

Dinamik Hat Yüklenmesi Tekniğinin Dağıtım Şebekesi İçerisinde Uygulanması

Implementation of Dynamic Line Rating Technique in Distribution Network

Doruk Güneş¹, Gökmen Hasan Çebi², Bora Alboyacı³

¹Genetek Güç, Enerji San. Tic. Ltd. Şti.
doruk.gunes@genetek.com.tr

²Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.
gokmen.hasancebi@sedas.com

³Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
alboycaci@kocaeli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, dağıtım şebekesini etkileyecek bir acil durum anında sağlıklı fiderler ile çok sayıda yükü besleyebilmek adına dinamik hat yüklenmesine yönelik gerçekleştirilen hesaplamalar sunulmaktadır. Dinamik hat yüklenmesi hesaplamalarının yapılabilmesi için belirlenen bir pilot fider üzerinde hat akımı ve iletken yüzey sıcaklığını ölçebilen bir sensör tesis edilmiş ve rüzgar hızı, rüzgar yönü, solar ışınım, ortam sıcaklığı değerlerini ölçebilen bir hava istasyonu kurulmuştur. Ölçülen parametreler ile pilot fider için dinamik hat yüklenmesi hesaplanmış ve geliştirilen internet arayüzü ile dinamik hat yüklenmesi hesaplamaları sürekli ve takip edilebilir bir hale getirilmiştir. Çalışma içerisinde gerçekleştirilen dinamik hat yüklenmesi hesaplamaları ile elde edilen değerler, geliştirilen arayüz üzerinde gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dinamik Hat Yüklenmesi, Acil Durum, Dinamik Kapasite.

Abstract

In this study, dynamic line loading calculations were presented in order to feed a large number of loads with healthy feeders in the event of an emergency which would affect the distribution network. In order to perform the calculations of the dynamic line rating, a sensor which can measure the line current and the conductor surface temperature is installed on a designated pilot feeder and an air observation station is installed which can measure the wind speed, wind direction, solar radiation, ambient temperature values. The dynamic line rating is calculated for the pilot feeder with the measured parameters and it have been made continuous and online with the developed internet interface. Values obtained by the dynamic line rating calculations performed in the study are shown on the developed interface.

Keywords: Dynamic Line Rating, Contingency, Dynamic Capacity

1. Giriş

Elektrik şebekelerinde çeşitli ölçeklerde bozucu etkiler sıkça görülmektedir. Bu bozucu etkiler şebeke içerisinde gerçekleşen elektriksel olayların sonucu olarak meydana gelebileceği gibi, çevresel koşullar ve diğer risk faktörlerinin etkisi ile de oluşabilir. Elektrik şebekelerini etkileyen bozucu etkilerin sonucunda şebeke ekipmanlarında meydana gelebilecek elektriksel ya da mekanik bir hasar, geniş bölgeleri ve çok sayıda kullanıcıyı etkileyecek uzun süreli kesintilere yol açabilir. Özellikle radyal şebeke yapıları içerisinde yaşanacak arızaların sonucunda, arıza noktasının altındaki bölgede çok sayıda müşterinin enerjisiz kalmasının önüne geçebilmek adına acil durum eylem planları ve alternatif besleme güzergahlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Acil durum senaryoları, elektrik şebekelerini etkileyebilecek herhangi bir elektriksel veya mekanik etki sonrasında belirlenen öncelik sırasına göre yüklerin yeniden enerjilendirilmesi adımlarını içeren hareket planı olarak tanımlanabilir. Acil durum besleme senaryolarının oluşturulması ve işletilmesi noktasında beslenebilecek yük miktarını belirleyen temel değer, besleme güzergâhındaki şebeke bileşenlerinin akım taşıma kapasiteleridir. Elektrik enerjisinin bir noktadan (bir üretim biriminden) bir diğer noktaya (son tüketici) aktarımı için kullanılan şebeke bileşenlerinin tasarımları ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak gösterdikleri direnç sebebiyle kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar ısı enerjisi olarak açığa çıkarak elektrik enerjisinin aktarımı için kullanılan şebeke bileşenlerinin ısınmasına sebep olmaktadır. Elektrik şebekelerinde mevcut hatların akım taşıma kapasitesinin teorik değeri, sabit bir değere

