



# Mevcut Endüstriyel Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Akımlarının Düşürülmesi

## Reducing The Short Circuit Currents of The Existing Industrial Electrical Systems

Selahattin Küçük

TÜPRAŞ – İzmit Rafinerisi

selahattin.kucuk@tupras.com.tr

### Özet

Otoprodüktör Lisanslı Santraller, bildiği gibi işletmelerin elektrik enerji ihtiyacının bir kısmını veya tamamını sağlayan, işletmenin güvenliği ve sürekliliği için enterkonnekte şebeke ile sürekli veya zaman zaman paralel çalışan tesislerdir. Bu santrallerin amacı enerji ticaretinden ziyade işletmenin enerji ihtiyacını güvenli ve sürekli sağlamak olduğundan, genelde işletmenin talep gücüne yakın veya bir miktar üzerinde kurularlar. Satılabilecek enerji, yönetmelikler gereği sınırlı olduğundan, santralin verimsiz çalışmaması için santral gücü çok büyük seçilmez. Dolayısı ile yeni yatırımlar yapıldıkça, işletmenin enerji güvenliği için sisteme yeni üretim kaynaklarının ilavesi zorunluluğu ortaya çıkar. Şayet mevcut elektrik sisteminin bara, kesici, ayırıcı gibi tesis elemanlarının birinde, birkaçında veya tamamında kısa devre gücü bu uygulamada olduğu gibi, yeni generatör ilavesiyle düşük kalırsa, işletmenin güvenliği için elektrik sisteminin bütün tesis elemanları ile birlikte yenilenmesi gerekir. Ancak tesis elemanlarının yenilenmesi hem çok büyük bir maliyet, hem de zaman alacağından pek tercih edilmez. Bunu yerine bu çalışmada olduğu gibi, iyi bir analiz ve gerekli hesapları yaparak elektrik sisteminde en fazla yarar sağlayacak yere, istenen bara, kesici, ayırıcı gibi tesis elemanlarının kısa devre akımlarını düşürecek, aynı zamanda en az gerilim düşümü ve kayıp oluşturacak reaktörleri devreye seri olarak bağlamak gerekir.

### Abstract

As already known, "Otoprodüktör" licensed Power stations are the electrical generating centers which supply the full amount or some percentage of the energy need of the dedicated industrial plant, and work parallel with the national electrical grid continuously or from time to time for the sake of the safety of the industrial plant operations. The purpose of these stations is not working for the electrical energy trade only, but also ensuring the continuous and safe supply of energy need of the industrial plant operations. For this reason they are designed to generate the amount needed by the industrial system, or sometimes with a small extra capacity. Because the amount that can be sold is limited, in order not to decrease the efficiency of the power station, power generation amount is not generally chosen too big. So,

as new investments are made, for the energy safety of the industrial plants there comes out an absolute necessity of adding new power sources. If the short circuit power of the current electrical network becomes insufficient with the newly added generators, for the safe working of the system, some parts of the current electrical system including all the equipment being used should be changed. Because this is a very expensive and time consuming process, it is not preferred generally. There is another application used in this project that is basically to add short circuit current limiting reactors, which will decrease the probable short circuit power and current, in series with the network.

### 1. Giriş

Çalışır durumdaki Endüstriyel tesisler artan talepleri karşılamanın yanında fiyat ve kalite olarak rekabetlerini sürdürebilmeleri için yeni yatırımlar yapmak, mevcut tesislerini yenilemek veya genişletmek zorundadır. Yapılan yatırımlarda öngörülme veya bir zorunluluk gereği ortaya çıkan sorunların da en ekonomik şekilde çözülmesi esastır.

Elektrik enerjisinin yoğun olarak kullanıldığı rafineri elektrik sistemi, gerek kesintilerin maliyetinin çok yüksek, gerekse bu kesintilerin oluşturacağı zararların can ve mal güvenliğini tehlikeye düşüreceği, çevreyi olumsuz yönde etkilediğinden çok özel olarak dizayn edilmiş ve enterkonnekte sistemle, otoprodüktör lisansı yapılarak bağlantısı sağlanmıştır.

