



Elektrikli Demiryolu Hatlarında Kompanzasyon Sistemi

Ömür DOĞRUER^{*1}, Şule KUŞDOĞAN², Nuran YÖRÜKEREN²

1 TCDD, 1. Bölge Demiryolu Modernizasyon Müdürlüğü, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

2 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

*omurdogruer@gmail.com

(Alınış / Received: 30.11.2018, Kabul / Accepted: 21.12.2018, Yayımlama/Published: 31.1.2019)

Özet: Gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan hızlı kentleşme, yaşanan enerji sıkıntısı ve yoğun nüfus artışı ulaşımı önemli bir sorun haline getirmiştir. Gerek şehir içi gerekse şehirlerarası ulaşımında raylı sistemlerin payı her geçen gün artmaktadır. Modern raylı sistemlerde elektrikli tren işletmeciliği kullanılmaktadır. Bu çalışmada elektrikli demiryolu hatlarında enerji kalitesine etki eden unsurlar incelenmiş, farklı tren setleri devrede iken TCDD Arifiye Trafo Merkezindeki değişimler gözlemlenerek Statik Tristörlü Kompanzasyon Sisteminin gerekliliği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Elektrikli Demiryolları, Kompanzasyon, Katener Sistemi, Elektrifikasyon.

Compensation System for Electric Railway Lines

Abstract: Emerging with developing technology; rapid urbanization, energy shortage and intense population growth have made transportation a major problem. Both in city and intercity transportation, the importance of rail systems is increasing day by day. In modern rail systems, electric train operations are used. In this study, the energy quality problem in electric railway lines is investigated; while different train sets are active, the changes in TCDD Arifiye Transformer Station were observed and the necessity of the Static Compensation System with Thyristor was revealed.

Key words: Electric Railways, Compensation, Catenary System, Electrification.

1. Giriş

Elektrik enerjisinde kullanıcının beklentisi; kaliteli, kesintisiz ve ucuz kullanım elde etmektir. İdeal şekilde üretilen AC gerilimin dalga şekli saf sinüsoidal olmaktadır. Fakat uzak mesafelere taşınan bu gerilim iletim ve dağıtım sırasında güç sisteminde bulunan bazı elemanların etkisiyle sinüsoidal dalga şeklinden uzaklaşmaktadır. Günümüzde elektrik tüketiminin artması ve enerji kaynaklarının sınırlı olması enerjinin daha verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Büyüyen ve karmaşıklaşan elektrik sistemlerinde elektrik enerjisinin daha kaliteli hale getirilmesi amacıyla reaktif güç kompanzasyonu uygulanmaktadır. Reaktif güç

Atıf için/Cite as: DOĞRUER, Ö., KUŞDOĞAN, Ş., YÖRÜKEREN, N., Elektrikli Demiryolu Hatlarında Kompanzasyon Sistemi, Demiryolu Mühendisliği, 2019(9):28-37

kompanzasyonu, tesislerde elektro dinamik prensibine göre çalışan yüklerin çekeceği reaktif gücün, tüketim merkezlerinde özel bir sistem tesis edilerek karşılanmasıdır. Generatörleri bütün yük merkezlerinin yakınına yerleştirmek her zaman mümkün olmadığından, şebeke geriliminin kontrolü ve güç iletim kapasitesinin artırılması için reaktif güç kompanzasyonu yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler şebeke gerilimi ve reaktif güç akışının, reaktif güçteki değişikliklere karşı duyarlı olması nedeniyle etkili bulunmaktadır. Yüksek gerilim hatlarında kullanılan seri kapasiteler ve şönt reaktörler önemli kompanzasyon cihazları arasında yer almıştır. Tüketicilerin çektiği reaktif güç, iletim hatlarını fiziksel anlamda işe yaramayan bir güç ile yüklenmesi ve hat kesitinin bir bölümünün bu faydasız güce tahsil edilmesi anlamına gelmektedir. Tüketicilerin hızla artması karşısında iletim hatlarının kesitlerinin artırılması söz konusu olmuştur. Ancak tüm iletim hatlarının kesitlerinin artırılması maddi açıdan büyük bir yük getirmektedir, bu nedenle yasalar çıkartılarak, tüketicilerin şebekeden çektikleri reaktif gücün bir kısmını kompanzasyon sistemleri ile karşılamaları istenmiştir.

