



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

ELEKTRİK AKIMLARI VE MODÜLASYON

Çeviri Yazarı & Bölüm Yazarı: Fatih CETİŞLİ

Çeviri Yazarı & Bölüm Yazarı:

Fatih CETİŞLİ, Prof. Dr.

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Denizli, TÜRKİYE.

E-posta: fcetisli@pau.edu.tr

1. Elektrik Akımları

Pozitif ve negatif yük olmak üzere iki zıt elektrik yükü bulunmaktadır. Eğer pozitif yük taşıyan proton ile negatif yük taşıyan elektronların sayısı eşit ise atom nötrdür. Proton ve elektron sayılarının eşit olmaması nedeniyle bir maddenin taşımakta olduğu pozitif veya negatif yük miktarına Elektrik Yükü [Coulomb] denir.¹

Bir iletken cisim, üzerinde bulunan iki noktada elektrik yükü farkı bulunması durumunda negatif elektrik yükünün fazla olduğu noktadan pozitif elektrik yükünün fazla olduğu noktaya doğru olmak üzere elektronların yer değiştirmesi suretiyle nötr duruma geçmeye çalışır ki bu yer değişimine sebep olan kuvvete elektromotor kuvvet veya elektriksel potansiyel fark (Voltaj [Volt]) adı verilir. Söz konusu potansiyel fark nedeniyle yer değiştiren elektron sayısı cismin iletkenliği ile farklılık göstermekte olup bir saniyede (sn) yer değiştiren elektron sayısı akım şiddeti (Amper) olarak tanımlanırken elektronların yer değiştirmesini zorlaştıran kuvvet direnç [Ohm] olarak tanımlıdır. Direnç ile iletkenlik ters orantılı olup, direnç ne kadar artar ise iletkenlik o denli azalmaktadır.

Pozitif yük taşıyan protonlar birbirlerine yapışık olmalarından ötürü kütlelerinin fazla olması nedeniyle yer değiştirme yeteneğine sahip değilken negatif yük taşıyan elektronlar serbest hareket edebilme ve yer değiştirme yeteneğine sahip olmaları nedeniyle elektron akımı olarak da anılan elektrik akımı bazı etkiler ile kendini gösterir. