

Yüksek Gerilimli Doğru Akım Bağlantı Hattının Çok Bölgeli Güç Sisteminde Yük Frekans Kontrolüne Etkileri

Effects of High Voltage Direct Current Transmission Lines on Load Frequency Control in a Multi Area Power System

Mahmut Temel ÖZDEMİR¹, Süleyman YILDIZ²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi
mto@firat.edu.tr

²Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Muş Alparslan Üniversitesi
s.yildiz@alparslan.edu.tr

Özet

Bu çalışmada çok bölgeli bir güç sisteminde GKD-YGDA bağlantı hattının yük frekans kontrolüne etkisi incelenmiştir. Güç elektroniğindeki gelişmeler güç sistemlerine de katkı sağlayacaktır. Bunlardan en önemlisi sistem kontrol ve kararlılığına olan etkisidir. YGDA iletim hatları sistem frekansının kontrolünde iyileştirmeler sağlayacaktır. Yapılan bu çalışma, iki ana bölümden yapılandırılmıştır. İlki dört bölgeli bir güç sisteminin matematiksel denklemleri verilerek modeli oluşturulmuş ve temel elemanları hakkında bilgi verilmiştir, ikinci bölümde ise yük frekans kontrolüne YGDA iletim sisteminin etkileri üzerinde durulmuştur. Yükteki bir değişim sonucunda ortaya çıkan frekans hatasını yok edecek optimum kontrolör kazançları PSO ile tespit edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak ISE kullanılmıştır. Ayrıca, YG'li AA/DA iletim sistemlerinde temel frekans bileşenine senkronizasyonu sağlayan PLL ve frekans ölçümlerinin sisteme etkileri de incelenmiştir. Sonuçlar üç farklı senaryo ile elde edilmiştir. İlki sadece YGAA'lı hat bağlantılı, ikincisi YGAA ve buna paralel YGDA bağlantılı hatlı, son olarak ise YGAA ve buna paralel bağlı ve PLL'li YGDA bağlantılı modeller Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur.

Abstract

In this study, the effect of VSC-HVDC connection line to load frequency controller was investigated in multi-area power system. The developments in power electronics will have benefits for power systems. The most important of those benefits is the effect for system control and stability. HVDC lines will provide new regulations in the control of frequency. This study has two main sections. In the first section, the equations of a four-area power system was given and its model was obtained. In the second section, the effects of HVDC lines on the frequency control were mentioned. Optimum control gains that will remove the frequency error, which is a result of change in the load, were detected with PSO. ISE was used as a cost function. Moreover, frequency measurements and PLL that provides synchronization for basic frequency component in HV AC/DC lines were studied. The results were obtained with three scenarios. First scenario is only HVAC line, second one is HVAC/HVDC lines and the last one is HVAC and HVDC with

PLL. HVDC line models were created in Matlab/Simulink environment.

1. Giriş

Otomatik Üretim Kontrol (AGC) tarafından düzenlenen yük-frekans kontrolünün temel iki görevi vardır. Birincisi, üretilen aktif gücün talebe göre ayarlayıp bu sayede frekans değerini sabit tutmaktır. Yük-frekans kontrolünün ikinci görevi de işletim maliyetlerini düşürmek için talep edilen yükü enterkonnekte güç sistemleri arasında paylaştırarak dengeli bir üretim yapılmasını sağlamaktır.

Güç sistemlerinde frekans ve gerilim, güç kalitesini belirleyen önemli iki parametredir. Birbirine etki eden bu iki parametreden frekans daha baskındır ve önemlidir[1]. Bir güç sistemi birçok alt alanın birlikte çalışması ile meydana gelir. Bu alanların herhangi birinde meydana gelecek bir güç (arz ya da talep) değişimi, bağlantı halinde olan diğer alanları da frekans ve güç akışı yönünden etkilemektedir. Ayrıca, güç sistemine bağlı alanlar arasındaki bağlantı hattının karakteristiği, frekans değişimini etkileyen diğer bir unsurdur. Güç sisteminin frekansında meydana gelen değişim belirlenen sınırları aştığında, güç sisteminde ciddi kararsızlık problemlerine, sisteme bağlı santrallerin durmasına ve daha ileri safhada ise sisteminin çökmesine (black-out) neden olabilmektedir. Böyle bir durumda sistemden beslenen bölge enerjisiz kalacak ve çok büyük ekonomik kayıplar oluşacaktır. 2015 yılında Türkiye'de 77 milyon, 2014 yılında Bangladeş'te 150 milyon ve 2012 yılında Hindistan'da 620 milyon kişiyi etkileyen sistem çökmeleri bu duruma örnek olarak gösterilebilir[2].

