# Elektrocerrahi Analizörlerinin Doğrulanması
# Validation of Electrosurgical Analyzers

Hüseyin Okan Durmuş, Baki Karaböce, Mithat Özdingiş, Elif Başaran
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME), Medikal Metroloji Laboratuvarı, Kocaeli, Türkiye
huseyinokan.durmus@tubitak.gov.tr, baki.karaboce@tubitak.gov.tr, mithat.ozdingis@tubitak.gov.tr, elif.basaran@tubitak.gov.tr

***Özetçe*—Elektrocerrahi cihazları, ameliyat sırasında yüksek frekanslı elektrik akımını kullanan araçlardır. Bu cihazlar, dokuları kesmek, koagülasyon, ablasyon veya diğer cerrahi işlemleri yapmak için kullanılmaktadır. Ancak, bu cihazların doğru bir şekilde çalışması çok hayatidir. Elektrocerrahi analizörleri, bu cihazların doğru şekilde kalibrasyonunun yapılmasını sağlamaktadır. Böylece, elektrocerrahi üniteleri ameliyatlar sırasında güvenli bir şekilde kullanılabilmektedir. Bu çalışmada elektrocerrahi analizörlerinin kalibrasyonu ve doğrulama süreçleri detaylı olarak bir örnek üzerinden incelenecektir.**

***Anahtar Kelimeler —elektrocerrahi cihazları*; *elektrocerrahi üniteleri*; *elektrocerrahi analizörleri*; *ölçüm*; *test ve kalibrasyon*; *doğrulama*.**

***Abstract*— Electrosurgical devices are instruments that use high-frequency electric current during surgery. These devices are used to cut tissues, perform coagulation, ablation or other surgical procedures. However, it is vital that these devices work correctly. Electrosurgical analyzers ensure that these devices are accurately calibrated. Thus, electrosurgical units can be used safely during surgeries. In this study, the calibration and verification processes of electrosurgical analyzers will be examined in detail through an example.**

***Keywords —electrosurgical devices; electrosurgical units; electrosurgical analyzers; measurement; testing and calibration; verification.***

## I. GİRİŞ

Elektrocerrahi analizörleri, cerrahi müdahaleler sırasında kullanılan elektrocerrahi ekipmanların güvenilirliğini ve doğru çalışmasını sağlamak için kritik bir rol oynayan cihazlardır. Bu cihazlar, yüksek frekanslı elektrik akımı oluşturarak dokuların kesilmesi, koagülasyonu (pıhtılaştırma), ablasyonu ve diğer cerrahi işlemleri gerçekleştiren önemli araçlardır [1-2]. Elektrocerrahi analizörlerinin ve ünitelerinin doğrulanması süreci, bu ekipmanların doğru ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için izlenen bir dizi adımı içermektedir [3-4]. Bu adımlar, elektrocerrahi ekipmanların güvenli kullanımını sağlamak için hayati derecede öneme sahiptir. Elektrocerrahi cihazlarının yanlış kullanımının potansiyel risklerini azaltmak için, bu ekipmanların düzenli olarak test edilmesi ve kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir [5]. Bu sürecin titizlikle izlenmesi, cerrahi müdahalelerde güvenilirliğin ve hassasiyetin temelini oluşturmaktadır.

Elektrocerrahi analizörlerinin doğrulanması süreci, elektrocerrahi cihazların doğru çalışmasını sağlamakta ve cerrahi müdahalelerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesini garanti altına almaktadır. Sağlık sektöründe kalitenin ve güvenilirliğin sağlanması, hastaların güvenliği ve sağlık hizmetlerinin etkinliği açısından son derece önemlidir. Bu nedenle, elektrocerrahi analizörlerinin doğrulanması sürecine cihaz temelli hasarlardan kaçınmak için büyük önem verilmelidir. Çünkü bu sürecin titizlikle izlenmesi, insanlar üzerinde yapılacak cerrahi müdahalelerin güvenliği ve etkinliğini artırmaktadır.

Bu çalışmada, elektrocerrahi analizörlerinin kalibrasyonunun ve doğrulanmasının önemi vurgulanacak ve bu sürecin detayları açıklanacaktır. Elektrocerrahi analizörlerinin kalibrasyonunda kullanılan temel testler ve ölçüm cihazları ayrıntılı bir şekilde açıklanacak ve bu sürecin ölçüm sonuçları sunulacaktır. Ayrıca, elektriksel güç değerinin hesaplanması ve güç belirsizliğinin hesaplanması gibi konular da çalışmada detaylı bir şekilde verilecektir. Son olarak ise çalışmanın genel sonuçları ile analizör cihaz üretimi konusunda bir öneri getirilecektir.