Sözleşme gücü 9 kW – 29,9 kW arası işletmelerde endüktif reaktif güç aktif gücün %33'ünü, kapasitif reaktif güç aktif gücün %20'sini aştığı zaman, sözleşme gücü 30 kW üzeri işletmelerde endüktif reaktif güç aktif gücün %20'sini, kapasitif reaktif güç aktif gücün %15'ini aştığı zaman ücretlendirilir. Buna göre, müsaade edilen reaktif güç katsayısı endüktif olarak 0.98, kapasitif olarak da 0.99'dir. Abone belirtilen sınırları aşmadığı takdirde reaktif enerji bedeli alınmaz. Bu sınır aşıldığı takdirde çekilen endüktif reaktif enerjinin tamamına endüktif reaktif enerji tarifesi uygulanır. Reaktif güç üretimini zorunlu kılan bir diğer olay ise, müşteri baralarının gerilim genlik değerlerini (değişik yük durumlarında dahi) sabit tutma ihtiyacıdır. Tüketicilerin bağlı olduğu baranın gerilim genlik değeri nominal değerde sabit tutulamaz ise tüketici cihazlarına gelen gerilim bu cihazların verimli bir şekilde çalışmasını mümkün kılmaz, hatta zarar bile verebilir. Bu tehlikeyi ortadan kaldırmak için enterkonnekte sistemin uygun yerlerine kompanzasyon cihazları bağlanarak sisteme reaktif güç pompalanır ve gerilim genlik değeri sabit tutulmaya çalışılır [1].

2. Raylı Sistemlerde Enerji

Raylı sistem elektrifikasyon sistemlerinde ilk zamanlar 600 VDC sistemi kullanılmıştır. Daha sonraları maliyetleri ve enerji kayıplarını azaltmak için farklı sistemler üzerinde çalışılmıştır. Tablo 1 EN 50163 Avrupa Standardında tanımlanmış olan raylı sistemlerde kullanılan gerilim seviyelerini vermektedir.

Tablo 1. EN 50163'de Tanımlanmış Raylı Sistemler Enerji Besleme Gerilim Seviyeleri

Gerilim Seviyesi	Un(V)	Umin (V)	Umax(V)
600 V DC	600	400	720
750 V DC	750	500	900
1500 V DC	1500	1000	1800
3000 V DC	3000	2000	3600
15 kV AC, 16 2/3Hz	15000	12000	17250
25 kV AC, 50 Hz	25000	19000	27500

Şehir içi raylı ulaşım sistemlerinde son zamanlara kadar 750 VDC sistemi yoğun olarak

Demiryolu Mühendisliği

kullanılmış ise de günümüzde artan yolculuk kapasiteleri dolayısı ile tren konfigürasyonlarında motorlu araçların sayısının artırılması, dolayısıyla güç talebinin artması nedeniyle yeni yapılan hatların birçoğunda 1500 VDC gerilim seviyesi seçilmektedir. Ülkemizde Bursaray bu gerilim seviyesini kullanmaktadır. Dünyada bazı hatlarda da 600 VDC sistemi 1500 VDC ye dönüştürülmüştür [2].

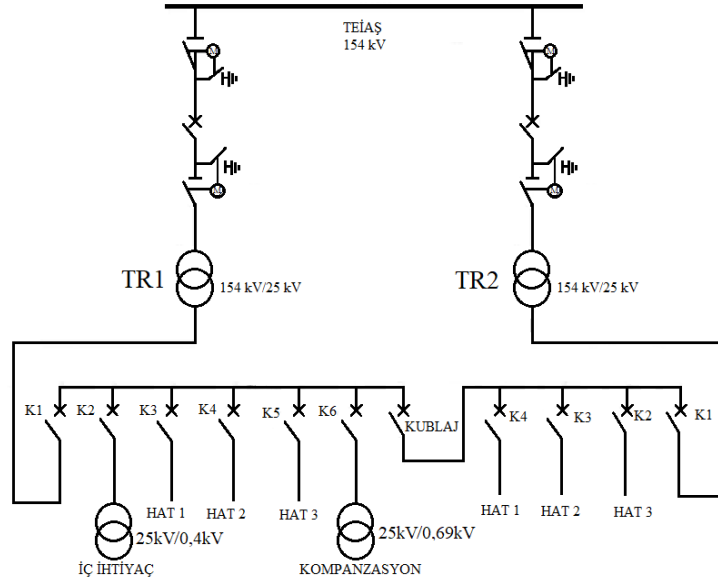
25 kV AC hat gerilimi ise şehirlerarası elektrikli konvansiyonel trenler ve yüksek hızlı trenler (YHT) tarafından kullanılmaktadır. Burada enerji iletimi tel şeklinde uzanan havai hat katener sistemi (standart katener) ile olmaktadır.