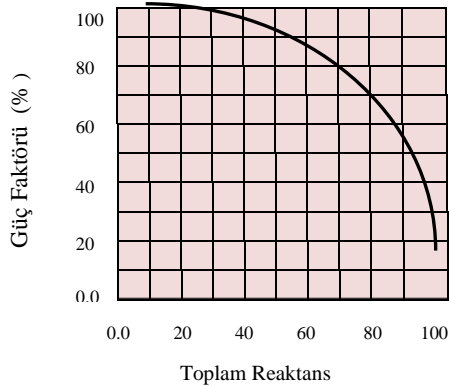
İlk üretim santrallerinin kurulduğu yıllarda teknolojinin elverdiği kapasitede tesis edilen orta ve alçak gerilimli tesislerin bara, kesici, ayırıcı gibi elemanlarının kısa devrelere karşı dayanım değerleri zamanla ilave edilen yeni generatörler ile sınıra ulaşılmış ve en son kurulan generatör ile aşılmıştır. Bu durumda normal olarak alınacak tedbir, çok sayıda orta ve alçak gerilimli şalter sisteminin bütün elemanları ile yenilenmesi olacaktır. Ancak böylesi bir değişimin maliyetinin büyüklüğü yanında, tesislerin yenilenme sürecinin uzunluğu ve bu sürede rafinerinin üretim yapamaması, sadece şirket yönünden değil, ülke ekonomisi açısından bir sorun teşkil edecektir. Bu durumda yapılabilecek en doğru uygulama, bu çalışmada da sunulacağı üzere, Rafineri elektrik sistemindeki bara, kesici, ayırıcı gibi tesis elemanlarının kısa devre

akımlarının dayanım gücünün üzerine çıkmasına neden olan kaynak veya kaynaklarda sınırlandırılması için seri reaktör ilavesidir. Ancak kısa devre akımlarını sınırlamak için ilave edilecek seri reaktörlerin yeri ve değeri ögle seçilmelidir ki, bu reaktörlerde meydana gelen kayıplar minimum olsun ve güçlü motorlar da sorunsuz devreye alınabilsin.

Bu çalışmada, 1960'lı yıllarda kurulan ve her on yılda bir büyüyen bir rafinerinin yeni bir yatırım nedeniyle enerji ihtiyacını güvenli karşılamak için elektrik sistemine ilave edilen yeni bir generatör grubunun, enterkonekte sistemle paralel çalışması durumunda çok sayıda tesis elamanında meydana getirdiği kısa devre akımlarının düşürülmesi için yapılan ve başarı ile uygulanan mühendislik faaliyetleri anlatılmaktadır.

## 2. Kısa Devre Akımlarının Sınırlandırılması

Kısa devre hesaplarında da görüldüğü gibi her hangi bir noktada meydana gelen arızanın kısa devre akımının büyüklüğü ile bu noktaya doğru akan kısa devre akımlarını sınırlayan, besleme kaynakları ile kısa devre noktası arasında bulunan generatör, transformatör, iletken vb. tesisat elemanlarının empedansdır. Arıza noktasındaki kısa devre akımı ile bu noktaya doğru akan kısa devre akımlarını sınırlamak için bu tesisat elemanlarının empedansını arttırmak hem çok sınırlıdır, hem de teknik olarak zor ve ekonomik olarak uygun değildir. İhtiyaç duyulması halinde reaktör gibi tek bir tesisat elemanı ile kısa devre akımları sınırlandırılabilir. Kısa devre reaktörleri bilindiği gibi devreye, kısa devre akımlarını sınırlandırmak için seri olarak bağlanırlar. Kısa devre reaktörlerinin büyüklükleri yaygın bir şekilde % olarak verilir. Bu değer reaktör üzerinden tam yük akımının geçmesi halinde uçlarında meydana gelen gerilim düşümünün % değerine karşılık gelen bir büyüklüktür.



Şekil 1: Tesisin toplam güç faktörünün, sisteme ilave edilen reaktör büyüklüğüne bağlı değişimi.

Reaktörlerin, kısa devre akımlarını sınırlamalarının olumlu etkileri yanında kullanıldıkları sistemde yerleri iyi seçilmez ise regülasyonun, gerilim düşümü ve kayıpların artmasına, güç faktörünün ise düşmesine neden olurlar. Reaktörlerin güç faktörünün hangi oranda düşürdüğü Şekil. 1'de, regülasyonu nasıl arttırdığı ise Tablo. 1'de verilmektedir.

Kullanıldığında elektrik sistemlerinde yukarıda ifade edilen

olumsuzluklara rağmen reaktörler basit yapıları, bakımsız olmaları, sorunsuz çalışmaları ve ekonomik olmaları nedeniyle kısa devre akımlarını sınırlamada tercih edilen tesisat elemanlarıdır. Önemli olan reaktörleri en fazla etkili olacağı bir yere ve yukarıda sayılan olumsuzlukları minimum seviyede tutacak boyutta seçerek monte etmektir. Seri reaktör uygulamaları nedeniyle ortaya çıkan olumsuzlukları asgariye düşüren ve kısa devre gücü ile kısa devre akımlarını sınırlamak için geliştirilen ancak dizayn aşamasında çok sayıda hassas sistem bilgisi gerektiren ve uygulamalarda yeterince denenmemiş "short-limiting coupling" ( SLC ) adı verilen akım sınırlayıcılar da kullanılmaktadır. Bu tür seri rezonans elemanları, seri reaktörlerdeki gibi eski ve yeni baraların birleştirilmesinde, fider çıkışlarında da pratik olarak kullanılabilir. SLC, seri reaktörler gibi kısa devre akımını sınırlamak için devreye seri olarak bağlanırlar. SLC, normal çalışma halinde düşük empedansa sahip olduğundan, meydana gelecek kayıplarda dolayısıyla düşüktür. Güç faktörü de fazla değişmez. SLC bir arıza halinde otomatik olarak ve çok hızlı bir şekilde devrenin yapısı gereği büyük bir empedans değerine ulaşarak, kısa devre akımını istenen değere düşürerek tesisatı korur. Arıza ilgili kesici tarafından temizlendikten sonra yine hızlı bir şekilde eski değerine düşer. Burada en önemli husus, SLC dizayn edilirken, devreye alınacak motorların yol alabilmesi için gerekli reaktif akımın geçmesine müsaade edecek yapıda olmasına özen gösterilmelidir.

Tablo 1: Reaktans ve güç faktörüne bağlı olarak regülasyonun değişimi.

Reaktans İlavesi (%)	Güç Faktörü			
	1,0	0,9	0,8	0,5
1	-	0,4	0,5	0,75
2	-	0,75	1,15	1,5
3	-	1,25	1,75	2,4
4	0,1	1,6	2,4	3,25
5	0,15	2,2	3,0	4,1
6	0,2	2,7	3,75	5,0
7	0,25	3,2	4,5	6,0
8	0,3	3,75	5,15	7,0
9	0,4	4,3	5,8	8,0
10	0,5	5,0	6,6	9,0

## 3. İşletmenin Elektrik Sisteminin Yapısı

Kısa devre reaktörlerinin ilave edildiği işletmede Kojenerasyon tesisinden önce dört adet buhar türbini ile tahrik edilen ve toplam kurulu gücü 45 MW olan generatör ve bu generatörleri enterkonekte sisteme bağlayan orta gerilimli paralel iki adet havai hattı bulunmaktadır. İşletmenin sürekliliği hem ekonomik hem de güvenlik nedeniyle büyük önem arz ettiğinden, işletmenin elektrik sistemi genelde enterkonekte şebeke ile paralel çalıştırılmaktadır. Elektrik sistemine bağlı kaynaklardan, enterkonekte şebeke hariç bir veya birkaçı devre dışı olsa bile işletme sürekliliğini devam ettirebilmektedir. İşletmenin enterkonekte şebeke bağlantısının herhangi bir şekilde kesilmesi halinde Rafineri enerji arzında oldukça riskli bir çalışma şekline gelmiş olur ki, bu durumda mevcut kaynaklardan her hangi birinin devre dışı olması halinde kısmi, bazen de bunu takip edebilecek

genel duruşlar meydana gelir. Dolayısıyla enterkonnekte şebeke ile paralel çalışma, işletmenin güvenliği ve sürekliliği için bir enerji alışverişi olmasa bile bir zorunluluktur. İşletmenin üretim gerilimi 11 kV olup, çok sayıdaki ünite ( fabrika ) 34,5, 11 ve 3,3 kV'luk gerilim seviyesindeki hatlarla birbirine bağlıdır. Ünitelerdeki yüklerin gerilimi, yüklerin büyüklüğüne göre 11, 3,3 ve 0,4 kV seviyelerindedir. Ek. 1'de verilen işletmenin yeni yatırım nedeniyle artan elektriksel güç talebinin iç kaynaklardan sürekli sağlanabilmesi için işletmenin mevcut elektrik sistemine 34,5 kV seviyesinden 40 MW büyüklüğünde yekpare yeni bir gaz türbini ile tahrik edilen generatör ilave edilmiştir.

