



## Telgraf Denklemleri ile Ray Devresi Denklemleri İlişkisi

Yasin KOÇAK 

TCDD Genel Müdürlüğü, 1. Bölge Bakım Servis Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye

yasinkocak@tcdd.gov.tr

(Alınış/Received: 31.05.2022, Kabul/Accepted: 12.07.2022, Yayımlama/Published: 31.07.2022)

**Öz:** 1830 senesinde ticari olarak telgrafın kullanılması ile uzak mesafelere bilgi taşınmasında büyük zorluklar yaşanmıştır. İlk başlarda İngiltere ile Fransa arasında çekilen hat zamanla İngiltere-Amerika Birleşik Devletlerine kadar uzamıştır. Telgraf hattında kullanılan kabloların hammaddesi ve kesitleri ilk başlarda deneme yanılma yöntemleri ile oluşturulmaya çalışılmıştır. Maxwell denklemlerinin bulunmasına istinaden 1800' lü yılların sonlarına doğru Telgraf Denklemleri ortaya çıkmış olup haberleşme, bilgi iletimi ve benzeri transmisyon hatlarına ait denklemler Telgraf denklemlerinden türetilmiştir. Teknolojinin gelişmesine istinaden, seyrüsefer emniyeti dikkate alınarak tasarlanan Demiryolu taşımacılığı için, sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Demiryolu sinyalizasyon sisteminin faal bir parçası olan ray devreleri, aynı zamanda birer bilgi iletim hattı görevi görmektedir. Modülasyon ve sayısal anahtarlama yöntemlerinin gelişmesi ile ses frekanslı eksiz ray devreleri geliştirilmiş olup ray devresinin alıcı-verici frekansı yükselerek çevresel koşullardan daha az etkilenir hale gelmiştir. Bu makalede gerilim ve akım sızıntıları yönünden benzer olan Telgraf iletimi denklemleri ile demiryollarında kullanılan Ray devresinin bilgi iletimi incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Telgraf denklemleri, Sinyalizasyon, Ray devresi, Balast direnci

### Relationship Between Telegraph Equations and Track Circuit Equations

**Abstract:** With the use of the telegraph in 1830, great difficulties were experienced in conveying information over long distances. At first, the line drawn between England and France extended over time to England-United States. The raw materials and sections of the cables used in the telegraph line were initially tried to be created by trial and error methods. Based on the discovery of Maxwell's equations, Telegraph Equations emerged towards the end of the 1800s, and equations for communication, information transmission and similar transmission lines were derived from Telegraph equations. Based on the development of technology, signaling systems were needed for railway transportation, which was designed considering the safety of navigation. Track circuits, which are an active part of the railway signaling system, also serve as information transmission lines. With the development of modulation and digital switching methods, seamless track circuits with audio frequency have been developed and the tranceiver frequency of the track circuit has increased and it has become less affected by environmental conditions. In this article, the telegraph transmission equations, which are similar in terms of voltage and current leakage, and the information transmission of the track circuit used in railways are examined.

**Keywords:** Telegraph equations, Signaling, Track circuit, Ballast resistance

### 1. Giriş

Telgraf denklemi ilk kez Oliver Heaviside tarafından türetilmiştir [1]. En önemli uygulama alanları sinyallerin ve enerjinin iletilmesidir. Söz konusu denklemler, ortam yoluyla elektromanyetik dalgaların yayılmasını içeren geniş bir spektrumun tanımlamamızı ve anlamamızı sağlar. Oliver Heaviside, tüm iletim hattını her biri sonsuz uzunlukta bir dizi segmente bölerek genel haliyle denklemi elde etmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde ray devresinin yüksek hızlı trenlerde kullanılması için Wang vd. [2] Yüksek hızlı demiryolunda ray devresi için uyarlanabilir dinamik kodlama

Atıf için/Cite as: Y. Koçak, "Telgraf denklemleri ile ray devresi denklemleri ilişkisi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 16, pp. 128-138, July. 2022. doi: 10.47072/demiryolu.1123901

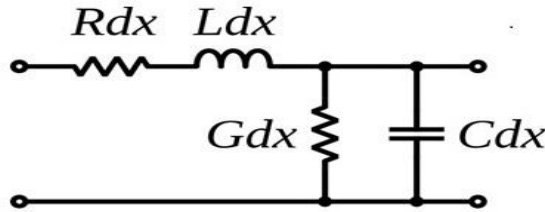
yöntemini incelemiştir, Hattın kapasitif etkilerinin sebep olduğu arızalar için Shang vd. [3] Eksiz hat devresinde kompanzasyon kondansatörünün uzun kısa süreli hafıza ağı üzerinden arıza teşhisi yöntemi çalışılmıştır, katener geri dönüş akımının ray devresine etkisini araştıran Havryliuk [4] Trenlerden Bir Ray Devresi Alıcısına Çekiş Akımı Harmoniklerinin Yayılım Modelini oluşturmuştur ve Feng vd. [5] Yüksek hızlı demiryolu çekiş akım harmoniklerinin ray devresine elektromanyetik uyumluluğu üzerine analiz ve araştırmasını incelemiştir.