Otomatik üretim kontrolü ile ilgili ilk çalışma Cohn tarafından yapılmıştır[3]. Bu tarihten beri, etki alanı ve sebep olduğu ekonomik kayıpları da dikkate alındığında araştırmacılar için çok önemli bir konu olarak süre gelmiştir. [3-27]. Üretilen elektrik enerjisinin sisteme dahil olma gerilimi, statik üretim sistemlerinin yaygınlaşması, güç elektroniğindeki hızlı gelişmeler dünya genelinde güç sistemlerinde önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Türkiye de bu gelişmelerden ve değişimlerden etkilemiş ve etkileyecektir[2]. Güç elektroniğindeki gelişmeler, gelecekte YGDA iletim hatlarının

güç sisteminin etkinliğini ve güvenilirliğini arttırmak için önemli katkılar sunacaktır[5-8].

Geleneksel YGAA enerji iletim sistemleri, özellikle senkronize olmamış bölgeler arasındaki güç akışını sınırlar[9]. YGAA iletim sistemlerinin sınırlamalarına uzun iletim hatlarındaki ferranti etkisi, yer altı kablolarındaki kapasitif etki, hat indüktansı ve güç sistemlerinin kararlılık sınırları örnek olarak verilebilir[9-10]. Ayrıca iletim hatlarının boyu arttıkça aktif güç aktarma kabiliyetleri azalmaktadır. [11].

Öte yandan, YDA iletim sistemi YAA sistemlerindeki mevcut problemlere çözüm sağlar. Böylece sistemin kararlılık sınırları genişler [9-10]. GKD YDA'lı sistemler, zayıf şebeke ve tam senkronize olmamış bölgeler için daha iyi ve sağlam bağlantı çözümü sağlar. Her iki yönde de güç aktarabilen GKD daha iyi bir güç akışı sağlayarak etkin bir gerilim kontrolü sağlar[12-15].

Kararlı çalışan bir güç sistemi için frekansın sabit kalması şarttır. Frekansın sabit kalması ise ancak güç dengesiyle mümkün olur. Güç dengesinden kastedilen, üretilen aktif güç toplamının sistemdeki kayıplara, sistem aktif yüklerine ve bağlantı hatlarıyla aktarılan güç toplamlarına eşit olmasıdır. Bu eşitlik sağlanmadığı takdirde yani üretilen güçle tüketilen güç arasında dengesizlik olduğunda frekans değerinde de artmalar ya da azalmalar meydana gelir. Üretilen enerji fazla ise frekans değeri artacak, tüketilen enerji fazla ise frekans değeri azalacaktır. Bununla birlikte bir enterkonnekte sisteme bağlı güç sistemleri arasındaki bağlantı hatlarında meydana gelen güç değişimleri de frekans olumsuz etkiler. Öyle ki bu değişimler frekansa bağlı çalışan cihazların zarar görmesine hatta tüm güç sisteminin çökmesine bile neden olabilir.

Bu çalışmada, YAA iletim hattı ile birbirine bağlı alanların oluşturduğu bir güç sisteminde AA iletim hattına paralel bir YDA iletim hattının sisteme etkisi incelenmiştir. Bu amaçla dört bölge bir güç sistemi modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde üç farklı durum göz önüne alınmıştır. Bunlardan ilki YAA iletim hattına paralel bağlı PLL'li YDA bağlantılı durum, ikincisi YAA iletim hattına paralel bağlı PLL'siz YDA bağlantılı durum son durum ise sade YAA iletim hatlı durumdur. Bu durumlar PSO optimizasyon algoritmasına göre optimize edilmiş ve bu optimizasyondan elde edilen sonuçla sistemde yerine konularak durumların sistem üzerine etkileri gözlenmiştir.