ile değiştirilmesi fikridir. 34,5, 11, 3,3 kV orta gerilim şalterleri ile 380 V gerilim seviyesindeki motor kontrol merkezlerini ve bunları birbirine bağlayan kablo ve transformatörlerin değiştirilmesi çok büyük masrafların yapılmasını gerektirdiği gibi, bu değişim sürecinde işletmenin üretim yapamaması da çok büyük işletme kayıplarına da neden olacaktır. Bu durumda sorunu daha az masraf yaparak giderecek, seri reaktörlerin kullanılması uygun bulunmuştur.

Tablo 2 : Kısa devre reaktörü ilavesinden önce ve sonra orta gerilim baralarında hesaplanan kısa devre akımları.

Bara Adı	Nominal Gerilim	Baraların kısa devre dayanım akımları	Elektrik sistemine generatör ilavesinden önce, Hesaplanan kısa devre akımları	Elektrik sistemine generatör ilavesinden sonra, Hesaplanan kısa devre akımları	7 ohm'luk reaktörün üretim barasına edilmesinden sonar hesaplanan kısa devre akımları	2 ohm'luk kısa devre reaktörlerinin entrekonnkte şebeke hatlarına monte edilmesinden sonar hesaplanan kısa devre akımları
	[ kV ]	$I_k''$ [ kA ]	$I_k''$ [ kA ]	$I_k''$ [ kA ]	$I_k''$ [ kA ]	$I_k''$ [ kA ]
TEİAŞ	154	<b>22,0</b>	7,4	7,8	7,5	7,5
TEDAŞ	34,5	<b>25,0</b>	15,9	20,1	17,8	17,2
01HS -1	34,5	<b>16,1</b>	13,4	<b>17,4</b>	15,2	13,4
01MMS -1	11	<b>39,4</b>	24,8	26,1	25,6	25,5
11MS -1	3,3	<b>26,2</b>	28,1	<b>30,91</b>	<b>28,1</b>	<b>28,3</b>
12MS -1	3,3	<b>26,2</b>	23,8			23,9
13MS-1	3,3	<b>26,2</b>	17,8			17,89
14MS-1	3,3	<b>26,2</b>	18,9			19,02
01MMS-2	11	<b>39,4</b>	26,0	28,6	26,4	27,3
21MMS-1	11	<b>39,4</b>	24,9	27,4	22,9	26,1
22MS-1	3,3	<b>26,2</b>	16,0	17,6	16,1	16,1
01MMS-4	3,3	<b>31,5</b>	31,1	<b>32,7</b>	<b>31,7</b>	31,1
41MS-1	3,3	<b>26,2</b>	30,7	<b>32,2</b>	<b>31,3</b>	<b>30,7</b>
42MS-1	3,3	<b>31,5</b>	30,40			30,4
01MMS-3	11	<b>52,5</b>		48,8	39,4	45,5
31MMS-1	11	<b>52,5</b>		47,4	38,5	44,8
32MS-1	3,3	<b>40,0</b>		35,8	34,4	35,5

#### İŞLETME KOŞULLARI

##### 1. Elektrik sistemi genişletilmeden önce;

- 4 TG devrede
- TEİAŞ'tan 2 besleme devrede
- Bütün 34,5 kV dağıtım hatları devrede
- Bütün motorlar devrede

##### 2. Elektrik sistemi genişletilmiş, fakat kısa devre reaktörleri ilave edilmemiştir.

- 5 TG devrede
- TEİAŞ'tan 2 besleme devrede
- Bütün 34,5 kV dağıtım hatları devrede
- Bütün motorlar devrede
- Yeni 34,5/11 kV, 50 MVA,  $u_{cc} = \%12,5$  Transformatörler 9MMS-3 üzerinden devrede.

