, iyi bir iyonizasyonunun sağlanması için yüksek sıcaklıklara çıkılması uygundur. Generatörün hareketli parçalarının olmaması bu bakımdan uygundur. Bu nokta MHD generatörün önemli özellik ve tercih nedenlerinden biridir. Hareketli parçaların olmaması, sürtünme, ısı kaybı, mekanik titreşimler, mukavemet sorunları, gürültü, çalışma sürekliliğinde riskler vb. birçok aksama, kayıp, çevre sorunları ve verim düşüklüğüne neden olacak durumların oluşmamasını sağlar.

MHD generatörlerde maksimum sıcaklık 3500°C kadar olup, kanal duvarlarında ısı kayıplarının büyük olması ve kısa süreli çalışmalarda bu sıcaklığa kadar çıkılması tercih edilebilir. Böylece MHD generatörlerde Carnot verimi oldukça yüksek değerlere çıkabilir. Verim için önemli olan diğer bir nokta sıcaklığın $1800-2000^\circ\text{C}$ in altına düşürülmemesidir. Çünkü bu durumda katkı yapılmasına rağmen gaz iletkenliğini kaybeder. Bu özellikler elektrot yapısını etkileyen önemli faktörlerdir (3).

MHD GENERATÖRÜN TEMEL BAĞINTILARI

Viskozite nedeni ile kanaldaki akış U ç boyutludur. Mafih bir boyutlu -quasi-akış kabulü incelemeleri oldukça basitleştirir ve birçok durumlar için yeterlidir. Keza ısı iletkenliği göz önüne alınmayarak, doğru alanla uyarılmış olma durumunda bağıntılar :

Durum denklemi,

$$P = \rho R T$$

olup burada ρ yoğunluk, R birim gaz kütlesi için gaz sabitidir.

Süreklilik denklemi,

$$\rho v = \text{Sabit}$$

olup A kesit alanıdır.

Ohm kanunu,

$$v = a(vB - E)$$

Hareket denklemi,

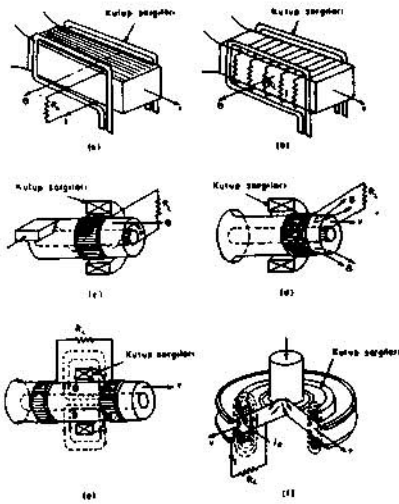
$$\rho v \frac{dv}{dz} = - \frac{dP}{dz} - JB$$

Enerji denklemi,

$$\rho v \frac{d}{dz} \left(h + \frac{v^2}{2} \right) = JE$$

Görülmektedir ki tüm Maxwell denklemleri gerekmemektedir ve sabit bir v_0 hızı için çözüm kolaylıkla elde edilir.

şeklinde tanımlanan büyüklük $0 < a < 1$ arasında değerler alır. a'nın değeri 1'e yaklaşırken J de sıfıra yaklaşır ve a'nın 1 den büyük olması ile akışkan yön değiştirip MHD pompa durumu oluşur. $a=0$, yüksüz çak-Şekil 3'de yutardaki faktörlerinde göz önüne alınarak gerçekleştirildiği muhtelif kanal geometrileri görülmektedir.



Şekil 3. MHD generatör geometrileri.

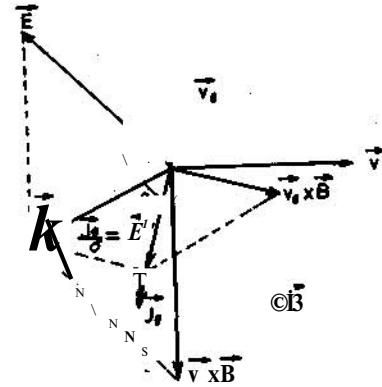
ışmayı gösterir. Bu özellikler kartal inşası üzerinde önemle durulması gerektiğini gösterir, aksi durumda darbeli akışlar ve kanalda mekanik zorlanmalar ile tehlikeli durumlar oluşur.