2. Dört Bölge Güç Sistemi Modeli

Dönen makineli bir enerji üretim santralinde, potansiyel/kinetik enerji, türbinler vasıtası ile mekanik enerjiye ve sonra da mekanik enerji, generatörlerde elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu prensibe ait basitleştirilmiş hareket denklemi:

$$T_m - T_e = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

şeklinde yazılır. Burada T_m , mekanik momenti, T_e yük momentini, J atalet momentini ve ω ise açısal hızı ifade eder.

Birbirlerine bağlantı hattı ile bağlı alanlar enterkonnekte güç sistemini meydana getirirler. Her alan kendi kullanıcılarına enerji sağlar ve alanları birbirine bağlayan bağlantı hatları, alanlar arası güç akışına izin verir. Bu nedenle bir alanda ani

yük değişimi olduğunda, diğer alanlardaki frekans değerleri ile bağlantı hatlarının güç değişim değerleri etkilenir. Kontrolör, sistemi istenilen sürekli durum değerine geri getirebilmesi için her bir alanın geçici hal durumu hakkında bilgiye ihtiyaç duyar. Böylece sistemin frekans değerini istenilen sürekli durum değerine geri getirebilir. İki ayrı bölgeyi birbirine bağlayan hatlarda meydana gelen kayıplar ihmal edilirse bağlantı hattındaki güç şu şekilde yazılabilir:

$$P_{line_aa_ij} = \frac{|V_i| \cdot |V_j|}{X_{ij}} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (2)$$

Burada, V_i ve V_j sırası ile i ve j . bölge gerilimlerinin genliğini, δ_i ve δ_j faz açılarını ve X_{ij} ise bağlantı hattı empedansını ifade eder. Her bir bölge için faz açısı değişimi,

$$\Delta\delta = 2\pi \int \Delta f dt \quad (3)$$

şeklinde yazıldığında bölgeler arasındaki güç değişimi

$$\begin{aligned} \Delta P_{ij} &= \frac{|V_i| \cdot |V_j|}{X_{ij}} \cos(\delta_i - \delta_j) (\Delta\delta_i - \Delta\delta_j) \\ &= T_{ij} (\Delta\delta_i - \Delta\delta_j) \end{aligned} \quad (4)$$

olacaktır. Hattın senkronize edici moment katsayısı;

$$T_{ij} = \frac{|V_i| \cdot |V_j|}{X_{ij}} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. Moment katsayısı, denklem 4'te yerine yazıldığında bağlantı hattı güç değişimi,

$$\Delta P_{ie_aa_ij} = T_{ij} (\Delta\delta_i - \Delta\delta_j) \quad (6)$$

olacaktır.

Sistemdeki i . alanda meydana gelen Δf_i frekans sapmasına bağlı alan kontrol hatası (ACE) aşağıdaki gibi olur.

$$P_{line_da_ij} = \frac{K_{DC}}{1 + sT_{DC}} (\Delta f_i - \Delta f_j) \quad (7)$$

$$P_{line_aa_ij} = \frac{K_{DC}}{1 + sT_{DC}} (\Delta f_i - \Delta f_j) \quad (8)$$

$$P_{line_ij} = P_{line_ij_aa} + P_{line_ij_da} \quad (9)$$

$$ACE_i = \Delta P_{ie_ij} + B_i \cdot \Delta f_i \quad (10)$$

Burada ΔP_{ie_ij} bağlantı hattı güç değişimidir ve genlikleri

eşit ama zıt işaretlidir ($\Delta P_{ie_ij} = -\Delta P_{ie_ji}$).

YDA bağlantı hattının dinamik analizini ortaya koymak için elde edilen model Şekil 1'de verilmiştir. Bu kontrol yapısına tamamlayıcı güç modülatör kontrolü denir [16]. Bu kontrolör, Ç hatlarından geçen gücü hattın her iki yanındaki frekans değişimlerine göre modüle eder. Bir benzetim sonucunun doğruluğu modelleme sırasında yapılan ihmallere ve doğrusalılaştırmalarla yakından ilgilidir. Dolayısı ile yük frekans kontrol modellerinde çok dikkate alınmayan PLL ölçüm etkisi göz önüne alındığında daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. Özellikle güç elektroniği temelli üretim ve Ç iletim hatlarının sayısının artması ile PLL etkileri son derece önemli hale gelmektedir ve bunun kontrol modellerine dahil edilmesi gereklidir. Bu hususlar göz önüne alındığında yapılan bu çalışmada PLL etkisi de göz önüne alınacak modeller geliştirilmiştir.