Bunların haricinde ray devresinin yapısal özelliklerinin araştırmasını içeren He vd.[6] Kazı Verilerine Dayalı Hat Devre İzleme Veri İşleme Yöntemi Araştırması incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, literatürden farklı olarak, ses frekanslı ray devresi bloğunda birim başına düşen propagasyon hesabının ve söz konusu ray devresinin taşıyıcı frekansına ait propagasyonun nasıl sönümlendiği detaylıca anlatılmıştır. Ayrıca, elde edilen matematiksel modelin doğrulanması için, TCDD 1. Bölge Müdürlüğü mntıkasında faal olarak kullanılmakta olan ses frekanslı ray devresinin alıcı verici frekanslarındaki değişimlerden yola çıkılarak, ray devresi blok bazında incelenmiş olup ana taşıyıcı frekans ve ray devresi gerilimi üzerindeki simülasyon sonuçları incelenmiştir.

### 1.1. Telgraf devresi tanımı

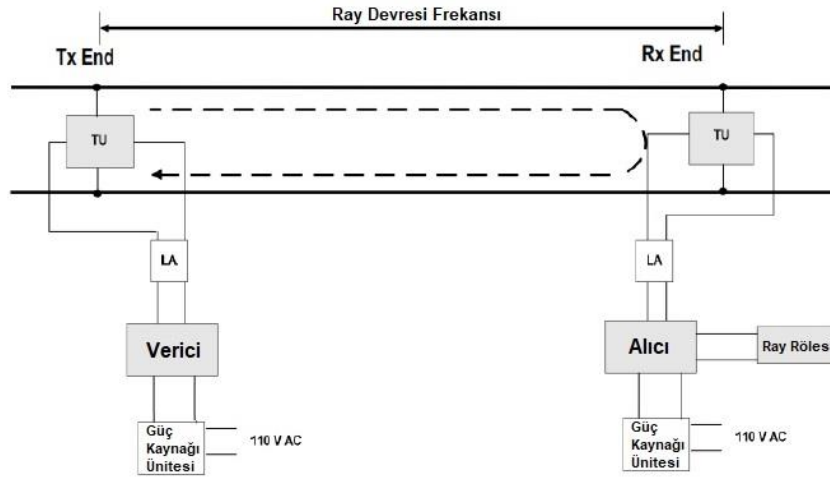
Ray devresi bloğundaki birim başına düşen enerji kayıpları sırasıyla seri dirençli ve paralel iletken eleman  $R_{dx}$  ve  $G_{dx}$  araçlarıyla modellenir. Manyetik etkiler seri endüktif elemanı  $L_{dx}$  ile modellenirken, kapasitif olgularda paralel kapasitif elemanı  $C_{dx}$  ile dikkate alınır burada R, L, G ve C sırasıyla ray devresi bloğunun uzunluk hattı seri direnci, endüktansı, paralel iletkenliği ve kapasitansdır [2]. Şekil 1' de gösterilen temel devre telgraf devresinin şematik gösterimidir. Şekil 1' deki model aynı zamanda ses frekanslı ray devresinin çalışma modeli de olup, ray devresi veri iletiminde olduğu gibi, iletim sırasında hem gerilim düşüşü hem de akım sızıntısı olduğu gerçeğini göz önünde bulundurur [7].



Şekil 1. Bir iletim hattının temel bileşenlerinin şematik gösterimi [7]

### 1.2. Ses frekanslı eksiz ray devresi tanımı

Şekil 2' de gösterilen eksiz ray devresi, uluslararası standartlar göz önünde bulundurulduğunda, günümüzde en çok kullanılan ray devresi olmuştur. Eksiz ray devresinin avantajı, katener şebeke frekansından etkilenmemesi, mevcut hat boyunda kullanılan rayların kesilmemesi ve bu sayede daha yüksek hızlarda seyahate olanak sağlamasıdır. Ulusal demiryolu sistemlerinde kullanılan eksiz ray devreleri ile saatte 350 km' ye kadar tren işletmeciliği yapılabilmektedir [8].



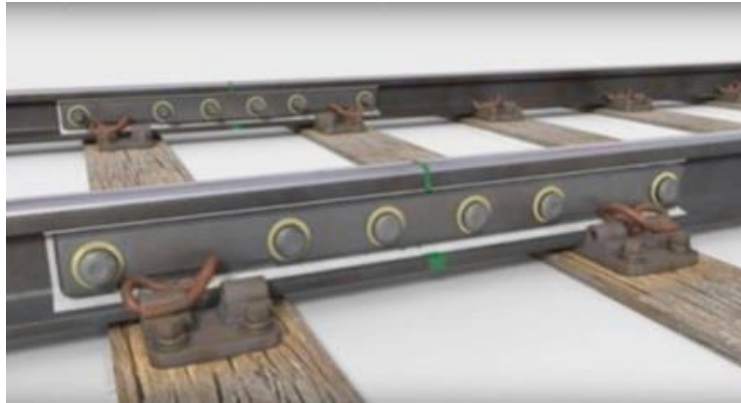
Şekil 2. Ses frekanslı eksiz ray devresinin genel gösterimi [9]

Sinyalizasyon Teknik Binalarından açık hatta bulunan alçak frekanslı ray devreleri hat dengeleme cihazı ile 7 kilometreye kadar sürülebilmektedir.

Ses Frekanslı Ray devrelerinin Şekil 1' deki gibi bir yapı ile bilgi iletimine sahip olduğu bilinmektedir fakat çevresel koşulların değişiminin, ray devrelerinin üzerinde yüksek derecede etkisi bulunmaktadır. Frekansın yüksek olması bilgi taşıma kapasitesi için avantajlı görünse de karakteristik empedansın artmasına sebep olmaktadır.

TCDD sisteminde kullanılmakta olan 3750-7250 Hz bandındaki Alçak Frekans ray devreleri ray dengeleme cihazı ile 1800 metre, ayar kutusuna takılan ray dengeleme devresi olmadan 700 metrelik bölgede blok oluşturmaktadır. Ray dengeleme devresi kullanılmayan 9500-16500 Hz bandındaki Yüksek Frekans ray devreleri ise 300 metrelik bölgede blok oluşturabilmektedir.

Şekil 3' de gösterilen, kesilen rayların arasına yerleştirilen izole cebireli 80-83.3 Hz' lik AC ray devrelerinde ise blok mesafeleri 3700 metreye kadar ulaşabilmektedir.



Şekil 3. İzole cebire [10]

## 2. Metot

Ray devresi bloğuna ait metre başına düşen  $\partial V(x)$  birim voltajının frekansa göre değişimi Denklem 1' de ve metre başına düşen birim akımın  $\partial I(x)$  frekansın göre değişimi Denklem 2' de gösterilmiştir [11].

$$\frac{\partial V(x)}{\partial(x)} = -(R + j\omega L)I(x) \quad (1)$$

$$\frac{\partial I(x)}{\partial(x)} = -(G + j\omega C)V(x) \quad (2)$$

R ve G elemanları ihmal edilebilecek kadar küçük ise, iletim hattı kayıpsız bir yapı olarak düşünülür. Bu varsayımla model sadece L ile C' ye bağlı hale gelir. Kayıpsız bir iletim hattı için elde edilmesi gerekli denklem köklerinin negatif yarı düzlemde kararlı durumda olması için ikinci derece sürekli hal Telgraf denklemlerinin gerilim eşitliği Denklem 3' de ve akım eşitliği Denklem 4' te gösterildiği gibi yazılır:

$$\frac{\partial^2 V(x)}{\partial x^2} + \omega^2 LC.V(x) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 I(x)}{\partial x^2} + \omega^2 LC.I(x) = 0 \quad (4)$$

Eğer R ve G ihmal edilmezse Telgraf denklemleri, ray devresi bloğundaki gerilim sönümlemesi Denklem 5' de akım sönümlemesi Denklem 6' daki gibi gösterilir.

$$\frac{\partial^2 V(x)}{\partial x^2} = \gamma^2 V(x) \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 I(x)}{\partial x^2} = \gamma^2 I(x) \quad (6)$$

Ray devresindeki Propagasyon (Yayıma) sabiti Denklem 7' de, karakteristik empedansı ise Denklem 8' deki denklem ile bulunmaktadır.

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (7)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (8)$$

Sınır koşullarından belirlenen  $V_{(\pm)}$  sabiti olmak üzere, logaritmik eşitliklerden yola çıkılarak ray devresi bloğundaki  $V(x)$  ve  $I(x)$  eşitliklerinin çözümü Denklem 9 ve Denklem 10' da gösterilmiştir.

$$V(x) = V_{(+)}e^{-\gamma x} + V_{(-)}e^{+\gamma x} \quad (9)$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_0} (V_{(+)}e^{-\gamma x} - V_{(-)}e^{+\gamma x}) \quad (10)$$

$x=0'$  da başlayan ve pozitif x yönünde ilerleyen bir  $V_{in}(t)$  gerilimi için, belirli bir z noktasında iletilen gerilim  $V_{out}(z, t)$ ,  $V_{in}(t)$ ' nin Fourier Dönüşümünün,  $\tilde{V}(w)$ , hesaplanması ardından frekans bileşenlerinin  $e^{-Re(\gamma)z}$  ile sönümlenmesi, fazın  $-\text{Im}(\gamma)z$  kadar ötelenmesi ve son olarak ters Fourier Dönüşümü uygulanması ile hesaplanabilir.  $\gamma'$ 'nin reel ve imajiner bileşenleri, atan2 iki değişkenli tanjant tersi olmak üzere reel bileşen Denklem 11, imajiner bileşen Denklem 12' de açıklanmış olup Propagasyon (Yayıma) sabitinin reel ve imajiner kısımları Denklem 13 ve Denklem 14' deki halini almıştır.

$$a \equiv w^2 LC \left[ \left( \frac{R}{wL} \right) \left( \frac{G}{wC} \right) - 1 \right] \quad (11)$$

$$b \equiv w^2 LC \left( \frac{R}{wL} + \frac{G}{wC} \right) \quad (12)$$

$$Re(\mathbb{Z}) = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{4}} \cos\left(\frac{\text{atan2}(b, a)}{2}\right) \quad (13)$$

$$Im(\mathbb{Z}) = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{4}} \sin\left(\frac{\text{atan2}(b, a)}{2}\right) \quad (14)$$

Küçük kayıp ve yüksek frekanslarda ray devresi bloğundaki indüktif reaktans artıp kapasitif reaktans azalır ve propagasyonun reel kısmı için Denklem 15 imajiner kısmı için Denklem 16 elde edilir.

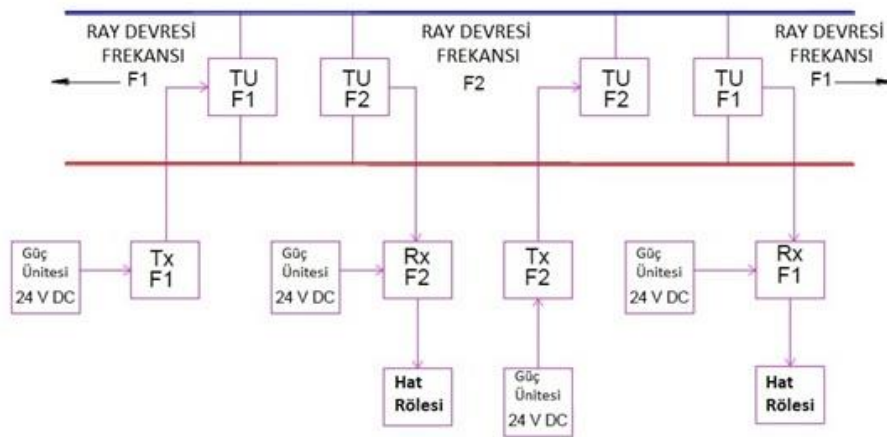
$$Re(\mathbb{Z}) \approx \frac{\sqrt{LC}}{2} \left( \frac{R}{L} + \frac{G}{C} \right) \quad (15)$$

$$Im(\mathbb{Z}) \approx w\sqrt{LC} \quad (16)$$

Fazdaki  $-w\delta$  kadar değişimin zamanda  $\delta$  kadar öteleme anlamına geldiği dikkate alındığında  $V_{out}(t)$  Denklem 17' deki gibi ifade edilir.

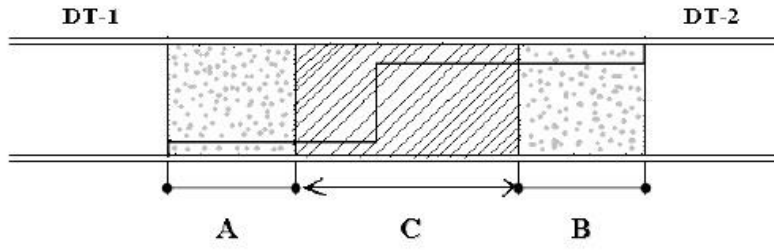
$$V_{out}(x, t) \approx V_{in}(t - \sqrt{LC}x) e^{-\frac{\sqrt{LC}}{2} \left( \frac{R}{L} + \frac{G}{C} \right) x} \quad (17)$$

Şekil 4' de gösterilen ses frekanslı eksiz ray devresinde blok oluşturmak için kullanılan frekansların karışmaması için iki ray arasında I Bond ve S Bond dediğimiz kısa devreler yapılmaktadır. Kullanılan S ve I Bondların sağında ve solunda yer alan blokların, frekansları bond çevresinde oluşturulan ölü bölge ile karışması engellenir.



Şekil 3. Ses frekanslı ray devresinin blok diyagramı [9]

Örtüşme bölgesi, 0,15 Ohm dirençle şönt edildiğinde her iki Ses frekanslı ray devresi rölesinin düştüğü ayarlı bölgenin kısmıdır Şekil 5' de iki ray devresinin ölü bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 5. Ölü bölge gösterimi [12]

Burada A= DT-2 Ray devresinin şöntsüz bölgesi, B= DT-1 Ray devresinin şöntsüz bölgesi ve C=DT-1 ve DT-2 Ray devresinin şöntlenme (örtüşme) bölgesidir.

Sonuç olarak, 1970'lerden beri hem DC hem de AC demiryolu uygulamalarında modern ekipman için bu etkilerin ayrıntılı olarak anlaşılması konusunda kapsamlı bir gelişme olmuştur. Eşdeğer devreler olarak, karmaşık iletken girişim problemini ayrı ayrı analiz edilmek üzere birkaç parçaya ayıran bir iletken girişim kuplaj modeli geliştirilmiştir. Alt istasyonlar, cer sürücüler, hat sinyalizasyon ekipmanı, hat ve cer hattı içeren bir demiryolu cer sisteminin düşük ve ses frekanslı elektromanyetik parazit açısından birlikte değerlendirilmesini sağlayan hem elektromanyetik alan hem de devre simülasyon modelleri mevcuttur [13].

Ayrıca, geri dönüş iletkeninin etkileri hesaba katılarak, DC, AC ve Ses Frekanslı Ray devrelerinin parametreleri genişletilebilir [14,15].