karşılık gelmektedir. Bu değer iletkenin izin verilen maksimum işletme sıcaklığı baz alınarak önceden belirlenmiş çevresel şartlar için hesaplanmaktadır [1]. Ancak bu değer, en kötü hava koşullarına dayanmaktadır ve bu nedenle gerçek hat kapasitesi genellikle sabit limitinden daha yüksektir [2]. Dağıtım şebekesi içerisinde kullanılan bir havai hattın dinamik akım taşıma kapasitesi, gerçek zamanlı ölçümler ile rüzgar hızı ve hava sıcaklığı gibi çevresel değişkenler göz önüne alınarak hesaplanabilir [3]. Dinamik akım taşıma kapasitesi sürekli olarak veya öngörü şeklinde olmak üzere iki şekilde hesaplanabilir [4]. Sürekli olarak hesaplama metodunda gerçek zamanlı rüzgar hızı, ortam sıcaklığı, iletken sıcaklığı gibi değerler kullanılarak iletkenin dinamik akım taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik hesaplamalar gerçekleştirilir [5].

Dinamik Hat Yüklenmesi uygulamaları acil durum olayları sırasında bir fider üzerinden beslenebilecek maksimum yükün belirlenebilmesini sağlamaktadır. Böylece bir acil durum anında iletkenin buz yükü bölgesine göre belirlenen sabit maksimum akım taşıma kapasitesi yerine o anda çevresel koşulları da göz önüne alarak hattın taşıyabileceği maksimum akım değeri hesaplanmaktadır. Böylece bir acil durum anında gerçekleştirilebilecek anahtarlama operasyonları ile geniş bir bölgede belirlenen kritik yükler beslenebilir. Dinamik hat yüklenmesi çalışmalarının bir diğer avantajı da sürekli işletmede özellikle iyi soğuyabilen hatlar için kapasite artışına bağlı olarak yapılacak yatırımların ertelenebilmesidir.

Bu çalışma içerisinde bir Ar-Ge projesi kapsamında gerçekleştirilen saha uygulamaları ve matematiksel yöntemler ile dağıtım şebekesi içerisindeki bir fider için uygulanan dinamik hat yüklenmesi çalışmaları özetlenmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan fider, Sakarya ili Adapazarı ilçesi merkezinde geniş bir coğrafyada yer almakta ve çok sayıda kritik yükü beslemektedir. Ayrıca şebeke yapısı dolayısıyla bu çalışma kapsamında pilot fider olarak belirlenen 477 MCM karakteristiğe sahip Deryaoğlu Fideri, şebeke içerisinde gerçekleştirilecek anahtarlama koşulları ile birçok kritik yükü daha besleyebilmekte ve fidere bağlı dağıtık üretim birimi ile trafo merkezi veya fider başında meydana gelebilecek bir arıza durumu veya bir acil durum senaryosu altında, kendisine bağlı yükleri ada durumunda besleyebilecek temel yeterliliklere sahiptir. Bu çalışma içerisinde elde edilen veriler ve gerçekleştirilen hesaplamalar ile incelenen dağıtım fideri için hesaplanan dinamik hat yüklenmesi değerleri ve geliştirilen sistemin kullanımı için tasarlanan kullanıcı arayüzü gösterilmiştir.

2. Dinamik Hat Yüklenmesinin Hesaplanması

Dinamik hat yüklenmesi felsefesi, hava şartlarının, iletken sıcaklığının ve iletkenin geçen akımın gözlenerek hattın kapasitesinden maksimum seviyede faydalanmak üzerine kuruludur. Ortam (hava) sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, solar ışımaya ve iletken sıcaklığı gibi değerler sensörler üzerinden takip edilir ve dinamik hat yüklenmesine ilişkin hesaplar bu değerler baz alınarak gerçekleştirilir. Çıplak havai hatlar için akım ile sıcaklık arasındaki ilişki IEEE 738 [6] standardı içerisinde açıklanmıştır. İletken akımı ve çevresel şartlara bağlı olarak iletkenin sıcaklığı değişmekte ve bu da iletkenin belirli bir sıcaklıktaki dinamik hat yüklenmesi değerini etkilemektedir. [6].

Bir havai hat için kalıcı olmayan durumda (non-steady state) ısı dengesi aşağıda verilen Denklem (1) ile hesaplanabilmektedir.

$$q_c + q_r + m \cdot C_p \cdot \frac{dT_h}{dt} = q_s + I^2 \cdot R(T_{avg}) \quad (1)$$

Kalıcı durum için ise ısı dengesi Denklem (2) ile hesaplanabilmektedir.

$$q_c + q_r = q_s + I^2 \cdot R(T_{avg}) \quad (2)$$

$$q_{c1} = K_{angle} \cdot [1.01 + 1.35 \cdot N_{Re}^{0.52}] \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \quad (3)$$

$$q_{c2} = K_{angle} \cdot 0.754 \cdot N_{Re}^{0.6} \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \quad (4)$$

$$q_r = 17.8 \cdot D_0 \cdot \varepsilon \cdot \left[\left(\frac{T_s + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (5)$$

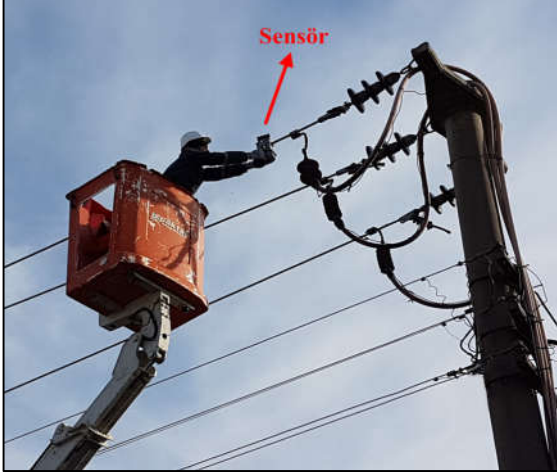
$$q_s = \alpha \cdot Q_{se} \cdot \sin(\theta) \cdot A' \quad (5)$$

Eşitlikler üzerinde gösterilen q_c rüzgar hızı, ortam sıcaklığı ve iletken sıcaklığının bir fonksiyonu olarak konveksiyon yoluyla ısı kaybını göstermektedir. Denklem (3) ve Denklem (4) üzerinde gösterilen q_{c1} ve q_{c2} değerleri hesaplanarak karşılaştırılır ve daha büyük olan değer q_c olarak kabul edilir.

Denklemler içerisinde T_s ile iletken yüzey sıcaklığı, T_a ile ortam (hava) sıcaklığı, N_{Re} ile Reynolds sayısı ve k_f ile de havanın termal iletkenliği gösterilmektedir. q_r ise ortam ve iletken sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ışımaya ile ısı kaybını göstermektedir. Eşitlikler içerisinde m ile kütle yoğunluğu, C_p ile ısı kapasitesi, T_{avg} ile ortalama iletken sıcaklığı, q_s ile solar ışımadan dolayı kazanılan ısı ve $I^2 \cdot R_{ac}(T_h)$ ile de hat akımından dolayı kazanılan ısı gösterilmiştir. R_{ac} burada iletken sıcaklığının bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

3. Dinamik Hat Yüklenmesi Sistemine Ait Sensör ve Ekipmanlar

Ele alınan havai hat iletkeni için dinamik hat yüklenmesinin hesaplanabilmesi noktasında iletken sıcaklığı etkili bir parametredir. Gerçekleştirilen dinamik hat yüklenmesi hesaplanması çalışmalarında denklem değişkenlerinden olan iletken sıcaklığı ve hat akımı gibi bilgilerin elde edilebilmesi için ölçüm yoluna gidilmiş ve proje kapsamında belirlenen pilot fider üzerinde en kötü ortam koşullarının sağlandığı noktada bu parametreleri ölçüp kayıt edebilen sensörler yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Sensör montajının gerçekleştirilmesi

Havai hat iletkeni üzerine yerleştirilen sensörler ile iletken sıcaklığı ve akım değeri tek başına dinamik hat yüklenmesi, hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için yeterli olmamaktadır. Uygulama çalışması gerçekleştirilen bu sistemde eşitlikler içerisinde yer alan çevresel değişkenlere yönelik ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, solar ışımaya değerleri tesis edilen hava istasyonu ile ölçülmüş ve kayıt edilmiştir.