25 kV AC 50 Hz sistemlerde ortalama 50-60 km aralıklarla trafo merkezi bulunmaktadır. Bu mesafe mevcut hat üzerindeki tren sayısı, yolcu(yük) yoğunluğu vb. durumlara göre değişkenlik gösterebilir. Karşılıklı iki Trafo Merkezi farklı fazlardan beslendiği için aralarına nötr bölge (enerjisiz bölge) tesis edilmektedir. Nötr bölgede seksiyonerler mevcut olup, trafo merkezinin birinde yaşanacak olası bir arıza durumunda seksiyonerler kapatılıp enerjisiz kalan hat çalışır durumda olan trafo merkezinden beslenir. Bu yüzden trafo gücü belirlenirken bu arıza durumları göz önüne alınıp yüksek güçlü trafolar seçilir. Tipik bir 25 kV AC sistemindeki trafo merkezinde; iki adet yağlı tipte 154/25 kV dönüştürme oranına sahip tek fazlı alçaltıcı tip cer gücü transformatörleri, iç ihtiyaç transformatörleri, AC kesiciler, kesici hücreleri, kumanda ve kontrol ekipmanları bulunmaktadır.

Katener hattından alınan AC enerji Cer sistemlerinde doğrultucu-inverter grupları vasıtasıyla DC enerjiye dönüşür. Bu çevrilme sebebiyle katener hattından çekilen akım büyük miktarda harmonikler içerir. Ayrıca; bu tahrik sistemleri, değişen çalışma koşullarına bağlı olarak katener hattından bazen aktif güçle aynı miktarda, bazen de daha fazla olabilen reaktif akım çekerler. Bu sürekli biçimde değişen enerji ihtiyacı, hattın güç faktörünü çok düşük değerlere indirebilmektedir. Diğer yandan katener hattından çekilen akım, trenin besleme noktasına olan uzaklığına bağlı olarak katener hattı gerilimini de sürekli değiştirmektedir. Hattaki düşük güç faktörü ve harmonik akımlar, enerji kaybını arttırmakta ve ayrıca reaktif enerji tüketimine karşılık gelen paranın ödenmesini gerektirmektedir. Bu durumda reaktif güç kompanzasyonu zorunlu olmaktadır [3].

Elektrikli demiryolu hattında tren olmadığı zaman akım çekilmez ancak kontak teli başta olmak üzere hatta bulunan iletkenler kapasitif reaktans oluşturduğu için kapasitif akım meydana gelir. Tüm bu dengesizlikleri de ortadan kaldırmak amacıyla trafo merkezlerinde kompanzasyon sistemi bulunmaktadır. Bunun dışında bazı tren setleri üzerinde kompanzasyon sistemi mevcuttur. Tren seti üzeri ekipmanla kendi reaktif gücünü kendi sistemi ile dengeler. Hat üzerinde bu tip setler olduğunda trafo merkezinde kompanzasyon yapmaya gerek yoktur.

Demiryolu Mühendisliği



Şekil 1. Trafo Merkezi Tek Hat Şeması

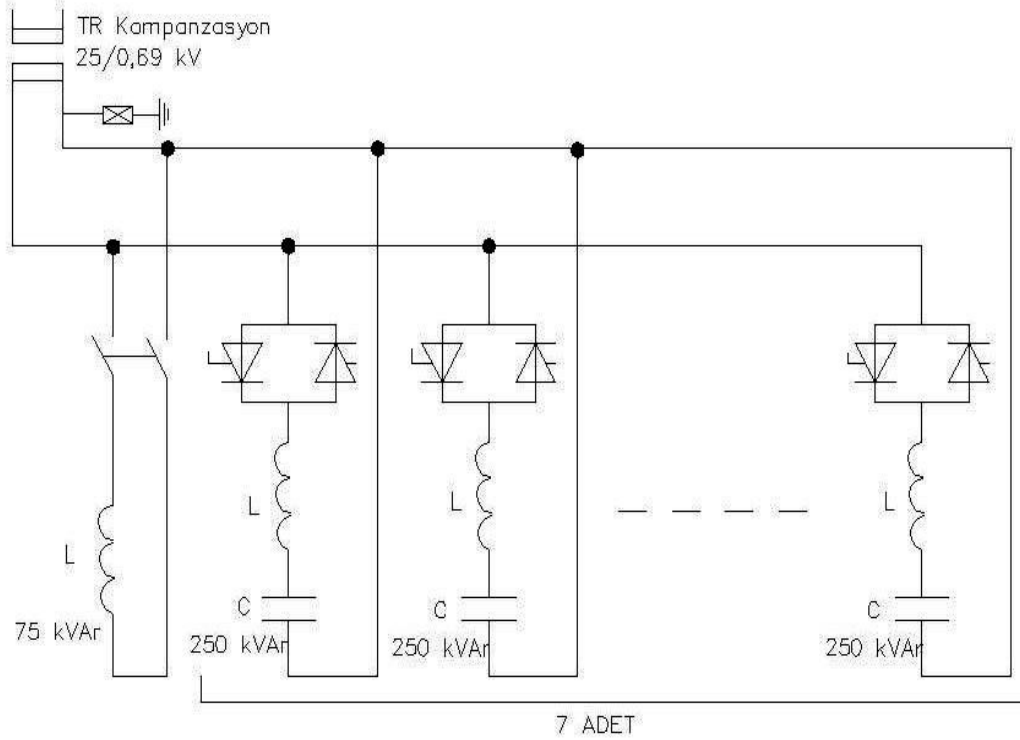
Şekil 1'deki tek hat şemasında görüldüğü gibi Arifiye Trafo Merkezinde 25 kV enerji TEİAŞ 154 kV sisteminden alınmaktadır. TEİAŞ'tan gelen 154 kV 50 Hz enerji TCDD'ye ait TR1 ve TR2 olmak üzere iki trafoda 25 kV tek faz 50 Hz sisteme dönüşmektedir. Her bir trafo kendi barasından hatlara enerji vermekte, iki bara arasındaki kublaj kesicisi ile de acil durumlarda yedekleme sağlanmaktadır. 1. Kompanzasyon trafosu enerjisini TR1'in beslediği 1. baradaki AC kesici üzerinden, 2. Kompanzasyon trafosu ise 2. baraya bağlı AC kesici üzerinden almaktadır. Kesiciden gelen 25 kV enerji kompanzasyon trafosu (25 kV/0.69 kV) vasıtasıyla 690 V'a dönüşmekte ve kondansatör gruplarına bağlanmaktadır. Trafo Merkezinde çekilen akım, aktif güç ve reaktif güç değerleri çok kısa sürelerde hatta bir periyot içerisinde önemli değişimler göstermektedir. Bu nedenle sistemde reaktif güç ihtiyacının algılanması ile kompanzasyon grubunun devreye alınması aynı periyot içerisinde gerçekleşmektedir. Otomatik gruplar 690 V seviyesinde ve 250 kVar'lık gruplar halinde tasarlanmıştır. Bu şekilde mümkün olan her besleme durumunda (Bir veya iki trafo, bir veya iki çıkış, bir veya iki hat beslemesi, uzun veya kısa hat beslemesi) oluşacak reaktif gücün "gerçek zaman" olarak otomatik kompanzasyonu sağlanmaktadır. Gruplar tristör anahtarları ile kumanda edilmektedir. Tristörler akım sıfır noktasından geçtiğinde tetiklenmekte olup açma-kapama ömürleri teorik olarak sınırsızdır. Kondansatör üniteleri, harmonik akımlar nedeniyle oluşacak gerilim yükselmeleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Sistemde kullanılan bu kompanzasyon tipi statik tristörlü kompanzasyon sistemi olarak adlandırılır.

Tristörlü kompanzasyon sistemleri, ani olarak devreye girip çıkan ve devrede kalma süreleri kısa olan yüklerin reaktif güç kompanzasyonu için kullanılır. Bu tip yüklerle çalışan tesislerde güç faktörünü 0,95 – 1,00 arasında tutmak çok güçleşmektedir. Klasik reaktif güç kompanzasyonu metodunda özellikle ani devreye girme ve çıkmalarda kontaktörler devreye girdiği anda kondansatörlerde ani bir başlangıç akımı oluşur. Devreye girip çıkma sıklıkça ani başlangıç akımı etkisi ile kondansatör içinde delinmeler oluşur. Bu arklar kondansatörün çabuk yıpranmasına neden olur. İlave olarak bu arklar kondansatörler üzerinde geçici aşırı yük oluşturarak ömürlerinin kısılmasına da sebebiyet vermektedir. Tristörlü hızlı kompanzasyon sistemlerinde anahtarlama elemanı olarak klasik kompanzasyonda kullanılan kontaktör yerine kompanzasyona özel tristör

