

# STATİK VAR KOMPANZASYONU VE ÇOK YÜKSEK GERİLİM (ÇYG) ŞEBEKELERİNDE YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (YGDA) İÇİN SİSTEM PLANLAMA ETÜDLERİ (\*)

Yazan : A. Hammad, BADEN  
Çeviren : Sevgi ENSEN

(\*) BBC, Mart 1982, Sayı 3

Bu makale, VAR kompanzasyonu ve y.g.d.a. yi birleştirerek büyük şebekelerin planlanması için basit bir yöntem ortaya koymaktadır. Durağan-hal ve dinamik koşullarda sistemin yeterli simülasyonu için çok yönlü bir sayısal bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bütün statik VAR kompanzator tiplerini temsil edecek evrensel bir matematik modeli kullanılabilir.

Statik VAR kompanzatorünün yer, büyüklük ve tip planlaması adım adım bir yol izler, Böyle bir metodolojinin büyük bir 750 ve 400 kV luk bir şebekede uygulama sonuçları anlatılmıştır.

## GİRİŞ

Güç sistemlerinde yeni araçların uygulanması için teknik uygunluğun belirlenmesinde sistem planlaması çalışmaları, işin zor kısmı olarak kabul edilir. Beklenen değerleri belirlemek ve diğer yan etkileri önceden görebilmek için tüm sistem çalışması bu araçlar olmaksızın ve bunlarla birlikte iken, incelenmelidir.

Elektronik denetimli y.g.d.a ve statik VAR kompanzator sistemlerini uygulamanın temel amacı a.a şebekelerde etkin ve tepkin güç (gerçek ve reaktif güç) iletimi ve regülasyonudur. Bu durumda çalışmanın asıl önemli kısmı bu araçların yeteneklerinin anlaşılması, daha önemlisi bu işin en ekonomik şekilde yapılabilmesi için sistemin kabul edilebilirliğidir. Bundan sonra sistemde yeni araçların birleşimine bağlı olarak ortaya çıkabilecek ikincil problemleri denetlemek için diğer özel çalışmalar gereklidir. Bu tip problemlerde üçüncü adım. olabilecek sonuçları ya da değişiklikleri araştırmak ve incelemektir. (1,2) Bu durumda sistem planlaması çalışmaları iki ana sınıfta toplanabilir :

Temel,zorunlu çalışmalar

- Yük akış çalışmaları; Durağan-hal koşullarında şebekedeki etkin ve tepkin güç akışlarını, kayıpları ve gerilim dağılımını hesaplamak.

- Kararlılık Çalışmaları; Sistemin Eigenvalue değerlerini hesaplayarak küçük bozulmalarda (Dinamik ve durağan, hal kararlılığı) ve büyük sarsıntılarda (geçici kararlılık) ana sistem bozulmaları sırasında ve sonrasında sistem tepkisi simülasyonu ile sistem kararlılığını incelemek.

- Dinamik aşırı gerilim ve gerilim kararsızlığı çalışmaları; Bir dizi arıza ve bozulmaları takibeden sistemin ana bileşenleri üzerindeki geçici aşırı gerilimleri hesaplamak.

- Kısa devre çalışmaları; Kısa devre akımlarını ve her tipteki hatalar (faults) için gerilimleri hesaplamak.

Diğer özel çalışmalar:

- Geçici aşırı gerilimler ve yalıtım düzenlemesi
- Harmonik analizi
- Düşük sıklık (frekans) salınım arı ve şebeke burulma içteki etkileşimleri (network-torsional interactions)

Yukarıdakilerin herhangi biri ya da diğeri zorunlu olabilir. Duruma göre bunların içinden önemli olabilecek olanı incelenen olayın tipi ile belirlenir.

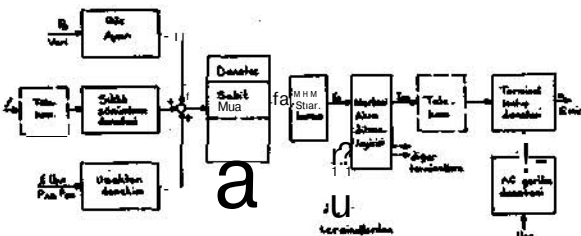
Bu nedenle temel sistem planlaması çalışmaları ile ilgilidir. Büyük ç.y.g. şebekelerinde statik VARkompansatörleri ve y.g.d.a planlaması için geliştirilmiş elverişli bir sayısal bilgisayar program paketinden yararlanarak basit sistematik bir yol gösterilmiştir.