Kanal inşası başka bir yönden de önemlidir. Kanalda enerji yoğunluğu çok yüksek değerlere çıkar. Akışın ses üstü veya ses altı olmasına göre Mach (M) sayısı kanal boyunca değişir. Küçük bir hidrodinamik darbe, güç çıkışında önemli bir değişime neden olmasa bile kuvvetli bir darbeye yük akımı yön değiştirebilir. Bu bakımlardan kanal uzunluğu önem kazanır veyukarki durumların görülebileceği uzunluğa etkileşim uzunluğu adı verilir. Bu uzunluğu etkileyen faktörler dikkatle göz önüne alınmalıdır.

HALL ETKİSİ

Kanal gazlarının iletkenlik durumu ve bununla bağıntılı yük hareketleri elektromagnetik bir olay olarak ortaya çıkan Hall Etkisine neden olur. Bir magnetik alanda bulunan iletkenin geçen akım, alan ve akımın her ikisine dik bir elektromotor kuvveti oluşturur. Bu olaya Hall Etkisi diyoruz. Reynold sayısı denen $a = v L j_0$ 'nin $v \propto a$ mobilitenin büyük olduğu durumlarda bu etki ağırlık kazanır.

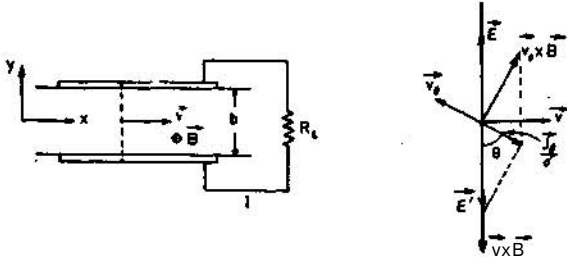
Örneğin, E elektrotlar arasındaki gerilimden oluşan bir alan, \vec{u}_e elektronların sürüklenme hızı, \vec{v} gazın (elektronlar kanala gaz içinde bu hızla girer) hızı, \vec{B} magnetik endüksiyon, θ Hall açısı ve $i_0 f_e \times \vec{B}$ ise Hall akımı adını almak üzere genel bir durumun vektör diyagramı Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Elektron sürüklenmesinin etkisini belirleyen, hareketli iyonize bir gaz içindeki alan ve akımların vektör diyagramı.

ELEKTROTLARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Elektrotların şekil ve bağlantıları işletme karakteristiklerini etkiler. Şekil 5'de vektör diyagramı ile birlikte sürekli-elektrot tipli bir MHD generatörün elektrot bağlantıları görülmektedir. Böyle bir MHD generatörde,



Şekil 5. Sürekli-Elektrot-tipli MHD Generatör ve vektör diyagramı.

$$J_{ex} = \frac{\sigma \nu B \beta_e (1-\alpha)}{(1+\beta_e^2)}$$

$$J_{ey} = \frac{-\sigma \nu B (1-\alpha)}{(1+\beta_e^2)}$$

$$\dot{w} = E_y J_{ey} = \frac{\alpha \nu^2 B^2 a (1-\alpha)}{(1+\beta_e^2)}$$

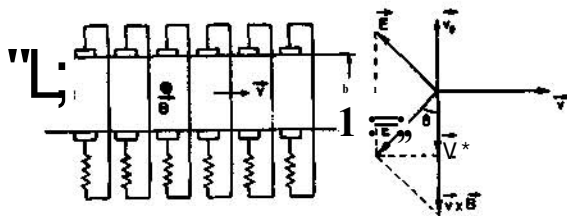
bağıntıları verilebilir. Burada $\alpha = j_e B$ olup Hall Etki Katsayısı adı da verilmektedir.

Şekil 6'da ise Faraday-Tipi (parçalı elektrot) bir MHD generatörün vektör diyagramı ve elektrot bağlantıları gösterilmiştir. Bu tipde :

$$J_{ex} = 0$$

$$J_{ey} = \sigma \nu B (1-\alpha)$$

$$\dot{w} = \sigma \nu^2 B^2 a (1-\alpha)$$



Şekil 6. Faraday-tipi MHD generatör ve vektör diyagramı.