### 2.1. Balast direnci

Balast direnci rayın bir tarafından diğer tarafına sızan sızıntı akımına karşı raylar altındaki balast taşlarının ve traverslerin göstermiş olduğu elektriksel direnç olarak tanımlanır. Raylar boyunca tahmin edileceği gibi sayısız kaçak ve sızıntı akım yolları vardır. Balast direnci 1000 metrelik bir uzunluktaki ray devresinde 1.2 Ohm' dan az olmamalıdır. 80-100 ohm' a kadar olan değerler balast direncinin yüksek olduğu değerler olmakla birlikte temin edilmesi zor olan değerlerdir [12].

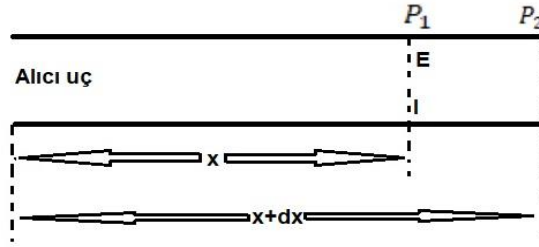
Ray voltajı, rölenin toplama voltajından önemli ölçüde daha yüksek değilse, en iyi koruma elde edilir. Ray devresinin balast direnci ve dolayısıyla hat voltajı da oldukça yüksekse (sınırlayıcı bir durumda raylar arasında tam izolasyon), eşlik eden ray rölesinin bir tren raya girer girmez düşmesi şartını karşılamak için ekstradan düşük değerli dirençler sisteme eklenebilir [16].

AC Balast Direnci: Denklem 7 ve Denklem 8' deki Telgraf denklemlerinden yola çıkılarak Denklem 18' de Ray Empedansı ve Denklem 19' da Ray Admittansı denklemleri hesaplanır [11].

$$Z = R + j\omega L \text{ } [\Omega/m] \quad (18)$$

$$Y = G + j\omega C \text{ } [1/\Omega m] \quad (19)$$

Ray devresinin kısmi bir bloğunun incelemek gerekirse, Şekil 6' dan yola çıkılarak birim miktarda akım ve gerilim eşitlikleri hesabı yapılır.



Şekil 6. Ray Devresinde Gerilim ve Akımın Şematik Gösterimi [11]

Ray devresi bloğundaki gerilim ve akım ölçümü için seçilen herhangi bir nokta olan  $P_1$ ' de: gerilim ve akım  $E, I$  olarak verilir.

AC balast direnci hesabı için seçilen herhangi bir  $P_2$  noktası için  $E+dE, I+dI$  veya  $E + \frac{dE}{dx} dx$ ,  $I + \frac{dI}{dx} dx$  değerleri geçerlidir. Bu  $dx$  parçasındaki gerilim düşümü ile kaçak akımı Denklem 20 ve Denklem 21'de gösterilmiştir.

$$dE = IZdx \rightarrow \frac{dE}{dx} = IZ \rightarrow \frac{d^2E}{dx^2} = Z \frac{dI}{dx} = EYZ \quad (20)$$

$$dI = EYdx \rightarrow \frac{dI}{dx} = EY \rightarrow \frac{d^2I}{dx^2} = Y \frac{dE}{dx} = IYZ \quad (21)$$

Empedans ve Admintans dönüşümlerinden;

$\Upsilon \frac{d^2E}{dx^2} = \alpha^2 Ae^{\alpha x}$  ve  $E = Ae^{\alpha x}$  dersek;  $\frac{d^2E}{dx^2} = E\alpha^2$   $\frac{d^2E}{dx^2} = YZAe^{\alpha x}$  ve dolayısıyla Denklem 22 elde edilir.

AC balast direnci için  $\alpha$  propagasyon sabiti seçilmek üzere;

$$\alpha^2 = YZ \quad \alpha = \pm\sqrt{YZ} \quad (22)$$

AC balast direnci için bulunan değerler akım ve gerilim cinsinden matris formuna dönüşümünde denklem 23 ve 24' de gösterilen A, B, C ve D katsayıları kullanılır.

$$E = Ae^{\pm\sqrt{YZ}x} = Ae^{-\sqrt{YZ}x} + Be^{\sqrt{YZ}x} \quad (23)$$

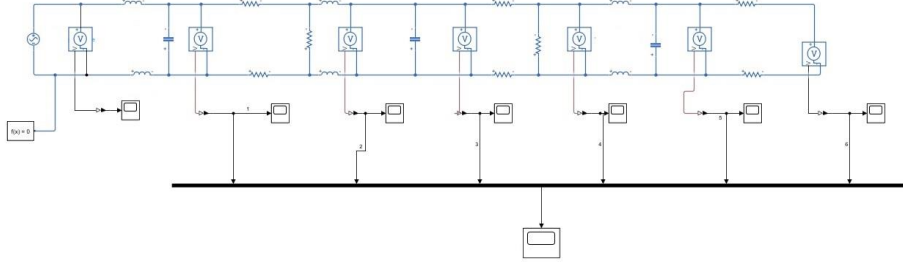
$$I = Ce^{\pm\sqrt{YZ}x} + De^{\sqrt{YZ}x} \quad (24)$$

Şebeke frekansında AC ray devreleri kullanıldığı takdirde, raylar arasındaki C kapasitesi ihmal edilebilir. Fakat yüksek frekanslı ray devrelerinde bu kapasitenin dikkate alınması gerekir. Kapasitif değer hatta etkisinden dolayı ters yansıma hesabı [17] yapılmamıştır ve mevcut ray devresi hattımız her ne kadar transmisyon hattı olsa da çevresel koşullar [18] dikkate alınmamıştır.