### DURAĞAN VE GEÇİCİ DURUMLARDA BÜYÜK ŞEBEKELERİ SIMULASYON METODU

Durağan-hal, yarı durağan-hal ve geçici koşullarda büyük şebekelerin simülasyonu için çok yönlü bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Programın yük akış kısmı optimum adım-boyu denetimli (3) bir Newton metodu kullanmaktadır. Halbuki dinamik simülasyon (4) yeni bir seri-çözüm algoritması benimsenmiştir. Dağınık şebeke yapısı tümüyle işletilmiştir ve program y.g.d.a şemaları ve statik VAR kompansatörlerini taşıyan çok büyük sistemleri (1500 çubuk, 600 generatör, 3000 hat ve transformatörler) çalıştırılabilir özelliktedir.

Bazı dikkati çeken özellikler:

- Senkron generatörler için uyarıcılar, AVR'ler, türbinler ve hız regülatörleri ile birlikte statik (U-Q ve P-F) ve dinamik (klasik, geçici ve ön geçici (sub-transient)) modeller
- Bütün statik VAR kompanzasyonu sistemlerinin simülasyonu : Tiristör anahtarlama kapasitörler, tiristör faz ayarlanabilir reaktörler, yüksek empedans transformatörleri, transdüktörler, kendinden denetimli doyumlu reaktörler ve hava aralıklı reaktörler.
- İki ve çok uçlu çalışmada YGDA sistemleri ve bağımsız terminal denetimli diyod redresörleri, redresörlerin ateşleme ve söndürme açılarını artırma yoluyla d.a. gerilimi geçici olarak değiştirerek a.a. gerilim denetimi ve d.a. güç modülasyonu yolu ile sıklık sindirimi gibi yollarla a.a. sistem performansını artırmak için çeşitli kutup denetecileri simüle edilebilir.
- Sıklık gerilimin bir fonksiyonu olarak yüklerin genel tanımlanması.
- Yardımcı sistem bileşenleri ve parçaları çeşitli derecelerdeki deneticileri için ilkel işlevler kullanarak sistemin dinamik modellenmesi.

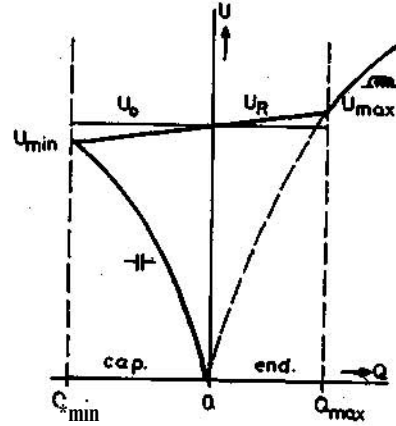


Şekil 1. Genel y.R.d.a. ana kumanda ve kutup denetleyicisi modeli. (Sembollerin açıklaması metinde verilmiştir).

### STATİK VAR KOMPANSATÖRLERİN (SVC) MODELLENMESİ

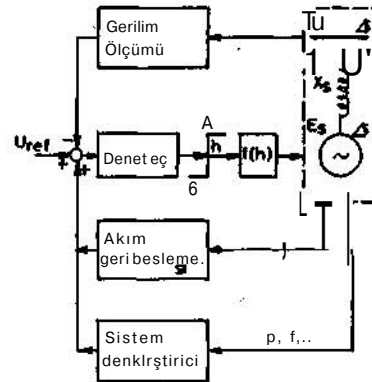
Statik veyarı-durağan çalışma simülasyonu

Şekil 2 de bir SVC nin bilinen durağan hal karakteristiği gösterilmiştir. Statik ve yarı durağan simülasyon için bir SVC, yük akışında denetimli gerilim  $U_R$  ve VAR sınırları  $Q|_{\text{limit}} (= Q_{\text{max}} \text{ ve } Q_{\text{min}})$  ile PU çubuk olarak gösterilmiştir. SVC denetecine bağlı olan  $U_R - Q$  eğimi Olimit arasında doğrusaldır ve sifra ayarlanabilir. Plimit ötesinde SVC şönt reaktör ( $Q_{\text{max}}$  için) veya şönt kapasitör ( $Q_{\text{min}}$  için) olarak modellenmiştir. Plimit değerlerinden herhangi birinin sıfır olduğu durumda böyle bir sınıra aykırılık basitçe çubuktaki gerilimin denetlenemez olduğu anlamına gelir ve çubuk tipi şontsüz PQ tipine dönüşür.