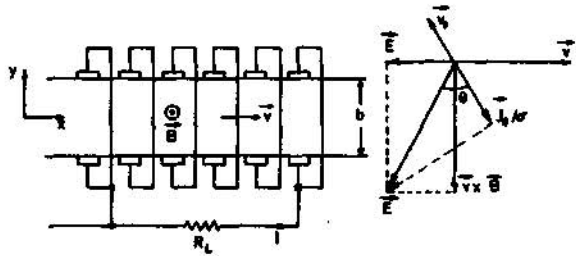
Hail-tipi MHD generatörlerde ise bağıntılar:

$$J_{ex} = \frac{\sigma (E_x + 0_e \nu B)}{(1+\beta_e^2)}$$

$$J_{ey} = \frac{\sigma (-\nu B + \beta_e E_x)}{(1+\beta_e^2)}$$

$$\dot{w} = \frac{\sigma \nu^2 B^2 \beta_e^2 \alpha (1-\alpha)}{(1+\beta_e^2)}$$

Bu tip MHD generatör için elektrot bağlantıları ve vektör diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Bu üç temel tip MHD generatörlere ait mukayeseler ise Tablo 1'de gösterilmiştir, T? dönüşüm verimini belirlemektedir.

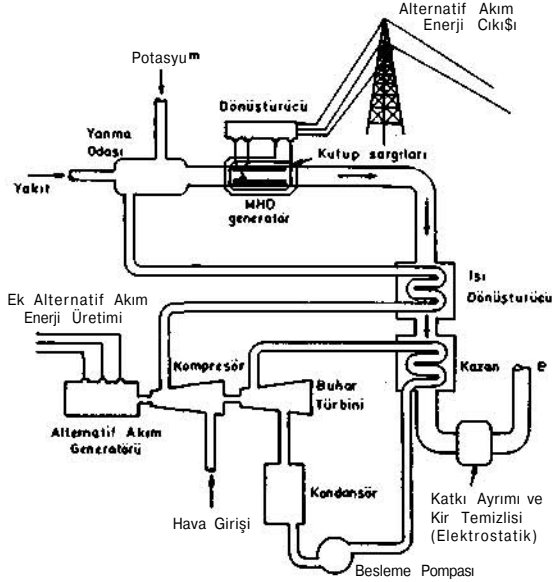
Şekil 7. Hail -tipi MHD generatör ve vektör diyagramı.

Tablo 1. Temel tiplerdeki MHD generatörlerin mukayeseleri.

Tip	Fayda	Mahzur
Sürekli-Elektrot	(1) Basit (2) Yalıtım problemleri kolay	(1) Büyük α lerde düşük \dot{w} (2) Boyuna kuvvet ve gerilmeler
Faraday	(1) En iyi* (2) Sadece aksiyal kuvvetler (3) Makul bir büyüklükteki α için uygun	(1) Karmadık yük devresi (2) Daha zor bir kontrol (3) Büyük aksiyal potansiyel gradyantları
Hail	(1) Tek yük devresi (2) Büyük α den yararlanma (3) Yüksek gerilim, zayıf akım	(1) Düşük \dot{w} (2) Sınırlı T_{max} (f_{α} genellikle istenildiği kadar büyük değil) (3) Büyük aksiyal potansiyel gradyantları (4) Enine kuvvetler

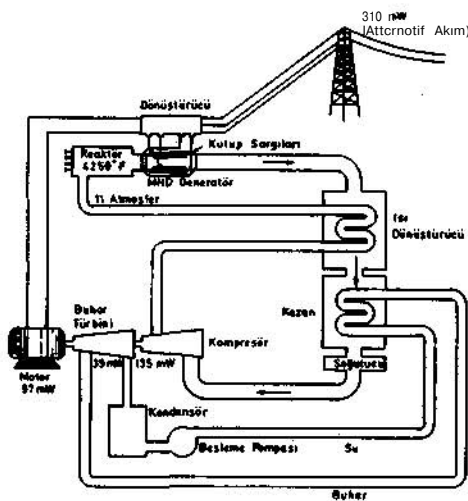
ENERJİ SİSTEMLERİNDE UYGULAMALAR

Gaz şeklinde kanal akışı bulunan MHD generatörler uygulamada iki türlü geliştirilmektedir. Şekil 8'de açık çevrimli bir sistem görülmektedir.