Demiryolu Mühendisliği

modülü kullanılır. Tristör kullanılarak direkt bağlantıda kondansatörlerin 10 ms içinde devreye girmesi sağlanmakla birlikte aynı zamanda oluşan ani başlangıç akımı da engellenir. Bu şekilde gruptan sadece nominal kondansatör akımı akar. Bu yöntemle sorunsuz olarak ani değişen kısa süreli yükler de kompanze edilebilir. Ayrıca merkezi kompanzasyon ile 40- 200 ms arasında hızlı kompanzasyon yapılabilir. Statik tristörlü kompanzasyon sistemlerinin kullanım amacına göre yararlarından bahsedecek olursak;

- ✓ Yük değişimlerine hızlı bir şekilde yanıt verirler
- ✓ Sık aralıklarla devreye girip çıkabilirler, bu devreye girip çıkabilme süreleri ortalama 20 ms kadardır.
- ✓ Kontaktör olmadığı için bakım masrafı yoktur, gerilim çukurları ve geçiş akımları meydana getirmezler.
- ✓ Kademeye almak için kondansatörlerin deşarjı beklenmez.
- ✓ Fazlar sıfır geçiş noktasında tetikleme yapar.
- ✓ Çalışırken gürültüsüzdür ve ark meydana getirmez [4].



Şekil 2. Arifiye Trafo Merkezi Kompanzasyon Sistemi

Şekil 2’de görüldüğü gibi Arifiye Trafo Merkezinde Kompanzasyon sistemi 7 adet 250 kVAr’lık kondansatör grubu ve bir adet kesici ile devreye alınıp çıkarılan 75 kVAr’lık reaktör bulunmaktadır. Bu reaktör hatta yük olmadığı zaman ortaya çıkan kapasitif gücü kompanze etmektedir.

3. Ölçme ve Değerlendirme

Arifiye Trafo Merkezinde uygulanan ölçümler harmonik analizör ile yapılmıştır. Bu cihaz akım, gerilim, aktif-reaktif güç, güç faktörü ile harmonik akım ve gerilim değerlerini ölçebilmektedir. 1. ve 2. hat için katener giden enerji (25 kV 50 Hz) tek bir kesici üzerinden sisteme aktarılmış ve ölçü analizörü bu çıkışa ait 600:5 dönüştürme oranına sahip akım trafosu ve 27.500:100 dönüştürme oranına sahip gerilim trafosuna bağlanmıştır. Kompanzasyon sistemi devrede değilken akım, reaktif güç, güç faktörü ve harmonik akımının zamana bağlı değişimleri kayıt altına alınmıştır.

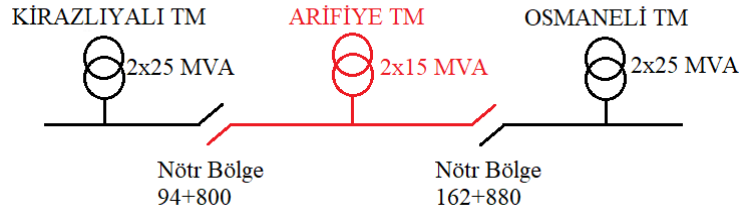
Hattaki farklı özellikte 2 tren setinin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

YHT setlerinin teknik özellikleri:

Azami hız	: 250 km/h
Vagon sayısı	: 6
Azami Cer Gücü	: 4800 kW
Katener Gerilim.	: 25 kV AC

Adapazarı trenlerinin teknik özellikleri:

Azami hız	: 120 km/h
Azami Cer Gücü	: 3800 kW
Katener Gerilim.	: 25 kV AC



Şekil 3. Katener Sistemi Tek Hat Şeması

Arifiye Trafo Merkezi Şekil 3'te kırmızı olarak gösterilen bölge olan 94+800'deki nötr bölge ile 162+880'deki nötr bölge arası yaklaşık 68 km mesafede besleme yapmaktadır. Bahsi geçen trenler bu hat arasında iken Arifiye Trafo Merkezinden beslenmektedir.