DC Balast Direnci: DC ray devresinde balast direnci, izole cebireler arasında paralel ve seri bağlanmış dirençlerden oluşan bir elektrik devresi özelliğindedir. Bu uzun devre üzerine düşen gerilim her iki uçtaki gerilimlerin yarısı olarak alınır. Besleme ve role tarafında ölçülen akımların farkı ise ray devresinden geçen akım olarak kabul edilebilir [12]. Ayrıca, balast direnci hava durumuna göre değiştiğinde faz açısı da değişir. Bu etkiler, DC ray devresinin verimli ve güvenli bakımı için problemler yaratır [9].

### 3. Bulgular

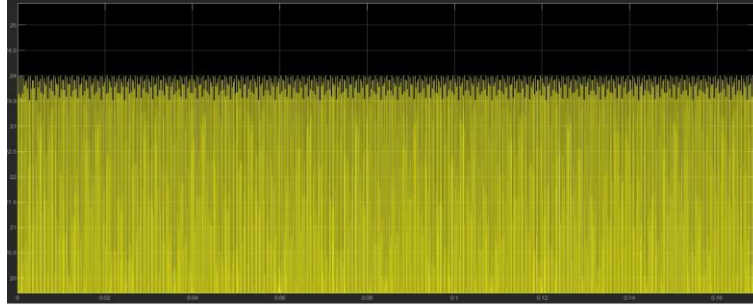
R, L ve C hat boyu parametrelerine rastgele değer verilerek Şekil 7’ de 24 volt 4500 Hz frekanslı gerilim kaynaklı (Tx) ray devresinin 3 bloklu (1,3,5) şeması çizilmiştir.



Şekil 4. 4500 Hz frekanslı ray devresinin şematik gösterimi [17]

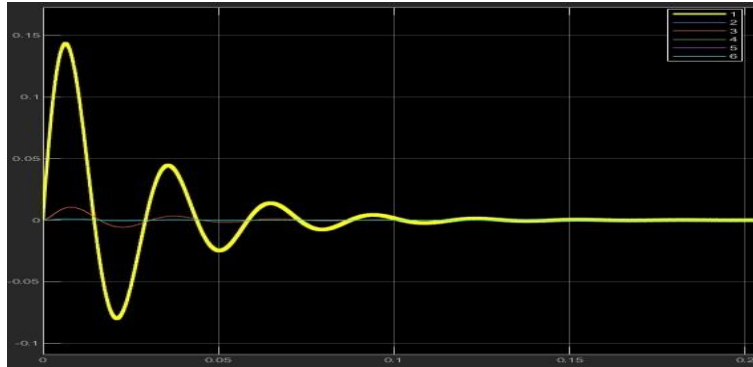
Yapılan çalışmada geri dönüş iletkeni ve hatta bulunan aktif elemanların ters yansımaları ve rayların birleşim yerlerindeki geçişlerde (conta, kaynak geçişlerinde) meydana gelebilecek rezonanslar [19] hesaba katılmamıştır. Söz konusu şema ile TCDD 1. Bölge Müdürlüğü Gebze-Köseköy mntkasında kullanılan 4500 ve 9500 Hz ses frekanslı ray devresi simülasyon ortamında incelenmiştir [20].

Dikey eksen gerilim yatay eksen zaman olan Şekil 8’ de uygulanan 24 voltluk transmitterin taşıyıcı frekansı 4500 Hz gösterilmiştir.



Şekil 5. Transmitter kısmında uygulanan modüleri sinyal

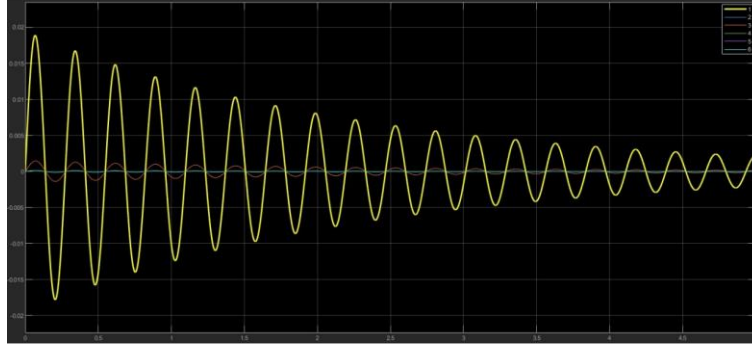
Dikey eksen gerilim (Volt) yatay eksen zaman (saniye) olan Şekil 9’ da 1, 3 ve 5 numaralı oluşturulan bloklardaki simülasyona ait osiloskop görüntüsü görülmektedir. Osiloskop görüntülerinden de anlaşılacağı üzere taşıyıcı sinyalin propagasyonu hattın uzunluğuna göre kademeli olarak azalmaktadır.