Şekil 2. Bir statik VAR kompansatörünün durağan hal karakteristikleri (Sembollerin açıklaması metindedir.) Dinamik çalışma simülasyonu

Normal güç dalgalanmaları sırasında, SVC ana bileşeninin sıklık davranışı ile gerektiği gibi ifade edilebilir, yani diğer harmonik üretimi ihmal edilir. SVC gösterimi için birçok model anlatılmıştır. (5). Fakat bu bilgisayar programında bütün statik VAR kompansatörleri için evrensel bir model geliştirilmiştir. Şekil 3 te gös-



Şekil 3. Statik VAR kompansatörleri için birleştirilmiş model (Sembollerin açıklaması metindedir.)

terildiği gibi model sabit bir reaktans  $X_s$  in gerisinde denetimli gerilim büyüklüğü  $E_s$  in durgun olmayan bir kaynağıdır.  $E_s$  daima terminal gerilimi  $U$  ile aynı fazdadır. Modelin değişik parametreleri kullanılan SVC nin özgül tipine olduğu gibi gereksinilen modellemenin düzgünlüğüne de bağlıdır. Bütün durumlarda ana bileşen (Fundamental) akım davranışı dikkate alınır ve harmonik akım püskürmelerinin uygun filtrelerle emildiği varsayılır.

Sabit şönt kapasitörler ve/veya reaktörler sabit empedanslı ayrı şönt elemanlar olarak modellenir. Böyle bir evrensel model ile tüm sistem admitans matrisi sabit kalabilir ve değiştirilmesi gerekmez. Bu düşünce program için benimsenen doğrudan çözüm algoritması ile uygunluk gösterir.

Tiristör denetimli bir reaktör için (6):

$X_s =$  Tamamen "ON" reaktörün toplam reaktansı.

$f(h) = U.h$

$A = 1$

$B = 0$

Bir süseptans doğrusallayıcı kullanıldığında aşağıdaki verilerle aynı model kullanılabilir.

$h =$  tiristörün ateşleme açısı

$f(h) = U(-1 + (2h.\sin 2h)/7r)$

$A = \pi$

$B = w/2$

Tiristör anahtarlama kapasitör grubu için :

$X =$  Bütün kapasitör grubunun toplam reaktansı

$h =$  Toplam grup sayısı  $M$ 'nin bir kesri olarak bağlanmış kapasitör grupları

$A = 1$

$B = 0$

$f(h) = U(1 + N/M)$  ve

$N =$  "ON" banks sayısı =  $h.M$

#### YGDA SİSTEMLERİ VE STATİK VAR KOMPANSATÖRLERİ PLANLAMASI İÇİN İZLENECEK YOL

Büyük ç.y.g. şebekelerinde tiristör denetimli VAR kompensatörleri ve y.g.d.a. sistemlerini planlama metodolojisi şu soruları yanıtlamayı amaçlar : Neden?, Ne büyüklükte? ve Nerede? Bu üç soru bu tür araçları planlama stratejisinin belkemiğini oluşturur.

İlk soru olan "Neden?" sorusunu yanıtlamak için : Durağan ve normal çalışmada şebekedeki etkin ve tepkin (VAR) güç akışının denetimi bütün sistem kayıplarını etkili derecede azaltabilir ki bu doğrudan yakıt ve işletme maliyetlerinde bir tasarruf demektir. Yük merkezlerindeki gerilim dağılımıda önemlidir. Dahası böyle denetim araçları ana bozulmalar sırasında sistem performansını artırır ve bütünlüğünü korur. Böylece oldukça pahalıya gelen kesintiler (black-out) önlenmiş olur. Aynı zamanda bunlar sistemin ana bileşenleri üzerindeki geçici aşırı gerilimlere bağlı zorla-

maları azaltabilecek durumdadırlar. Diğer yararlar her münferit güç şebekesinin özel koşullarına bağlı olarak kazanılabilir.