## II. MALZEME VE YÖNTEM

Elektrocerrahi analizörlerinin kalibrasyonunda temel olarak fonksiyonel testler, sabit ve değişken yük testleri, tek kutuplu kesme akımı (monopolar cut current) testi, tek kutuplu koagülasyon akımı (monopolar coagulation current) ve çift kutuplu koagülasyon akımı (bipolar coagulation current) ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

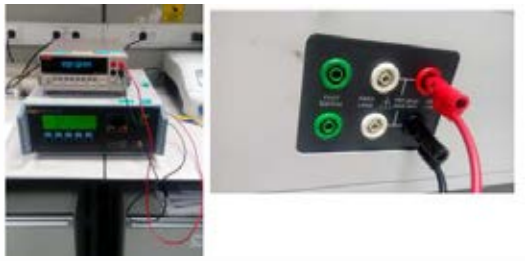
### *A. Fonksiyonel Testler*

Fonksiyonel testler; cihazın gereği gibi açılıp açılmadığı, kullanıcı arayüzü ve ekranın düzgün çalışıp çalışmadığı, ürün yazılımının sürümü (firmware version), soğutma fanının çalışıp çalışmadığı, seri ve paralel arayüzlerinin normal çalışıp çalışmadığı, veri bağlantısı sağlayıp sağlamadığı vb. çeşitli fonksiyonel testlerdir.

### *B. Sabit ve Değişken Yük Direnci Testleri*

Sabit yük direnci testi için cihaz üzerinde bulunan uygun girişler kullanılmakta ve sabit yük direnç değeri multimetre üzerinden okunarak kaydedilmektedir. Değişken yük direnci testi için elektrocerrahi analizörü üzerinde bulunan uygun değişken yük direnci girişleri kullanılmaktadır. Örneğin QA-ES II elektrocerrahi analizörünün yan tarafında kırmızı ve siyah renkli değişken yük (Variable Load) direnci girişleri bulunmaktadır. Değişken yük direnci ölçümü aşağıda Şekil 1'te gösterilmektedir.

979-8-3315-2981-9/24/$31.00 ©2024 IEEE



Şekil 1. Bir elektrocerrahi analizörünün değişken yük direnç bağlantısı

### C. *Elektrocerrahi Analizörlerinin Kalibrasyonunda Kullanılan Ölçüm Cihazları*

Elektrocerrahi analizörlerinin kalibrasyonunda multimetre, CONMED, RMS peak voltmetre, akım transformatörü, ayak ve el pedal komut verme kumandaları ve ilgili bağlantı kabloları kullanılmaktadır. Bu bildiride elektrocerrahi analizörünün kalibrasyonda kullanılan işlemlerde 14AGU051 seri nolu CONMED marka system 2450 model elektro cerrahi cihazı elektriksel güç kaynağı olarak, 101181 seri nolu Rohde & Schwarz marka URE 3 model RMS / Peak Voltmetre gerilim ölçer olarak ve 147801 seri nolu Pearson Electronics marka Pearson Current Monitor de akım transformatörü olarak kullanılmıştır. Ayrıca, ayak pedalı tek kutuplu kesme ve koagülasyon akımı ölçümlerinde, el pedalı ise çift kutuplu koagülasyon ölçümlerinde kullanılmaktadır.

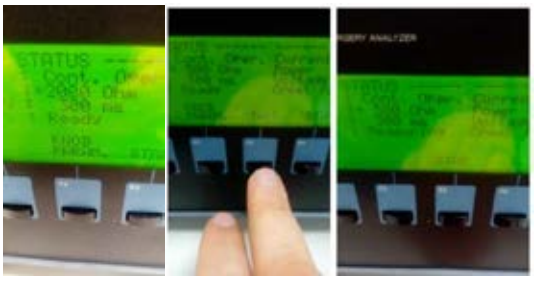
### D. *Tek Kutuplu Kesme Akımı Ölçümü (Monopolar Cut Current)*