PLL'in yapısında faz dedektörü (PD), döngü filtresi (LF) ve gerilim kontrollü osilatör (VCO) vardır. PD ve VCO'nun kapalı çevrim kazançları $k_{pd} = k_{vco} = 1$ alındığında, açık çevrim transfer fonksiyonu:

$$F_{ol}(s) = PD(s)VCO(s) = \frac{sk_p + \frac{k_p}{T_i}}{s^2} \quad (11)$$

Bu yüzden kapalı çevrim transfer fonksiyonu:

$$H(s) = \frac{F_{ol}(s)}{1 + F_{ol}(s)} = \frac{sk_p + \frac{k_p}{T_i}}{s^2 + sk_p + \frac{k_p}{T_i}} \quad (12)$$

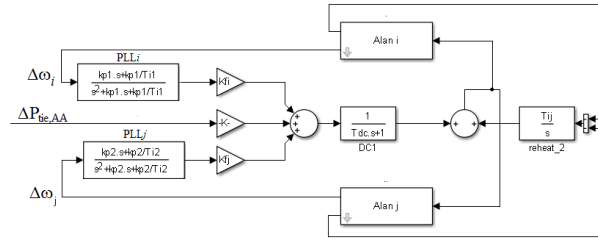
aşağıdaki gibi ikinci dereceden normalize transfer fonksiyonu şekilde yazılabilir:

$$H_{PLL}(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (13)$$

burada:

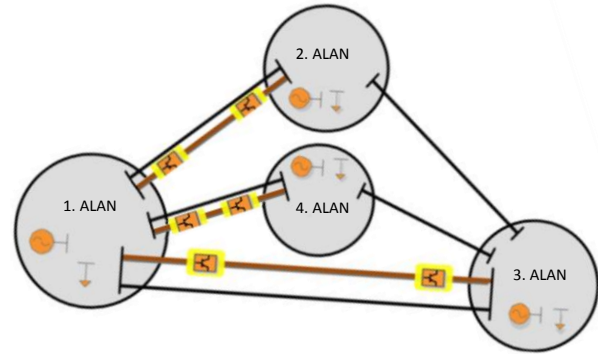
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_p}{T_i}} \text{ ve } \zeta = \frac{\sqrt{k_p T_i}}{2}$$

olarak yazılır ve PLL elde edilir.



Şekil 1. Tamamlayıcı güç modülör yapısı

Oluşturulan dört bölgeli güç sisteminin gösterimin zorluğu ve karmaşası göz önüne alındığında sistemin sadece topolojisi Şekil 2'de verilmiştir.

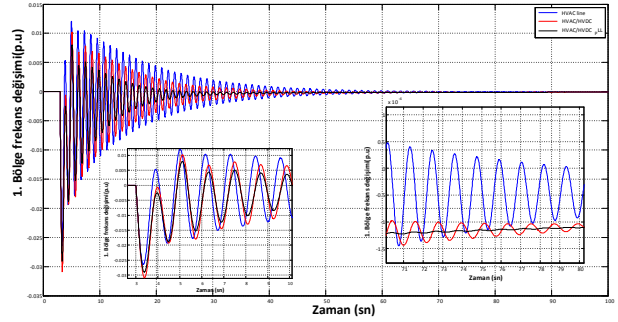


Şekil 2. Dört bölgeli bir güç sisteminin bağlantı topolojisi

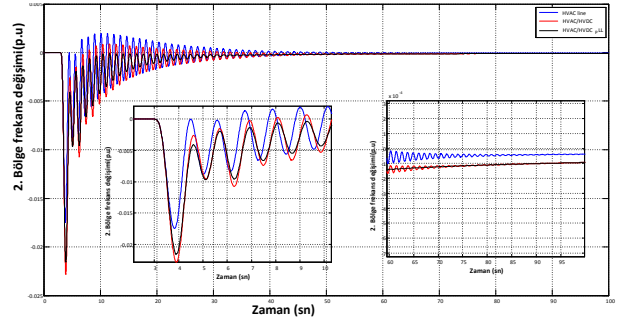
3. Benzetim Sonuçları

Bu bölümde yük değişimlerin sonucunda sistemde meydana gelecek frekans değişimine Ç bağlantı hattının etkisini gösterebilmek amacı ile olası çalışma koşullarına karşılık gelen