##### 3. Elektrik sistemi genişletilip 7 ohm'luk kısa devre reaktörleri ilave edilmeden sonra ;

- 5 TG devrede
- TEİAŞ'tan 2 besleme devrede
- Bütün 34,5 kV dağıtım hatları devrede
- Bütün motorlar devrede
- Yeni 34,5/11 kV, 50 MVA,  $u_{cc} = \%12,5$  Transformatörler 9MMS-3 üzerinden devrede
- 7 ohm'luk kısa devre reaktörleri, 50 MVA'lık transformatörlerin YG tarafına bağlı.

##### 4. Elektrik sistemi genişletilip 2 ohm'luk kısa devre reaktörleri ilave edilmeden sonra ;

- 5 TG devrede
- TEİAŞ'tan 2 besleme devrede
- Bütün 34,5 kV dağıtım hatları devrede
- Bütün motorlar devrede
- Yeni 34,5/11 kV, 50 MVA,  $u_{cc} = \%12,5$  Transformatörler 9MMS-3 üzerinden devrede
- 2 ohm'luk kısa devre reaktörleri, Enterkonnekte şebeke bağlantı hatlarına bağlı.

Bu durumda işletmenin çok sayıdaki ünitesinin bazı dağıtım ve tüketim sistemlerindeki tesisat elemanlarının kısa devre akımları, bu tesisat elemanlarının nominal değerlerinin üzerine çıkmıştır (Tablo.2 ). Bu durumda ilk akla gelen elektrik sisteminin bara, kesici, ayırıcı gibi tesis elemanlarının yenileri

#### 4. Uygulama

İşletmenin çeşitli gerilim seviyelerindeki mevcut elektrik sisteminin tesisat elemanlarında, yeni bir jeneratör ilavesiyle artan ve kısa devre kesme kapasitelerinin üzerine çıkaran kısa

devre etkisini azaltmak için seri reaktörlerin montajı için ilk düşünülen yer Ek.1 de görüldüğü gibi 34,5 kV gerilim seviyesinde, 01HS - 1 ile 01MMS - 3 arası, yeni generatörü sisteme 34,5 kV gerilim seviyesinde bağlayan hatların üzerine ( Ek-1'de kesik çizgiler ile gösterilen hattın sonunda, 50 MVA'lık transformatörlerin primer tarafı ). Bu noktaya, kısa devre akımını istenen değere düşürmek için konması düşünülen seri reaktörün değeri 800 A, 7 ohm'dur. ( $Z=0,1225+j7,0$ ). Bu durumda Rafinerinin çeşitli gerilim seviyelerindeki baralarında oluşan kısa devre akımları Tablo. 3'de verilen değerlere düşer. Tablo. 3'de görüldüğü gibi 34,5 kV'luk baralarda kısa devre akımı 17,4 kA'den 15,2 kA'e düşmüştür. Ancak bu nokta çok iyi seçilmiş bir nokta değildir. Yeni gaz türbine jeneratör mevcut buhar türbinli jeneratörler oranla daha verimli olduğu için nominal yüke yakın çalıştırılıp Rafinerinin genel ihtiyacını karşılayacağından, seri reaktörler üzerinden sürekli olarak 20 MW ( 40 MW –20 MW)' a karşılık gelen 418,86 A akacaktır. Bu da reaktörler üzerinde sürekli olarak bir kayıp oluşturacağına ( 64,475 kW) tercih edilmemiştir. Seri reaktörler için seçilen en etkili yer, enterkonnekte sistemi Rafineri elektrik sistemine bağlayan 34,5 kV'luk hatların sonu, yani 01HS-1 girişleridir. Bu nokta çok önemlidir. Çünkü Kısa devre hesaplarında da görüleceği gibi çok büyük bir kaynaktan, enterkonnekte şebekeden gelen kısa devre akımının katkısı çok büyüktür. Bu bağlantı noktasında yapılacak her türlü kısa devre akım sınırlamasını, işletmenin başka hiçbir noktasında sağlamak mümkün değildir. Yapılan hesaplamalar bu bağlantı noktasına konacak seri reaktörlerin değeri 800 A, 2 ohm ( $Z=0,035+j2,0$ ) olarak belirlenmiştir. Bu konum ve değerler dikkate alınarak yapılan kısa devre hesaplarında kısa devre akımlarının çeşitli gerilim seviyelerindeki baralardaki yeni değerleri Tablo. 3'de verildiği gibidir. Tablodan da görüldüğü gibi bu seçim ile baralarda meydana gelebilecek kısa devre akımlarının değeri daha fazla, örneğin 34,5 kV'luk 01HS – 1 barasında 17,4 kA'den 13,4 kA'e düşmüştür.