Şekil 9. Bloklara göre ses frekansının sönümlenmesi

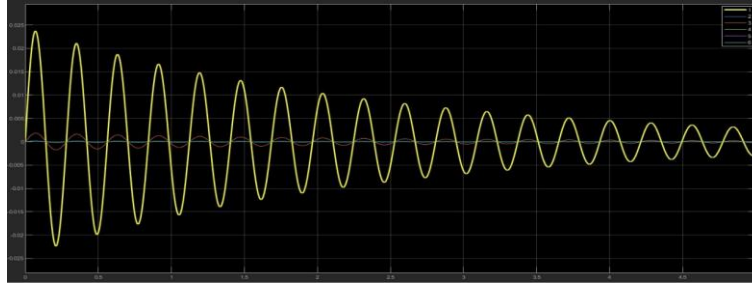


Dikey eksen gerilim (Volt) yatay eksen zaman (saniye) olan Şekil 10' da, Transmitterden uygulanan sinyal taşıyıcı frekansı 4500 Hz olan ray devresinin daha uzun bloklar oluşturabilmesi için iki ray arasına ray devresini dengeleyen kapasitörlerin takılması veya mevcut kapasite değerinin artırılması ile sönümlenmesinin azaldığı ve propagasyonunun arttığı görülmüştür.



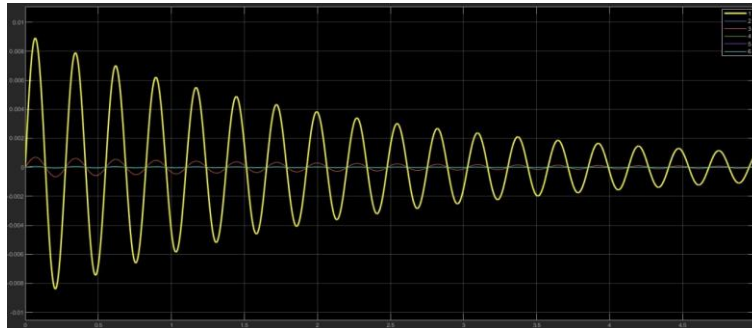
Şekil 10. 4500 Hz ray devresinin giriş kapasitesinin yükseltilmesi

Dikey eksen gerilim (Volt) yatay eksen zaman (saniye) olan Şekil 11' de kullanılan 4500 Hz, 3500 Hz' e indirilmiştir. Frekansın indirilmesine istinaden hat değerleri aynı kalmasına rağmen taşıyıcı sinyalin genliğinde 0,02 Volt' dan 0,025 Volt' a artış meydana gelmiştir ve buna istinaden propagasyon değeri yükselmiştir.



Şekil 6. 3500 Hz kısa ray devresi

Dikey eksen gerilim (Volt) yatay eksen zaman (saniye) olan Şekil 12' de ise ray devresi frekansı 9500 Hz' e yani kısa ray devresi bloğu frekansına çıkarılmıştır. Ray devresinin transmitterden genliği değişmemesine rağmen 1 numaralı bloktaki genliğin 0.01 Voltun altına düşmesi gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 9500 Hz kısa ray devresi

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Telgraf denklemleri temelinde dayandırılarak Ray Devresi blokları matematiksel olarak gösterilmiştir. Ses frekanslı ray devrelerinin frekansının artması ile blok mesafesi arasındaki ilişki yapılan simülasyon ile doğrulanmıştır. Hat boyunda kullanılan ray devrelerine ait parametreler çevresel koşullardan, katener indüksiyonundan ve geri dönüş iletkeni gibi sistem parçalarından etkilendiği bilinmektedir.

Yapılan simülasyonlarda, çevresel koşullara göre değişen ray devresi parametrelerini ayarlama üniteleri (TU-Tuning Unit) üzerinden yapılması öngörülmüştür. Ray devresi ayarlarının, sadece teknik binalarda bulunan transmitter ve receiver üniteleri üzerinden yapılması ile simülasyonun doğru sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Bu sorunun sebebi olarak kullanılan teknik binadan hat boyu ayar ünitesi kutularına giden ray devresi kablolarının yapısı gösterilebilir. Söz konusu hatta bu sorunun yaşanmaması için tüm kablolar her bir sisteme ayrı ayrı çekilmiştir. Simülasyon sonuçları ile Gebze-Köseköy Hattında neden çoklu pere sahip kablo kullanılmadığı anlaşılmış ve doğrulanmıştır. Ray devresinin doğru çalışabilmesi için transmitter kısmında yüksek kapasite ve düşük direnç değerleri istendiği ortaya çıkmıştır. Bu değerlerin sağlanabilmesi için özellikle transmitter ünitesinin bulunduğu ray bölgesinde geri dönüş ve katener topraklamasının iyi yapılması gerekmektedir.

Gelecek çalışmalarda üzerinde çalışılacak hattın kablolar üzerindeki redüksiyon faktörü göz önüne alınarak ve güç analizörü kullanarak hatta oluşan harmonik bozunumlara karşı ray devresinin tepkisinin ölçülmesi planlanmaktadır.