Tek kutuplu kesme, cerrahi işlem sırasında doku kesme işlevini gerçekleştiren bir elektrik akımı kullanımı yöntemidir. Bu işlemde, cerrahi elektrot cihazın bir ucuna bağlanmakta ve doku üzerindeki kesme işlemi diğer uçta toplanan bir elektrot veya dispersive pad ile tamamlanmaktadır. Elektrocerrahi cihazın monopolar cut modunda kullanılması, cerrahi işlem sırasında dokuların kesilmesini sağlamaktadır [6,7]. Örneğin, bir cerrahi ameliyat sırasında cerrah, monopolar cut modunu kullanarak istenilen şekilde doku kesimi yapabilmektedir. Tek kutuplu kesme akımı testi için ölçüm düzeneği aşağıda Şekil 2'teki gibi kurulmaktadır.



Şekil 2. Tek kutuplu kesme akımı ölçümü

Bu ölçüm için ilk olarak ölçümü yapılmak istenilen yük direnç değeri ayarlanır. Örneğin QA-ES II'de F2 ile (KNOB PARAM.) Load'a gelinir. Ayar düğmesi ile gerekli direnç değeri ayarlanır ve ENTER'a basılır. Daha sonra F3 (START) tuşu ile ölçüm işlemi başlatılır. Aşağıda Şekil 3'te yük değerini ayarlama işlemi görülmektedir.



Şekil 3. Tek kutuplu kesme akımında yük değerinin ayarlanması

Şekil 4'de gösterildiği gibi CONMED elektro cerrahi cihazı elektriksel güç kaynağında "Kesim – Cut" değeri örneğin 50 W'a ayarlanır ve ayak pedalına (sarı renkli Cut/Blend pedalı) uzunca basılarak Rohde & Schwarz'dan mV olarak RMS değeri okunur ve bu değer kaydedilir. Daha sonra bu değer, akım transformatörünün katsayısı ile çarpılırarak akım değeri olarak değerlendirilmektedir. QA ES II cihazı üzerindeki Result bölümünden de akım (Current) ve Güç (Power) değerleri okunmakta ve bu değerler kaydedilmektedir. Daha sonra diğer ölçülmek istenilen tek kutuplu kesme akım (Monopolar Cut Current) değerleri için de aynı işlem tekrarlanarak test tamamlanmaktadır.



Şekil 4. Tek kutuplu kesme akımında ölçme işlemleri

### E. *Tek Kutuplu Koagülasyon Akımı (Monopolar Coagulation Current)*

Monopolar koagülasyon, cerrahi işlem sırasında kanamayı durdurmak veya doku üzerinde kontrollü bir yanma oluşturmak için kullanılan bir elektrik akımıdır [2]. Bu işlemde, elektrocerrahi cihazın bir ucu cerrahi bölgeye uygulanmakta ve diğer uç, hastanın vücudundan elektrot yerine doku altına yerleştirilen bir dispersive pad üzerinde bulunmaktadır. Elektrocerrahi cihazın tek kutuplu koagülasyon (monopolar coagulation) modunda kullanılması, cerrahın kanamayı durdurmasına veya doku üzerinde kontrollü bir yanma oluşturmasına yardımcı olmaktadır. Örneğin, cerrahi sırasında bir kan damarı koagüle edilerek (pıhtılaştırılarak) kanamanın durdurulması sağlanabilmektedir.

Tek kutuplu koagülasyon akım testi için ölçüm düzeneği yine Şekil 2'teki gibidir. Aynı şekilde önce istenilen yük değeri ayarlaması yapılmaktadır. Ancak bu sefer CONMED elektro cerrahi cihazı elektriksel güç kaynağında "Koagülasyon – Coag" değerinin ayarlanması gerekmektedir. Şekil 5'de gösterildiği gibi Cut/Blend pedalı yerine mavi renkli Coag pedalına uzunca basılarak Rohde & Schwarz'dan mV olarak RMS değeri okunmakta ve bu değer kaydedilmektedir. Yine daha sonra bu değer, akım transformatörünün katsayısı ile çarpılırarak akım değeri olarak değerlendirilmekte ve ölçümü yapılan elektrocerrahi cihazı üzerinden akım (Current) ve Güç (Power) değerleri okunarak kaydedilmekte ve diğer ölçülmek istenilen tek kutuplu koagüasyon akım (Monopolar Coag Current) değerleri için de aynı işlem tekrarlanarak test tamamlanmaktadır.