Diğer taraftan daha önceki paragraflarda da belirtildiği gibi, işletmenin enterkonnekte şebeke ile paralel bağlı olarak çalıştırılmasının amacı, enerji sürekliliğini acil bir durumda güvence altında almaktır. Genelde hat gerilim altında, fakat yüksüzdür. İşletmenin otoproduktör olması nedeniyle enerji satma hakkına sahip, ancak dışarıya vereceği enerji bilindiği gibi sınırlı olduğundan, bu imkanı fazla kullanmamaktadır. Bütün bu hususlar dikkate alındığında enterkonnekte bağlantılı hatların üzerinden çok düşük genelde de hiç akım akmadığında kayıplar ihmal edilebilecek kadar düşük, ya da hiç oluşmamaktadır. Bütün bunlara rağmen daha önceki reaktör yer seçimdeki akımın bu reaktörlerden geçmesi halinde meydana gelecek kayıplar 18,421 kW'dır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Mevcut bir elektrik sisteminde, işletmelerin artan elektriksel enerji kaynaklarını kendi kaynaklarından karşılamak için elektrik sistemine ilave edeceği yeni üretim kaynaklarından sonra hesaplanana kısa devre akımlarının, mevcut generatör, transformatör, kesici, ayırıcı, bara, iletken vb. tesisat elemanlarının kısa devre dayanım akımlarının üzerine çıkması halinde, tesisat elemanlarını yeni kısa devre akımlarına

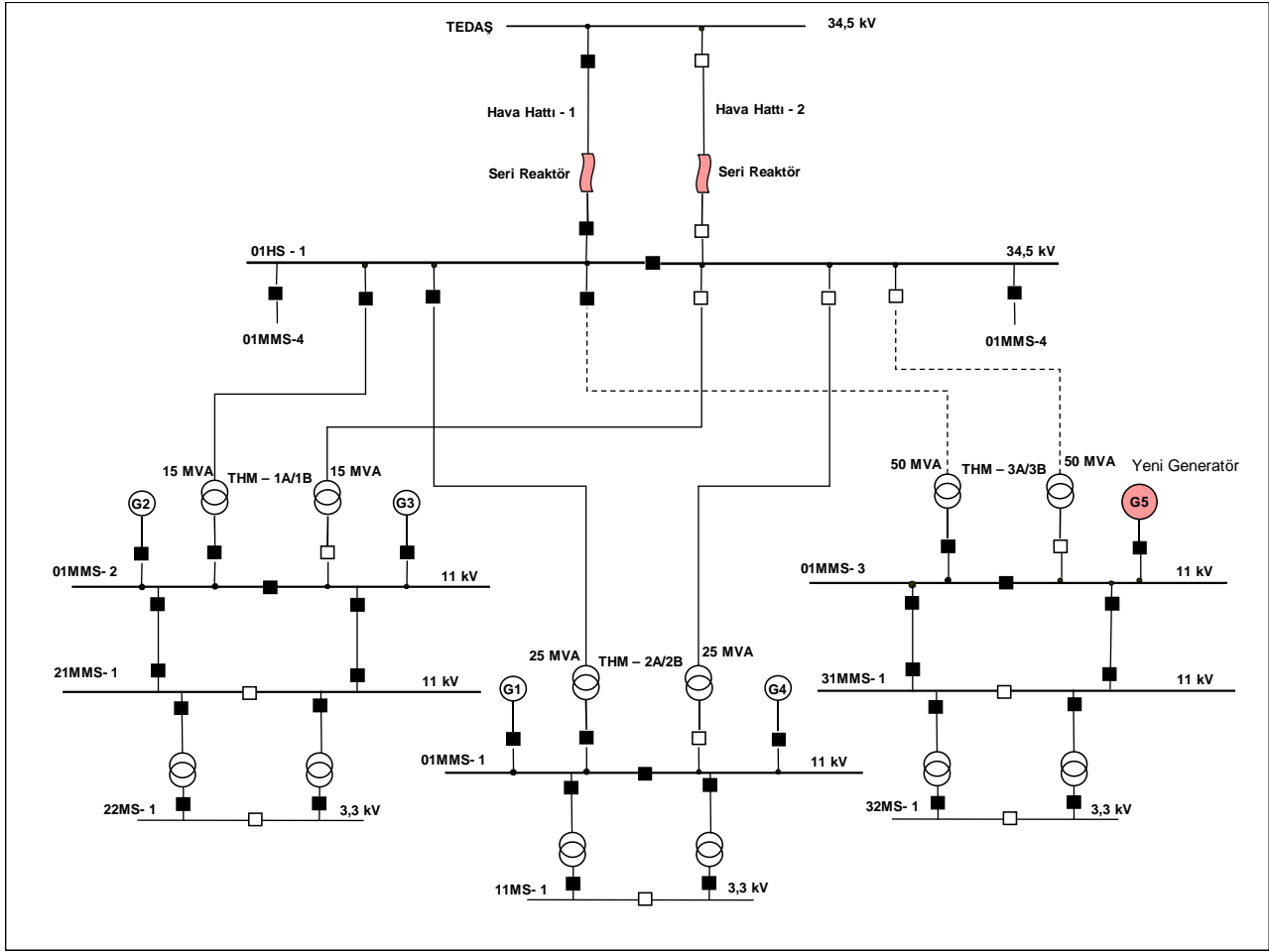
dayanacak şekilde temin edip, değiştirerek çok büyük masraflar yapma yerine, elektrik sistemine seri reaktörlerin ilavesi ile bu uygulamada olduğu gibi emniyetli hale getirmek mümkündür. Değişim işi sadece yatırım için yapılan masraflardan ibaret olmayıp, sistemin yenilenmesi sürecinde üretim yapamamasından dolayı büyük kayıplar da oluşacaktır.