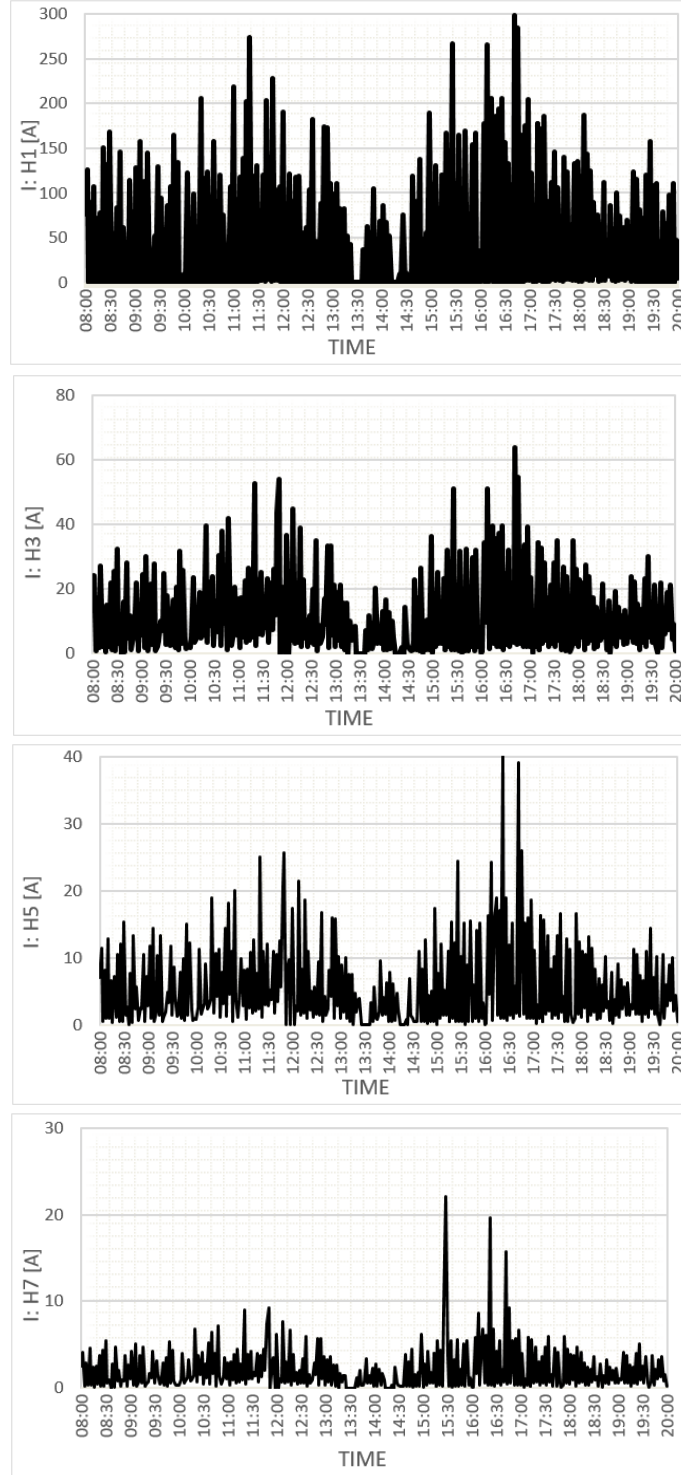
Demiryolu Mühendisliği

Tablo 2. Ölçülen Akım ve Reaktif Güç Değerleri

t (s)	I(A)	Cos ϕ	Q +KVAR	t (s)	I(A)	Cos ϕ	Q +KVAR	t (s)	I(A)	Cos ϕ	Q +KVAR	t (s)	I(A)	Cos ϕ	Q +KVAR
1	121	0,82	1.766	31	120	0,8	1.836	61	123	0,75	2.075	91	63	0,78	1.005
2	127	0,86	1.653	32	201	0,84	2.781	62	19	0,78	306	92	207	0,78	3.303
3	103	0,89	1.198	33	197	0,81	2.946	63	10	0,75	169	93	169	0,74	2.899
4	26	0,85	349	34	16	0,85	215	64	168	0,85	2.257	94	17	0,79	266
5	105	0,72	1.858	35	158	0,8	2.417	65	148	0,87	1.861	95	38	0,77	618
6	114	0,73	1.987	36	143	0,89	1.663	66	125	0,75	2.108	96	158	0,83	2.247
7	32	0,84	443	37	36	0,78	574	67	136	0,79	2.126	97	190	0,83	2.702
8	58	0,85	779	38	85	0,75	1.434	68	97	0,76	1.608	98	65	0,9	722
9	21	0,89	244	39	22	0,66	421	69	92	0,75	1.552	99	69	0,89	802
10	144	0,85	1.934	40	145	0,7	2.641	70	31	0,75	523	100	119	0,88	1.441
11	132	0,76	2.188	41	207	0,9	2.301	71	158	0,78	2.521	101	143	0,8	2.188
12	99	0,82	1.445	42	31	0,78	495	72	169	0,71	3.035	102	13	0,78	207
13	52	0,85	699	43	210	0,81	3.140	73	214	0,75	3.609	103	27	0,8	413
14	147	0,75	2.479	44	14	0,81	209	74	158	0,87	1.987	104	146	0,77	2.375
15	156	0,83	2.219	45	258	0,84	3.570	75	168	0,7	3.059	105	125	0,77	2.034
16	154	0,79	2.408	46	93	0,75	1.569	76	87	0,75	1.467	106	201	0,77	3.270
17	11	0,8	168	47	22	0,78	351	77	32	0,75	540	107	209	0,75	3.525
18	25	0,84	346	48	65	0,62	1.300	78	120	0,73	2.091	108	117	0,75	1.973
19	136	0,82	1.985	49	186	0,69	3.433	79	147	0,78	2.346	109	126	0,75	2.125
20	154	0,72	2.725	50	21	0,76	348	80	109	0,81	1.630	110	138	0,77	2.245