Şekil 5. Tek kutuplu koagülasyon akımında ölçme işlemleri

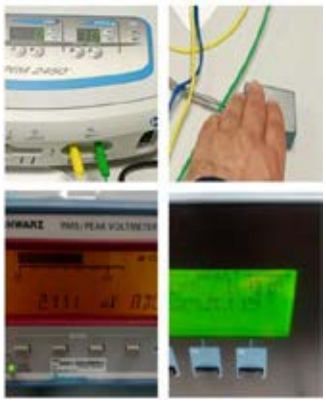
*F. Çift Kutuplu Koagülasyon (Bipolar Coagulation)*

Bipolar koagülasyon, elektrik akımının cerrahi elektrotlar arasında doku üzerinde lokalize bir etki oluşturmak için kullanıldığı bir tekniktir. Bu işlemde, elektrocerrahi cihazın iki ucu cerrahi bölgeye uygulanmakta ve elektrik akımı sadece bu iki uç arasındaki dokuda etki yapmaktadır [6-8]. Elektrocerrahi cihazın çok kutuplu koagülasyon (bipolar coagulation) modunda kullanılması, cerrahi sırasında hassas bir şekilde kanama kontrolü sağlamak veya küçük dokuların koagüle edilmesini sağlamak için kullanılabilir. Örneğin, cerrah bir ameliyat sırasında belirli bir alandaki kanamayı kontrol etmek için çok kutuplu koagülasyon (bipolar coagulation) modunu kullanabilir. Çift Kutuplu Koagülasyon testi için ölçüm düzeneği Şekil 6'daki gibi kurulmaktadır.



Şekil 6. Çift kutuplu koagülasyon akımı ölçümü

Aynı şekilde önce istenilen yük değeri ayarlaması yapılmaktadır. Ancak bu sefer CONMED elektro cerrahi cihazı elektriksel güç kaynağında "Bipolar" değerinin ayarlanması gerekmektedir. Şekil 7'de gösterildiği gibi ayak pedalı yerine el pedalına uzunca basılarak Rohde & Schwarz'dan mV olarak RMS değeri okunmakta ve bu değer kaydedilmektedir. Yine daha sonra bu değer, akım transformatörünün katsayısı ile çarpılırarak akım değeri olarak değerlendirilmekte ve ölçümü yapılan elektrocerrahi cihazı üzerinden akım (Current) ve Güç (Power) değerleri okunarak kaydedilmekte ve diğer ölçülmek istenilen çift kutuplu koagüasyon akım (Bipolar Coag Current) değerleri için de aynı işlem tekrarlanarak test tamamlanmaktadır.



Şekil 7. Çift kutuplu koagülasyon akımında ölçme işlemleri

*G. Elektriksel Güç Değerinin Hesaplanması*

Elektriksel güç ($P_E$) değeri, aşağıda formül (1)'de verildiği gibi ölçülen direnç (R) ve elektrik akımının (I) karesinin çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$P_E = V \cdot I = I^2 \cdot R \quad (1)\ [9]$$

*H. Güç Belirsizliğinin Hesaplanması*

Elektrik güç ölçüm belirsizliği, Akım (I) ve direnç (R) ölçümlerinden elektrik gücündeki (W) belirsizliği hesaplamak için (1)'de verilen formülü kullanılmaktadır Burada I ve R'deki belirsizliklere dayanarak P'deki belirsizlik bulunmaktadır. Belirsizliği bir çarpım veya bölüm aracılığıyla elde etmek için formül şu şekilde yazılacak:

$$\left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 = \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 \quad (2)$$

Bu formülde; ΔP: güç belirsizliğini, ΔI: akım belirsizliğini, ΔR: direnç belirsizliğini, I: ölçülen akımı ve R: ölçülen direnci temsil etmektedir. Elektriksel güç belirsizliğini bulmak için formülü yeniden düzenlersek

$$\Delta P = P \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \quad (3)$$

Sonuç olarak akım (I) ve direnç (R) değeri ölçülmekte, $P=I^2 \cdot R$ formülü kullanılarak güç (P) değeri hesaplanmakta, akım (ΔI)

ve dirençteki (ΔR) belirsizlikler önceden hesaplanarak, elde edilen değerler ΔP formülüne yerleştirilip güç belirsizliği hesaplanmaktadır.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir önceki bölümde anlatılan temel bilgiler eşliğinde aşağıda kalibrasyonu yapılmış bir elektrocerrahi analizörünün sonuçları Tablo 1 ve Tablo 7 arasında verilmektedir.