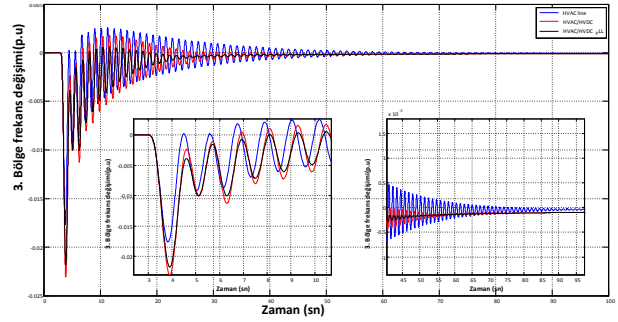
bir yük değişimi ile 3 farklı durum için sistem çalıştırılmıştır. Model Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur. $T=2$. s'de $\Delta P_{L1} = 0.03$ pu'luk bir yük değişimi uygulanmıştır. PSO ile optimize edilerek aşağıdaki kazançlar elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak $J = ISE = \int_0^t \sum_0^i ACE_i^2 dt$ kullanılmıştır.



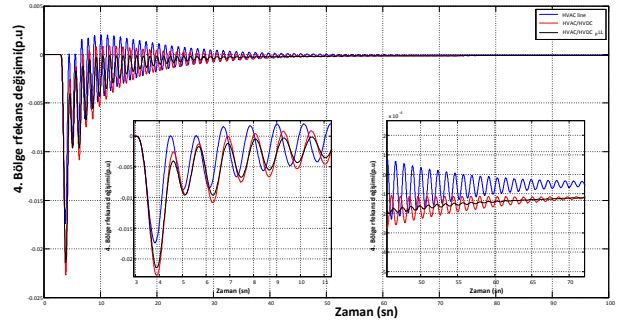
Şekil 3. Bölge 1'deki frekans değişimi



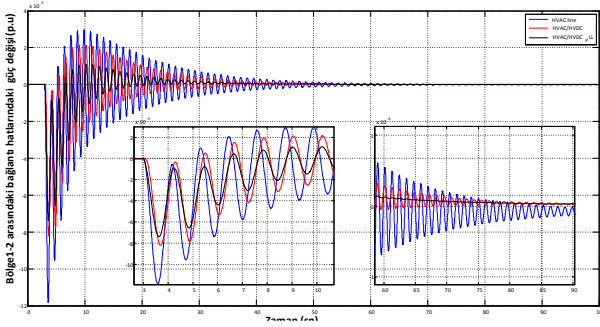
Şekil 4. Bölge 2'deki frekans değişimi



Şekil 5. Bölge 3'deki frekans değişimi



Şekil 6. Bölge 4'deki frekans değişimi



Şekil 7. 1. ve 2. Bölgeleri arasındaki bağlantı hatlarındaki güç değişimi

Şekil 3'de birinci bölgede meydana gelen yük değişimi sonucunda bölge frekans değişimi görülmektedir. Grafiklerde mavi ile gösterilen değişim sadece YGAA'lı bağlantı hattının olduğu durumu, kırmızı renkle gösterilen değişimler YGAA ve YGDA'lı bağlantı hattını, siyah renkli gösterim ise YGAA ve PLL'li YGDA bağlantı hattını ifade etmektedir. Şekil 4,5 ve 6'da diğer üç bölgedeki frekans değişimleri gösterilmiştir. Şekil 7'de ise sadece 1. bölge ile 2. bölge arasında DC+AC bağlantı hatlarındaki toplam güç değişimleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre YGDA bağlantı hattının güç sistemleri arasında meydana gelen güç salınımlarının ve bölgelerdeki frekans salınımlarını azaltmakta etkili olduğu söylenebilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada PLL içeren bir YGDA bağlantı hattının çok bölgeli güç sisteminin otomatik üretim kontrolüne olan etkisi incelenmiştir. Geleceğin modern güç sistemlerinde YGDA iletim hatlarının olumlu/olumsuz etkilerini göstermek için bu çalışma önem taşımaktadır. Elde edilen optimizasyon sonuçlarına sistemin zaman domain benzetimleri göz önüne alındığında açıkça görülmüştür ki PLL'li ve PL'siz YGDA hattının sistemde meydana gelen salınımları daha kısa sürede söndürmektedir. Ayrıca, YGDA hatlarında kullanılan PLL'lerde ortaya çıkabilecek bir problem sistemi kararsızlığa götürebilecektir. Bu nedenle AA/DA iletimli güç sistemlerinde PLL'in dinamik modelini kullanmak daha gerçekçi olacaktır.