Şekil 2. Tesis edilen hava istasyonu

Dinamik hat yüklenmesi hesaplamalarında kritik öneme sahip denklem değişkenleri hattın güzergahı boyunca

ölçülmekte ve en az soğuyabilen noktası belirlenerek bu noktada (en kötü ortam koşullarının meydana geldiği nokta) ölçülen değerler göz önünde bulundurulmaktadır. Bir havai hattın güzergahı üzerinde en kötü ortam koşullarının meydana geldiği nokta, iletkenin dinamik hat yüklenmesi değerini belirlemektedir. Özellikle uzun iletim hatlarında ve dağıtım fiderlerinde gerçekleştirilecek dinamik hat yüklenmesi hesaplamalarında denklem değişkenlerinin çok sayıda farklı noktada ölçülerek karşılaştırılması, en kritik noktanın belirlenerek dinamik hat yüklenmesinin doğru şekilde hesaplanması ve işletme güvenilirliğini artırması açısından önemlidir.

Proje kapsamında ele alınan Sakarya bölgesi, farklı yükseltilerde yerleşim bölgelerini barındıran bir coğrafyaya sahiptir. Farklı yükseltilerdeki yerleşim bölgeleri arasında veya şehir içi ile kırsal yerleşim bölgeleri arasında rüzgar hızı büyük farklılıklar gösterebilmektedir.

Özellikle şehir içi bölgelerde binalar sebebiyle rüzgar hızı kesilmekte ve havai hatların soğumasını sağlayan en önemli etkenlerden biri olan rüzgar hızı azalmaktadır. Sakarya bölgesinde belirlenen pilot fider için gerçekleştirilen dinamik hat yüklenmesi çalışmalarında fiderin en kötü ortam koşullarına sahip bölgesi saha ziyaretleri ile belirlenmiş ve sensörler belirlenen bölgede tesis edilmiştir.

4. Dinamik Hat Yüklenmesi Hesapları ve Kullanıcı Arayüzü

Sürekli işletmede dinamik yüklenme değerinin de sürekli olarak hesaplanması gerekmektedir. Dolayısıyla veri sürekliliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleştirilen uygulamada hem havai hat üzerine yerleştirilen sensörler hem de tesis edilen hava istasyonu ile ölçülen değerler uzaktan erişilebilir bir sistem şeklinde tasarlanmıştır. Böylece tesis edilen cihaz ve sensörler yardımıyla kayıt edilen değerler internet üzerinden takip edilebilmektedir.

Dağıtım şebekesi fideri için en kötü ortam koşullarının meydana geldiği noktada havai hat iletkeni üzerine yerleştirilen sensörlerden ve hava istasyonundan alınan iletken ve ortam koşullarına ait değerlerden bir kısmı Şekil 3 üzerinde gösterilmiştir.