**Tablo 1.** Sabit ve değişken direnç ölçüm sonuçları

| Çıkış | Referans direnç Ω | Ölçülen direnç Ω | Hata % | Tolerans |
|---|---|---|---|---|
| Sabit Direnç | 200,00 | 199,89 | -0,9 | ±%1 +1,0 Ω |
| Değişken Direnç | 10,00 | 9,91 | -0,5 | |
| | 50,00 | 49,77 | -0,3 | |
| | 100,00 | 99,71 | -0,2 | |
| | 120,00 | 119,72 | -0,2 | |
| | 160,00 | 159,68 | -0,2 | |
| | 200,00 | 199,64 | -0,2 | |

**Tablo 2.** Monopolar cut akım ve güç ölçüm sonuçları

| Yük direnci Ω | Uygulanan güç W | Referans akım mA | Hesaplanan güç W | Ölçülen akım mA | Ölçülen güç W | Akım Hata % | Tolerans (Akım) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 500 | 50 | 313,8 | 49,2 | 312,6 | 48,7 | -0,4 | ± (Okunanın %1'i + 5 mA) |
| 300 | 50 | 402,1 | 48,5 | 400,9 | 48,1 | -0,3 | |
| 300 | 100 | 570,7 | 97,7 | 568,7 | 96,7 | -0,4 | |
| 1500 | 100 | 194,4 | 56,7 | 194,5 | 56,6 | 0,1 | |
| 300 | 150 | 721,4 | 147,0 | 699,1 | 140,2 | -0,3 | |
| 300 | 200 | 811,7 | 197,7 | 809,0 | 195,7 | -0,3 | |

**Tablo 3.** Monopolar cut güç ölçüm belirsizliği

| Yük direnci Ω | Referans akım mA | Ölçülen güç W | Belirsizlik W |
|---|---|---|---|
| 500 | 313,8 | 48,7 | 0,2 |
| 300 | 402,1 | 48,1 | 0,2 |
| 300 | 570,7 | 96,7 | 0,4 |
| 1500 | 194,4 | 56,6 | 0,2 |

**Tablo 4.** Monopolar coagulation akım ve güç ölçüm sonuçları

| Yük direnci Ω | Uygulanan güç W | Referans akım mA | Ölçülen akım mA | Ölçülen güç W | Akım Hata % | Tolerans (Akım) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2000 | 1 | 20,3 | 20,3 | 0,8 | 0,2 | ± (Okunanın %1'i + 5 mA) |
| 1000 | 1 | 28,5 | 28,3 | 0,8 | -0,5 | |
| 600 | 1 | 36,3 | 36,1 | 0,8 | -0,6 | |
| 400 | 1 | 44,4 | 44,2 | 0,8 | -0,4 | |
| 300 | 3 | 97,2 | 96,7 | 2,8 | -0,5 | |
| 300 | 7 | 149,5 | 148,8 | 6,6 | -0,5 | |
| 300 | 12 | 195,6 | 194,6 | 11,3 | -0,5 | |

**Tablo 5.** Monopolar coagulation güç ölçüm belirsizliği

| Yük direnci Ω | Referans akım mA | Ölçülen güç W | Belirsizlik W |
|---|---|---|---|
| 2000 | 20,3 | 0,8 | 0,1 |
| 1000 | 28,5 | 0,8 | 0,1 |
| 600 | 36,3 | 0,8 | 0,1 |
| 400 | 44,4 | 0,8 | 0,1 |

**Tablo 6.** Bipolar coagulation akım ve güç ölçüm sonuçları

| Yük direnci Ω | Uygulanan güç W | Referans akım mA | Ölçülen akım mA | Ölçülen güç W | Akım Hata % | Tolerans (Akım) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 600 | 1 | 35,6 | 35,4 | 0,8 | -0,6 | ± (Okunanın %1'i + 5 mA) |
| 400 | 1 | 44,4 | 44,1 | 0,8 | -0,6 | |
| 300 | 3 | 98,6 | 98,2 | 2,9 | -0,4 | |
| 300 | 7 | 151,1 | 150,5 | 6,8 | -0,4 | |
| 300 | 12 | 198,5 | 197,8 | 11,7 | -0,4 | |
| 300 | 27 | 298,3 | 297,1 | 26,4 | -0,4 | |