21	78	0,78	1.245	51	221	0,94	1.923	81	170	0,81	2.542	111	29	0,77	472
22	174	0,83	2.475	52	147	0,84	2.034	82	20	0,77	325	112	209	0,78	3.335
23	172	0,88	2.083	53	201	0,77	3.270	83	13	0,77	212	113	113	0,81	1.690
24	113	0,83	1.607	54	102	0,88	1.235	84	158	0,77	2.571	114	14	0,81	209
25	168	0,83	2.389	55	136	0,79	2.126	85	165	0,77	2.685	115	155	0,78	2.473
26	25	0,83	356	56	36	0,77	586	86	207	0,75	3.491	116	169	0,65	3.275
27	112	0,83	1.593	57	184	0,75	3.103	87	160	0,75	2.699	117	21	0,63	416
28	80	0,85	1.075	58	149	0,76	2.469	88	187	0,78	2.984	118	34	0,63	673
29	55	0,83	782	59	123	0,75	2.075	89	103	0,81	1.540	119	50	0,66	958
30	91	0,93	853	60	19	0,78	306	90	90	0,81	1.346	120	88	0,75	1.484

Ölçüm alındığı anda hatta YHT ve Adapazarı Ekspres olmak üzere iki tren mevcuttur. Tablo 1'deki değerler her saniyede olmak üzere 120 saniye boyunca alınmıştır. Tabloda akımın 10 A ile 258 A arasında, reaktif gücün 168 kVar ile 3469 kVar arasında güç faktörünün ise 0.62 ile 0.93 arasında değiştiği görülmektedir. Buradaki değerlerin çok değişken olması trenlerin düzensiz akım çekmesinden kaynaklanmaktadır. Harmonik akımının ölçümleri ise 12 saat boyunca yapılmıştır.

Demiryolu Mühendisliği



Şekil 4. Harmonik Akımlarının Zamana Bağlı Değişimi

Ölçüm sonucunda ortaya çıkan maksimum harmonik akım değerinin;
1.Harmonik(Temel Bileşen) için maksimum akım değeri $I_{h1max} = 298$ A
3.Harmonik için maksimum akım değeri $I_{h3max} = 64$ A
5.Harmonik için maksimum akım değeri $I_{h5max} = 39$ A
7.Harmonik için maksimum akım değeri $I_{h7max} = 22$ A olarak değiştiği görülmektedir.