Elektrik sistemine reaktör ilavesine karar verildiğinde, yer seçiminde olası alternatiflerin, reaktör ilavesinden sonra olası sistem stabilitesi, motor devreye alma, çalışan emniyeti gibi etkilerin asgari düzeyde olması için çok iyi analiz edilmesi gerekir. Yukarıdaki uygulamada görüldüğü gibi, reaktörler için belirlenen ilk montaj yeri, sorunu gidermekte ancak sürekli devrede olmaları nedeniyle ihmal edilmeyecek boyutta enerji kayıplarının oluşmasına neden olmaktadır. İkinci montaj yerinin bu sistem için en etkili yer olduğu, reaktör büyüklüklerinin ve meydana gelebilecek kayıpların küçük olmasından anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada olduğu gibi seri reaktör ilavesi için yapılan tüm masraflar ile elektrik sisteminin yeni kaynak ilavesine uygun hale getirilmesi için yapılan yatırım maliyetleri ve işletmenin çalıştırılmamasından dolayı oluşacak işletme kayıplarının maliyetleri, karşılaştırma olarak ayrı bir çalışma olarak ele alındığında görülecektir ki karşılaştırılamayacak bir fark vardır.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Cali, A., Conti, S., Santonoceto, F., Tina, G. "Benefits Assessment of Fault Current Limiters in a Refinery Power Plant a Case Study", IEEE Transactions on Industry Applications, pp.1505 – 1510, March 11, 2009.
- [2] Cosse, R.E., Hazel, T.G., Thomasset, G., "IEC medium-voltage circuit-breaker interrupting ratings - unstated short circuit considerations", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.36, No.3, pp.884-892., May/June 2000.
- [3] Pflanz, H.M., Clark, T.F., Albani, O.J., "The Development of the Current Limiting Protector (CLP)", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol.100, No.7, July 1981.
- [4] King, E. F., Chikhani, A.Y., Hackam, R., Salama, M.M.A., "A Microprocessor-Controlled Variable Impedance Adaptive Fault Current Limiter", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol.5, No.4, November 1990.
- [5] Lythall R.T., Switchgear Book " The outline of Modern Switchgear Practice for the non-specialist user", Butterworth & Co Ltd, pp.65 – 70, 1984.
- [6] Wu, A.Y., Yin, Y.," Fault Current Limiter Applications in Medium and High Voltage Power Distribution Systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.34, No.1, January/February 1998.



Ek 1 : Yeni generatör ve 2 ohm'luk seri reaktörler ilave edildikten sonra Rafineri elektrik sisteminin orta gerilim seviyesindeki tek hat diyagramı.