Şekil 8. Açık çevrimli sistem.

Bu tip santrallarda yanma odasında yakıt, hava ve katkı maddesi birleşerek yanma sonucu çıkan gaza generatörün giriş enerjisini verir ve bu gaz doğrudan kanala yönlendirilir. Kanal çıkışı artık enerji taşıyan gazlar bir ön ısıtıcı ve bir de kazandan geçirilerek yararlanılabilir tüm enerjilerini bırakırlar ve arınma odalarına geçerler. Bacadan çıkan gazların çevre kirliliği oluşturmaması ve katkı maddelerinin tekrar kullanılabilir duruma getirilmesi için bu işlem gereklidir, ön ısıtıcılar yanma odasına giden havayı ısıtırlar. Kazan sistemi ise bilinen yöntemlerle arda kalan ısı enerjisinin



Şekil 9. Kapalı çevrimli sistem.

elektrik enerjisine dönüştürülmesi için buhar türbinlerini besler. Bu sistemin en büyük mahzuru kanal duvarlarının çabuk kirlenmesi ile sık sık temizlik yapılma gereği ve bu nedenle işletmede kalma süresinin kısa periyotlu olmasıdır. Şekil 9'da ise kapalı devre bir sistem görülmektedir. Bir reaktörle kombine olarak görülen bu sistemde ise kanaldan geçen gaz sürekli olarak bir kapalı devreyi izlemekte ve dış ortamla temas ettirilmemektedir. Bu nedenle çalışma gazının kanaldan geçmektedir, temiz kalması sağlanır. Bu sistemin en büyük mahzuru ise ısı enerjisinin MHD generatöre iki kademe ulaşması ve bu nedenle oluşan ısı kayıplarının verimi düşürmesidir. Şekillerde görülen MHD generatör çıkışları doğru-akım şeklinde olup alternatif-akıma çevrilerek enterkonnekte şebeke beslenmektedir.

MHD generatörler üzerinde araştırma ve geliştirmeler sürekli devam ettirilmekte ve bunların yanısıra farklı tipteki MHD generatörler üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır (2, 4, 5, 6, 7). Örneğin sıvı-metal çevrimli MHD generatörler, doğrudan alternatif akım üreten MHD generatörler (7) gibi. Bazı ülkelerde oldukça düşük sıcaklıklarda çalıştırılan MHD generatörlerinin geliştirilmekte olduğu da belirlenmekte ise de (6) henüz ticari alana uygulanabilme olasılıkları hakkında ayrıntılı bilgiler basına aksetmem iştir.

SONUÇ

Alışmış yöntemlerle erişilemeyen bir verimi, daha düşük tesis ve işletme maliyetleri olan ve gerek temel yük ve gerekse de kısa süreli tepe yükler için uygun bulunan, kalitesiz kömürlerin dahi kullanılabilirdiği MHD enerji üretim sistemleri elektrik enerjisine dönüşümde yeni bir çağ getirmektedir. 1985'den önce ticari alana girmesi beklenen bu yöntem (4) umutla beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- (1) H. Nusret Yükseler, "Enerji Dönüşüm Olanakları", Elektrik Mühendisliği Dergisi, Cilt 27, Sayı 291/292, 1982/11-2.
- (2) H. Nusret Yükseler; "Magnetohidrokinamik Enerji", Türkiye Elektrik Kurumu'nda konferans^ 15 Haziran 1981, Ankara.
- (3) "MHD electrode ceramic developed", Modern Power Systems, Volume 2, No. 7, August 1982, Technology Briefs pg. 16.
- (4) "MHD Research Centre To Be Set Up", Modern Power Systems, Volume 2, No. 1, January/February 1982, World Digest, pg. 10.
- (5) "USSR Visits MHD Plant", Modern Power Systems, Volume 2, No. 8, September 1982, World Digest, pg. 7.
- (6) Arthur Conway; "Small Cool MHD Generators Could Power the Industrial and the Third World", Modern Power Systems, Volume 1, No. 4, April 1981, MPS Review, pg. 16.
- (7) MasakiSAITO, ShojiINOUE, YoichiFUJII-E "Induction MHD Generatör Using Alternating Magnetic Field", Journal of Nuclear Science and Technology, 16 | 3 |, pp. 161-174 (March 1979).