Gücün yeri ve anma değerini ve VAR denetim araçlarını planlamak için bütünlükle bir işlem öngörülmüştür. Bir y.g.d.a. projesi için daima alternatif ç.y.g. a.a. hattı (hatları) ile doğrudan bir kıyaslama yapılabilir. Hattın konumu genellikle önceden bilinir ya da bazı ekonomik, çevresel ya da yetkili makamlara bağlı nedenlerle önceden belirlenmiştir, y.g.d.a. projesinin anma değeri az üretim durumundaki iletilecek maksimum güç ile ya da sistem yayılması ve yük büyümesi ile karşılaşacak şekilde yokuşa sürüp aynı zamanda bütün sistem kayıplarını en aza indirip sistemin güvenilirlik seviyesini yükselterek kolaylıkla belirlenebilir. Proje alternatif a.a. hattı (hatları) ile de ekonomik açıdan uygun olmalıdır.

Kritik sistem bozulmaları sırasında yapılan dinamik simülasyon ile, sistemi kararlı hale getirmek ve da. güç modülasyonu ile sıklık salınımlarını sindirme ve eğer uygulanabilirse, ateşleme söndürme açılarını artırıp d.a. gerilim seviyesini geçici olarak değiştirerek komşu a.a. gerilimi denetlemek y.g.d.a. denetim projesinin yapabileceklerini anlamak açısından yararlı olabilir.

Statik VAR kompensatörünün yer ve anma çalışması planlaması için aşağıdaki yol kullanılabilir.

a) Normal ve aşırı yüklenme koşulları ile büyük beklenmedik arızalar sistemin bütün kısıtlamalarını karşılayacak tüm tepkin güç gereksiniminin değerlendirilmesi, (durağan halde) bu tür işler için birçok optimizasyon teknikleri işe yarayabilir. Fakat bunların çoğunluğu büyük karmaşık sistemlere uygulanabilmesi için uygun değildir ve hâlâ genel mühendislik araştırmalarının sorunudur.

b) Halen kurulmuş olan ve gelecekte sisteme eklenmesi mümkün araçları ve yük genişlemesini de dikkate alarak değişken VAR kaynakları için potansiyel alanlarının (potential sites) seçimi.

c) Dinamik koşullarda olduğu gibi durağan hal (normal ve beklenmedik arıza) durumlarında sistem çalışmasını en uygun hale getirmek için statik VAR kompensatörlerinin anma değerlerinin belirlenmesi. Buna iki adımda ulaşılabilir : ilk olarak en kötü durum koşullarında, hangi ölçüye kadar sistem gereksinmelerini karşılayabileceğinin iyi bir tahminini yapabilmek için ideal ya da çok büyük bir statik VAR kompensatörü düşünmek ve ikinci olarak da aynı gereksinimleri karşılayabilmek için optimum bir anma çalışması ile bir SVC yi denemek.

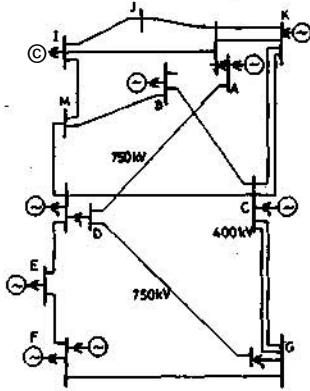
d) b ve c adımları optimum SVC yer ve anma çalışması için diğer alternatif tekrarlanır. Bu, ekonomiklik ve tüm sistem performansı arasında en uygun ortalamada yapılmasını sağlar.

e) Yukarıdaki yol sadece yükün belirli bir süresi ve üretim büyümesi için geçerli olabilir. Sistem genişlemesinin diğer safraları incelenmeli ve başka ilavelerin gerekip gerekmediğinin kontrolü için seçilen SVC yeniden değerlendirilmelidir.

#### İNCELENEN DURUM

800 km. uzunlukta iki kısımlı 750 kV luk bir hat ve 400 kV luk bir şebekeyi bulunduran büyük bir a.a. sistemi incelenmiştir.

Şebekenin bir kısmı şekil 4 te gösterilmiştir. Önceki bölümlerdeki yol izlenerek VAR kompanzasyonu için beş yıllık bir plan uygulanmıştır.