Ekler

YGAA/YGDA bağlantı hatlı dört bölgeli güç sistemine ait parametreler [16]:

$Kp1 = 76$ (Hz/pu), $Kp2 = 142$ (Hz/pu), $Kp3 = 140$ (Hz/pu),
 $Kp4 = 115$ (Hz/pu), $Tp1 = 14.5$ s, $Tp2 = 19.1$ s, $Tp3 = 9.40$ s,
 $Tp4 = 9.12$ s, $R1=R2=R3=R4 = 3$ (Hz/pu), $B1 = 0.416$ (pu/Hz),
 $B2 = 0.377$ (pu/Hz), $B3 = 0.378$ (pu/Hz), $B4 = 0.388$ (pu/Hz),
 $Tt1 = Tt2 = Tt3 = Tt4 = 0.32$ s, $Tg1 = Tg2 = Tg3 = Tg4 = 0.08$ s,
 $TDC = 0.1$ s, $T12 = 0.029$ s, $T13 = 0.143$ s, $T14 = 0.0099$ s,
 $T21 = 0.029$ s, $T23 = 0.0205$ s, $T31 = 0.143$ s, $T32 = 0.0205$ s,
 $T34 = 0.0089$ s, $T41 = 0.0099$, $T43 = 0.0089$ s.

$$\begin{aligned} apf1 &= 0,75, & apf2 &= 1 - apf1 = 0,25 \\ apf3 &= 0,5, & apf4 &= 1 - apf3 = 0,5 \\ apf5 &= 0,75, & apf6 &= 1 - apf5 = 0,25 \\ apf7 &= 0,5, & apf8 &= 1 - apf7 = 0,5 \end{aligned}$$

PSO ile optimize edilen kazançlar ise aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} Kf1 &= 0.1694, & Kf2 &= 0.0854, & Kf3 &= 0.0377, & Kf4 &= 0.2269, \\ Kf5 &= 0.0214, & Kf6 &= 0.0456, & Kac &= 0.1293, & ksi &= 0.0500, \\ wn &= 0.0500, & Ti &= 2, & kp &= 0.0050, & kp1 &= 0.0050, & kp2 &= 0.0050, \\ Ti1 &= 2, & Ti2 &= 2, & Ki1 &= 0.3962, & Ki2 &= 0.1024, & Ki3 &= 0.2948, \\ Ki4 &= 0.0104 \end{aligned}$$