TimeStamp	Record	v1_Avg	D1_c_VVc(t)	CMP11_Irr_Avg	t1_Avg	h1_Avg	PTemp_C_Avg
2018-09-29 11:50:00.0	2562	2.414	291.3	459	441	20.16	22.71
2018-09-29 12:00:00.0	2563	1.978	296.8	520.7	33.59	21.78	23.01
2018-09-29 12:10:00.0	2564	1.977	309.8	570.4	33.66	23.43	23.3
2018-09-29 12:20:00.0	2565	1.919	306.5	770.8	34.1	26.73	23.58
2018-09-29 12:30:00.0	2566	2.021	299.3	765.3	34.31	29.62	23.85
2018-09-29 12:40:00.0	2567	1.438	302.1	742.8	34.61	31.2	24.13
2018-09-29 12:50:00.0	2568	1.83	302.1	741.9	35.08	32.26	24.41
2018-09-29 13:00:00.0	2569	1.83	302.1	752.7	35.3	39.94	24.69
2018-09-29 13:10:00.0	2570	1.305	302.1	759	35.78	41.51	24.99
2018-09-29 13:20:00.0	2571	1.305	302.1	672.5	35.54	41.58	25.29
2018-09-29 13:30:00.0	2572	1.305	302.1	739.2	35.32	40.77	25.63
2018-09-29 13:40:00.0	2573	2.119	302.5	733	35.3	40.56	25.95
2018-09-29 13:50:00.0	2574	1.643	311	739.2	35.82	41.63	26.27
2018-09-29 14:00:00.0	2575	1.41	87.20	739.2	36.02	42.15	26.58
2018-09-29 14:10:00.0	2576	1.923	331.4	548.4	36.16	42.89	26.94
2018-09-29 14:20:00.0	2577	2.167	309.5	224.1	33.45	0.567	27.24
2018-09-29 14:30:00.0	2578	3.509	298	246.4	33.01	0.54	27.94
2018-09-29 14:40:00.0	2579	3.218	300.6	385.7	32.69	0.54	28.11
2018-09-29 14:50:00.0	2580	2.984	301.3	296.1	32.47	23.46	28.23
2018-09-29 15:00:00.0	2581	3.794	303.1	269	32.12	98.8	28.3
2018-09-29 15:10:00.0	2582	3.64	308.5	299.1	32	98.8	28.36
2018-09-29 15:20:00.0	2583	2.925	302.5	269	32.12	98.8	28.3
2018-09-29 15:30:00.0	2584	3.492	310.7	391.3	32	98.8	28.36
2018-09-29 15:40:00.0	2585	3.684	309.1	276.6	31.74	98.8	28.4

Şekil 3. Tesis edilen sensörler ve hava istasyonundan alınan bilgiler

İletken üzerine tesis edilen sensörlerden alınan hat akımı değerleri dağıtım şebekesine ait analizörlerden alınan değerler ile doğrulanırken, iletken yüzey sıcaklığı ise termal kamera ölçümleri ile doğrulanmıştır.

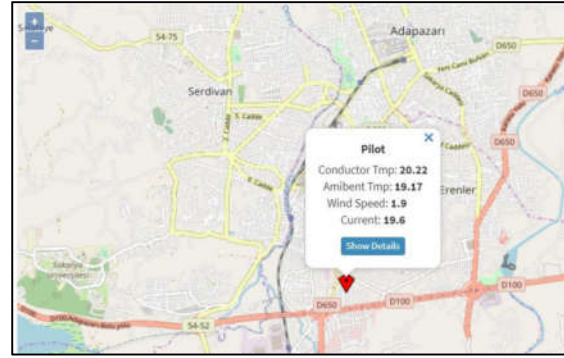


Şekil 4. Tesis edilen sensörler ve hava istasyonundan alınan bilgiler

Sahaya tesis edilen tüm sensörler ve diğer donanımlar aracılığı ile dinamik hat yüklenmesinin hesaplanmasına yönelik parametreler uzaktan erişim yoluyla elde edilmiş, elde edilen verilerin doğrulanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiş ve veriler kullanılarak hattın dinamik yüklenme değerinin sürekli olarak hesaplandığı bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem, bir internet arayüzü aracılığı ile sürekli olarak erişilebilen bir yapı haline getirilmiştir.

Arayüzde mevcut harita üzerinde uygulama yapılan lokasyona ait ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, iletken sıcaklığı ve akım gibi değerler ön izlenebilmekte ve

detaylı değerlendirme için lokasyon seçimi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 5. İncelenecek noktanın arayüz üzerinde seçimi

Ölçülen değerlere ait ön izlemenin yanı sıra, ölçülen değerler belirli bir tarih aralığı için tablo halinde de kullanıcıya sunulmaktadır.