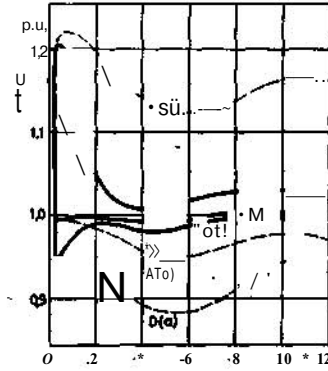


Şekil 4. İncelenen şebekeden bir kısım.  
(Sembollerin açıklaması metindedir).

VAR kompanzasyonu için var olan kullanışlı ve tercih edilen alanları dikkate alarak tüm VAR tahsisleme çözümleri 750 kV ve 400 kV çubuklarda  $\pm\%$  1 içerisinde bir gerilim dağılımını korumak ve başka hat aşırı yüklemesi olmaksızın durağan hal çalışması sırasında sistem kayıplarını en aza indirmek için gerekli tepkin güç sınırlarını sağlamıştır. Sonuçlar göstermiştir ki 400 kV ve 750 kV luk hat terminallerinde sabit hat şönt kompanzasyonu ile birlikte A, C, D ve E çubukları ile G çubuğu çevresindeki yük merkezlerinde tepkin güçlere gereksinim duyulmaktadır. Bu daha ileri adımların temelini oluşturmuştur. VAR sahası gereksinimlerinin tasfiyesi için tek ve katlı beklenmedik arıza koşulları taklidedilmiştir. Değişken VAR kaynakları için potansiyel alanlar A, C, D ve G çubuklarını kapsamıştır.

VAR kondansatörünün ölçüleri 750 kV ve 400 kV çubuklarda geçici aşırı gerilim  $\% 5$  ve düşük gerilim  $\% 10$  ile sınırlaması kıstasını sağlayacak şekilde ve sistem kararlılığını iyileştirmek için en uygun hale getirilmiştir. Bıçkok yük atma durumları ve/veya hata (kısa devre) taklit

Şekil 5 750 kV luk (D-G) hattı D noktasında açık ve sadece sabit VAR kompanzasyonu ile A, D ve G çubuklarındaki r.m.s. gerilimleri göstermektedir. Diğer durumlar benzer sonuçları doğurmuştur. Fakat G'deki aşırı gerilimi  $\% 16$  ve D'ki düşük gerilim  $\% 15$  olmuştur.



Şekil 5. 750 kV hattın bir yük atmasını takibeden terminal gerilimi

- (a) Sadece sabit VAR kompanzasyonu
- (b) En uygun statik VAR kompanzasyonları ile

Optimize VAR kompanzasyonu göstermiştir ki :

D çubuğunda 400 Mvar (kap) - 160 Mvar (end) ve G çubuğunda-350 Mvar (kap) - 200 Mvar (end)

Bu SVC ler 750/400 kV transformatörlerin üçüncüsüne bağlanmıştır. Şekil 5 teki durum için en uygun (optimum) VAR kompanzasyonları ile sistem tepkisi (b) eğrileri ile gösterilmiştir.

#### YARARLANILAN ESERLER

- (1) "Entegre AC-DC sistemlerinde aşırı voltajlar ve kompanzasyon" IEEE Uluslararası konferans, Winnipeg, Temmuz 1980
- (2) "Incorporating HVDC power transmission into system planning" Sempozyum, Phonicx, Mart 1980
- (3) K. Reichert, A. Hammad: "Quasi-stationary and dynamic load flow for power system simulation" 7. ci PSCC, Lanza, Temmuz 1981, 936-943
- (4) CIGRE çalışma grubu 31-01 : "Modelling of static shunt VAR systems for system analysis" Electra dergisi Sayı 51 1977, 45-74.
- (5) A. Hammad : "A fast stability program for power systems with multiterminal HVDC and static VAR compensators" IEEE, PICA-79 Cleveland Mayıs, 1979
- (6) H. Schweickardt, W Pfl, G. Romegialli : "Laurantides-the first 735 kV static VAR system, description and first operational results". Denetimli Tepkin kompanzasyonu üzerine uluslararası sempozyum, IREQ, Eylül 1979, 119-141
- (7) A. Hammad; R. Mathur : "A new generalized concept for the design of thyristor phase controlled VAR compensators." IEEE Trans. Güç aletleri ve sistemleri Bölüm I - II, Sayı 98 Ocak/Şubat 1979, 219-231