4. Sonuç ve Yorum

Elektrikli demiryolu işletmeciliğinde Arifiye Trafo Merkezinde gözlemlenmeler yapılmış, belli zamanlarda akım ve reaktif güç değerleri alınmıştır. Cos ϕ değeri 0.62 ile 0.93 arasında değişmektedir. Akım değerleri incelendiğinde akımın çok değişken olduğu anlık olarak çok büyük farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Akımı etkileyen başlıca faktörler; hattın geometrisi (eğimler, kurplar, hız sınırlamaları, nötr bölgeler) araç özellikleri (motor sistemi, frenleme sistemi, ağırlığı vb.) Cer gücü besleme ve dağıtım sistemi, trafo merkezleri sayısı ve yerleri, besleme düzeni ve işletme mantığıdır.

Klasik reaktif güç kompanzasyonu sistemlerinde ani olarak devreye girip-çıkma anında ortaya çıkan başlangıç akımı kondansatörlere ciddi zararlar verip sistemin ömrünü kısaltmaktadır. Elektrikli demiryolu hatlarında akım ve reaktif güç değerlerinin hızlı değişimleri göz önüne alındığında, ani olarak devreye girip-çıkma olayının fazlalığı klasik reaktif güç kompanzasyon sisteminin kullanımını imkânsız kılmıştır. Bu yüzden elektrikli demiryolu hatlarında anlık olarak devreye girip çıkabilen tristörlü kompanzasyon sisteminin kullanılması gerekmektedir. Sistemde oluşan harmonikler açısından kayıt altına alınan değerlere bakıldığında harmonik akımlarının yüksek olduğu görülmektedir. Ancak Trafo Merkezine gelen enerji direkt olarak TEİAŞ 154 kV şebekeden beslendiği için çevrede bulunan yükleri etkilememektedir. Mevcut durumda demiryolu hattında maksimum 2 tren olmakta ve mevcut kompanzasyon sistemi ortaya çıkan reaktif gücü dengelemektedir. Ancak ilerleyen yıllarda açılacak yeni hatlarda ve devreye girecek yeni tren setleri ile beraber kompanzasyon sistemi yenilenmesinde ve harmoniklerin ortadan kaldırılmasına yönelik çalışma yapılmasında fayda olacaktır.

Kaynakça

- [1]Uğur ARİFOĞLU, Recep MEMİŞ, *Statik Var Sistemlerinin Endüstriyel Ortamda Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [2] Safi ALKAŞI, Süleyman AÇIKBAŞ, *Şehir İçi Raylı Ulaşımında Gerilim Seviyeleri ve Enerji İletim Sistemleri*, Uluslararası Demiryolu Sempozyumu, Eylül 2006
- [3]Bekir MUMYAKMAZ, Elektrikli Demiryolu Katener Hattının Kompanzasyonunda Statik VAR Kompanzatorlerinin Kullanılması, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 1999
- [4] elektrikrehberiniz.com Erişim Tarihi: 14.02.2018
<http://www.elektrikrehberiniz.com/kompanzasyon/tristorlu-kompanzasyon-1059/>
- [5] Dr. Beyhan KILIÇ, Selçuk TUNA, *Raylı Sistemlerde Enerji Verimlilik Potansiyel Değerlendirmesi*. İstanbul.
- [6] Bekir MUMYAKMAZ, Abdurrahman ÜNSAL, N. Serdar TUNABOYLU. *Elektrikli Demiryollarında Enerji Kalitesi Problemleri ve Çözüm Önerileri* Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya.
- [7] Wikipedia.org, Erişim Tarihi: 13.02.2018 https://tr.wikipedia.org/wiki/TCDD_HT65000
- [8] Süleyman AÇIKBAŞ, *Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Kontrolü*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Raylı Sistemler Teknolojisi- Sinyalizasyon, Elektrifikasyon ve Haberleşme Tesisleri*, Ankara 2011

Özgeçmiş



Ömür DOĞRUER

1986 yılı Kayseri doğumludur. Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisi bölümünden 2008 yılında mezun olmuştur. Aynı üniversite ve bölümde Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir. 2010 yılında TCDD’de Elektrik Mühendisi olarak çalışmaya başlamış olup halen TCDD 1. Bölge Demiryolu Modernizasyon Müdürlüğünde Servis Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.



Şule KUŞDOĞAN

1967 yılında Nevşehir’de doğdu. Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliğinde lisansını, Yıldız Üniversitesinde yüksek lisansını ve Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde doktorasını tamamlamıştır. KOÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde doktor öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.



Nuran YÖRÜKEREN

10 Mayıs 1964 Düzce doğumlu, Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN 1989 yılında Y.Ü. FBE Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek lisansını, 1994 yılında KOÜ FBE Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda doktorasını tamamlamıştır. KOÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.