**Tablo 7.** Bipolar coagulation güç ölçüm belirsizliği

| Yük direnci Ω | Referans akım mA | Ölçülen güç W | Belirsizlik W |
|---|---|---|---|
| 600 | 35,6 | 0,8 | 0,1 |
| 400 | 44,4 | 0,8 | 0,1 |
| 300 | 98,6 | 2,9 | 0,1 |
| 300 | 151,1 | 6,8 | 0,1 |
| 300 | 198,5 | 11,7 | 0,1 |

Tablolardan da anlaşılacağı üzere elektrocerrahi analizörlerinin kalibrasyonunda sabit ve değişken direnç ölçümü, tek kutuplu kesme akım ve güç; tek kutuplu koagülasyon akım ve güç ve çok kutuplu koagülasyon akım ve güç ölçüm sonuçları akım ve güç belirsizlik değerleri ile birlikte raporlanmaktadır. Cihaz üreticileri tarafından beyan edilen tolerans değerleri, elektrocerrahi analizörlerinin uygunluk değerlendirmesi için önemli kriterlerdir. Bu nedenle, elektrocerrahi cihazlarının kalibrasyonunda son derece kritik görevler gören ve hasta sağlığını yakından ilgilendiren elektrocerrahi analizörlerine titizlikle yaklaşılmalı ve düzenli olarak kalibrasyonlarının gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Çünkü elektrocerrahi cihazlarının doğru güç ölçümlerinin ve bakımlarının yapılması, cerrahi müdahalelerin güvenli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için kritik öneme sahiptir [1, 3, 10].

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada, elektrocerrahi analizörlerinin kalibrasyonu ve doğrulama süreçleri kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve bir örnek üzerinden gösterilmiştir. Direnç ve akım değerleri sıralı ve kombinasyonlu olarak elektronik çıktı alınabilir şekilde üretildiğinde, gelişmiş bir yazılım entegrasyonu ile üst düzey bir elektrocerrahi analizörü cihazı üretilebilir.

## KAYNAKLAR

[1] Zhao, W., Shao, H., Liang, B., Lin, F., Zhang, H., Li, C., & Wang, J. (2017). Power calibration of electrosurgical analyzers up to 1 MHz. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 66(12), 3309-3315.

[2] Nabawi, R. A., Wibaksono, D. A., Indrato, T. B., & Rahmawati, T. (2019). Electrosurgery Unit Monopolar (Cutting and Coagulation). Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics, 1(1), 33-38.

[3] Dale, M. C., Tasker, L. H., McCarthy, J. P., Edwards, S. D., & Crawford, D. C. (2007). Suitability of electrosurgical analysers for routine maintenance testing of electrosurgery units–a technical note. Journal of Medical Engineering & Technology, 31(6), 428-434.

[4] Arencibia, R. V., Silva, M. T. A., Faria, V. N., de Rezende, M. F., & Milagre, S. T. (2019). Power calibration of electrosurgical units. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 68(12), 4798-4806.

[5] Golpaygani, A. T., Movahedi, M. M., & Reza, M. (2016). A study on performance and safety tests of electrosurgical equipment. Journal of Biomedical Physics & Engineering, 6(3), 175.

[6] Vilos, G. A., & Rajakumar, C. (2013). Electrosurgical generators and monopolar and bipolar electrosurgery. Journal of minimally invasive gynecology, 20(3), 279-287.

[7] Irianto, B. G., Wakidi, L. F., Endarta, A. R., Adam, M. I., & Aamir, H. (2022). A Low Cost Electrosurgery Unit (ESU) Design with Monopolar and Bipolar Methods. Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics, 4(2), 48-54.

[8] Malis, L. I. (2006). Electrosurgery and bipolar technology. Operative neurosurgery, 58(1), ONS-1.

[9] Karaböce, B., Gülmez, Y., Rajagapol, S., & Shaw, A. (2011, February). Instantaneous input electrical power measurements of HITU transducer. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 279, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.

[10] Zhao, W., Shao, H., Li, C., Wang, J., & Lin, F. (2016, July). Study on high-frequency power calibration technology for electrosurgical analyzer. In 2016 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2016) (pp. 1-2). IEEE.