5. Kaynaklar

- [1] Kundur, P. (1994). Power system stability and control (Vol. 7). N. J. Balu, & M. G. Lauby (Eds.). New York: McGraw-hill.
- [2] Özdemir, M.T., Öztürk, D., Eke, İ., Çelik, V., Lee, K.Y. (2015). Tuning of Optimal Classical and Fractional Order PID Parameters for Automatic Generation Control Based on the Bacterial Swarm Optimization. IFAC-PapersOnLine, 48(30), 501-506.
- [3] Cohn, N. (1967). Considerations in the regulation of interconnected areas. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, (12), 1527-1538.
- [4] Wang, Y., R. Zhou, and C. Wen. "Robust load-frequency controller design for power systems." IEE Proceedings C-Generation, Transmission and Distribution. Vol. 140. No. 1. IET, 1993.
- [5] Patra S.P., "Converting equipment in H.V.D.C. transmission", India IEE-IERE Proceedings, vol. 10, no. 1, 1972.
- [6] Al-Haiki Z.E. and Shaikh-Nasser A.N., "Power transmission to distant offshore facilities", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 47, no. 3, 2011.
- [7] Gemell B., Dorn J., Retzmann D. and Soerangr D., "Prospects of multilevel VSC technologies for power transmission", Proc. IEEE/PES T&D Conf. Expo, pp. 1-16, 2008.
- [8] Du C., Agneholm E. and Olsson G., "Comparison of different frequency controllers for a VSC-HVDC supplied system", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 23, no. 4, pp. 2224-2232, 2008.
- [9] Cuiqing D., Agneholm E. and Olsson G., "Use of VSC-HVDC for industrial systems having onsite generation with frequency control", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 23, no. 4, pp. 2233-2240, 2008.
- [10] Flourentzou N., Agelidis V.G. and Demetriades G.D., "VSC-based HVDC power transmission systems: An overview", IEEE Transaction on Power Electronic, vol. 24, no. 3, 2009.
- [11] Padiyar K.R., Facts Controller in Power Transmission and Distribution, 2009.
- [12] Sharma R., Rasmussen T.W., Jensen K.H. and Akamatov V., "Modular VSC converter based HVDC power transmission from offshore wind power plant: Compared to the conventional HVAC system", IEEE Electric Power and Energy Conference (EPEC), pp. 1-6, 2010.
- [13] Blasco-Gimenez R., Ano-Villalba S., Rodriguez-D'Erlee J., Morant F. and Bernal-Perez S., "Distributed voltage and frequency control of offshore wind farms connected with a diode-based HVdc link", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, no. 12, 2010.
- [14] Rahman Al Jowder F.A. and Ooi B.T., "VSC-HVDC station with SSSC characteristics", IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 19, no. 4, 2004.

- [15] Chen X., Sun H., Wen J., Lee W., Yuan X., Li N., et al., "Integrating wind farm to the grid using hybrid multi-terminal HVDC technology", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 47, no. 2, 2011.
- [16] Rakhshani, Elyas, Daniel Remon, and Pedro Rodriguez. "Effects of PLL and frequency measurements on LFC problem in multi-area HVDC interconnected systems." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 81 (2016): 140-152.
- [17] Sivaramakrishnan, A. Y., Hariharan M. V., and Srisailam M.C.. "Design of variable-structure load-frequency controller using pole assignment technique." International Journal of control 40.3 (1984): 487-498.
- [18] Tan, Wen. "Unified tuning of PID load frequency controller for power systems via IMC." IEEE Transactions on power systems 25.1 (2010): 341-350.
- [19] Ali, E. S., and S. M. Abd-Elazim. "Bacteria foraging optimization algorithm based load frequency controller for interconnected power system." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 33.3 (2011): 633-638.
- [20] Tan, Wen. "Tuning of PID load frequency controller for power systems." Energy Conversion and Management 50.6 (2009): 1465-1472.
- [21] Talaq, Jawad, and Fadel Al-Basri. "Adaptive fuzzy gain scheduling for load frequency control." IEEE Transactions on power systems 14.1 (1999): 145-150.
- [22] Pan, C-T., and C-M. Liaw. "An adaptive controller for power system load-frequency control." IEEE Transactions on Power Systems 4.1 (1989): 122-128.
- [23] Rerkpreedapong, Dulpichet, Amer Hasanovic, and Ali Feliachi. "Robust load frequency control using genetic algorithms and linear matrix inequalities." IEEE Transactions on Power Systems 18.2 (2003): 855-861.
- [24] Shayeghi H., Shayanfar H.A., Jalili A.. "Load frequency control strategies: A state-of-the-art survey for the researcher." Energy Conversion and management 50.2 (2009): 344-353.
- [25] Lobos, Tadeusz, and Jacek Rezmer. "Real-time determination of power system frequency." IEEE Transactions on Instrumentation and measurement 46.4 (1997): 877-881.
- [26] Özdemir, M.T., Öztürk, D., İki Bölgeli Güç Sisteminin Optikten Eşinlenen Optimizasyon Algoritması ile Optimal Yük Frekans Kontrolü, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD) 28-2, 57-66, 2016
- [27] Celik V., Özdemir M.T., Bayrak G., The Effects on Stability Region of the Fractional Order PI Controller for One-Area Time Delayed Load-Frequency Control Systems. Transactions of the Institute of Measurement and Control, DOI: 10.1177/0142331216642839