CreatedDate	Rüzgar Hızı	Rüzgar Yönü	Solar Enerji	Ortam Sıcaklığı
27-01-2018 22:50:00	0.326	65.72	-1.828	14.99
27-01-2018 23:00:00	0.34	65.28	-1.962	17.47
27-01-2018 23:30:00	0	60.83	-2.295	16.37
27-01-2018 23:00:00	0.197	63.74	-2.284	16.14
27-01-2018 23:10:00	0.413	65.75	-2.403	15.8
27-01-2018 23:00:00	0.266	63.8	-2.587	15.36
27-01-2018 22:50:00	0.572	66.7	-2.542	14.82
27-01-2018 22:40:00	0.636	67.55	-2.66	17.17
27-01-2018 22:30:00	0.599	67.44	-2.754	18.87
27-01-2018 22:20:00	0.321	65.23	-2.848	17.12

Şekil 6. Ölçülen değerlerin tablo halinde gösterimi

Bu değerler ile hesaplanan dinamik yüklenmesi değeri grafik üzerinde de gösterilebilmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışma içerisinde belirlenen bir pilot fider için tesis edilen sensörler ve hava istasyonundan elde edilen bilgiler ile fiderin dinamik yüklenme değeri hesaplanmıştır. Dinamik hat yüklenmesinin sürekli şekilde hesaplanabilmesi ve takip edilebilmesi için bir arayüz geliştirilmiştir. Elde edilen veriler ile hesaplanan sonuçlar incelendiğinde 477 MCM karakteristiğe sahip pilot fiderde çevresel koşullara bağlı olarak hattın dinamik akım taşıma kapasitesinin, sabit değerine göre yaklaşık 1.8 kata kadar arttığı, ancak soğumayı sağlayan çevresel etkenlerin zayıflamasıyla dinamik kapasitenin, sabit değer altına da düşebildiği görülmüştür.

Gerçekleştirilen çalışmalar ile, şebekede meydana gelebilecek acil durumlarda kritik yüklerin beslenebilmesi için ihtiyaç duyulabilecek fiderlerin atıl kapasitesinin dinamik hat yüklenmesi çalışmaları ile daha verimli şekilde kullanılabileceği, ancak dinamik kapasitenin çevresel şartlardan etkilenmesi sebebiyle her zaman sabit kapasiteden daha yüksek bir kapasite değeri sunmadığı ve dolayısıyla bu sistemlerde hat yüklenmesinin sürekli olarak takip edilmesi gerektiği görülmüştür.



Şekil 7. Ölçülen değerler ile hesaplanan hat yüklenmesi değerlerinin grafik üzerinde gösterimi

6. Teşekkür

“Acil Durum Senaryoları Altında Çalışan Dağıtım Şebekelerinin İşletilmesinde Olasılıksal Risk Yönetimine Bağlı Algoritma Geliştirilmesi” isimli Ar-Ge projesi kapsamında verdiği desteklerden dolayı T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’na teşekkürlerimizi sunarız.

7. Kaynaklar

- [1] Wijethunga, A.H., Wijayakulasooriya J.V., Ekanayake J.B., De Silva, N. "Conductor Temperature Based Low Cost Solution for Dynamic Line Rating Calculation of Power Distribution Lines", *IEEE 10th International conference on industrial and information systems*, 2015, pp. 128-133.
- [2] Vinklers, J., Chokani, N., Abhari, R.S. "Improved Integration of European Renewables Using Dynamic Line Rating in Switzerland", *13th International conference on the European energy market*, 2016, pp. 1-5.
- [3] Davis, M.W., "A New Thermal Rating Approach: The Real Time Thermal Rating System for Strategic Overhead Conductor Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-96, no. 3, 1977
- [4] Adapa, R., Douglass, D.A., "Dynamic Thermal Ratings: Monitors and Calculation Methods", *Inaugural IEEE PES conference and exposition in Africa*, 2005, pp. 163-167.
- [5] Deb, A.K., *Power line ampacity system: theory, modeling, and applications*, Boca Raton: CRC Press, 2000.
- [6] IEEE Standard for calculating the current-temperature relationship of bare overhead conductors, IEEE Std 738-2013, 2013.