#### Teşekkür

Bölgemiz mühendislerinden, mesleki bilgisini bizlerden esirgemeyen TCDD 1. Bölge Modernizasyon Servis Müdürlüğü Baş Mühendisi Gürsel H.ÇELEBİ ve Bakım Servis Müdürlüğü Kontrolörü Ahmet COŞAR' a teşekkürü bir borç bilirim.

#### Kaynakça

- [1] J. Bell, Lecture of Pde\_Notes, Chapter 7, University of Maryland, 2022.
- [2] J. Wang, H. Zhang, R. Kang and P. Xu, "An adaptive dynamic coding method for track circuit in a high-speed railway" in *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 14, no. 3, pp. 188-199, May-June 2022, doi: 10.1109/MITS.2021.3049376.
- [3] Y. Shang, F. Yan, S. Feng and Z. Wang, "Fault diagnosis of compensation capacitor in joint-less track circuit via long short-term memory network" *2021 China Automation Congress (CAC)*, 2021, pp. 3644-3649, doi: 10.1109/CAC53003.2021.9727388.
- [4] V. Havryliuk, "Model of propagation of traction current harmonics from trains to a track circuit receiver" *2021 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/APEMC49932.2021.9597152.
- [5] J. Feng, J. G. Cao and Z. H. Wu, "Analysis and research on electromagnetic compatibility of high speed railway traction current harmonics to track circuit" in *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 31, no. 8, pp. 1-4, Nov. 2021, Art no. 0600904, doi: 10.1109/TASC.2021.3090347.
- [6] H. He, W. Deng and D. Meng, "Research on track circuit monitoring data processing method based on dig data" *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, 2020, pp. 7510-7515, doi: 10.1109/CAC51589.2020.9327086.
- [7] Wikipedia, "Telegrapher's equations", 2022.[Online] Available:[https://en.wikipedia.org/wiki/Telegrapher%27s\\_equations#:~:text=The%20telegrapher%2](https://en.wikipedia.org/wiki/Telegrapher%27s_equations#:~:text=The%20telegrapher%2)

- 7s%20equations%20(or%20just,line%20with%20distance%20and%20time. [Accessed: 17-April-2022].
- [8] Siemens, Clearguard TCM 100 track vacancy detection system, Datasheet, 2022.
- [9] Indian Railway Institute of Signal Engineering and Telecommunications, Secunderabad-500-017, March 2013.
- [10] K. H Rahouma, S. Ahmed, “A mathematical model for detection of railway track cracks based on the track signalling system” in *Egyptian Computer Science Journal* Vol. 44 No.2 May 2020 ISSN-1110-2586.
- [11] V.K. Babacan, “Raylı sistemlerde sinyalizasyon tekniği”. TCDD:1. Bölge Tesisler Müdürlüğü, 2010
- [12] Government Of India, Ministry Of Railways, Maintenance Handbook On Audio Frequency Track Circuit, Camtech/S/Proj/2013-14/Hb-Aftc.2.0, May 2013.
- [13] J. Zhang, W. Oghanna, F. Flinders, W. Craig, “Simulator of track circuit for urban/suburban transit system”, in *Transactions on the Built Environment* vol 30, © 1997 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743-3509
- [14] Z. Mazloom; N. Theethayi; R. Thottappillil, “Modeling indirect lightning strikes for railway systems with lumped components and nonlinear effects” in *IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility*, Vol. 53, No. 1, February 2011.
- [15] Z. Mazloom. “Multi-conductor transmission line model for electrified railways: A method for including responses of lumped devices” Ph.D. . Elect. Eng., Kungliga Tekniska högskolan (KTH), 2010.
- [16] B. Lejdström, S. “Calculation of geomagnetic interference voltages in track circuits”, Svensson Infrastructure Resilience Research Group, Vol 1, Issue 10, June 2020.
- [17] M. İ. Pençe, “1-boyutlu iletim hatlarında empedans kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Enst. İletişim Sistemleri Bölümü, İTÜ, 2019.
- [18] E. Krausmann, E. Andersson, T. Russell, W. Murtagh “Space Weather and Rail: Findings and Outlook” European Commission Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen, JRC science and policy reports, 16-17 September, 2015, London, UK.
- [19] Sümbül, H., Böğrek A., Tunçer, A., (2021) “Demiryolu Ulaşım Güvenliği için Makinist Uyarım Sistemi Kavramsal Tasarımı ve Simülasyonu” *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*. 14: 1-13. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.832113>
- [20] Mathworks, MA, USA. *MATLAB documentation*, 2019a version, MSÜ-HUTEN lab. 2022.

### Özgeçmiş



#### Yasin KOÇAK

Yasin KOÇAK 1986 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinde, Yüksek Lisans Eğitimini İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde tamamlamıştır. TCDD Genel Müdürlüğü 1. Bölge Bakım Servis Müdürlüğünde çalışmaktadır. İlgi alanına giren araştırma konuları Demiryolu Sinyalizasyonu ve Haberleşmesidir.  
E-Posta: yasinkocak@tcdd.gov.tr

### Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.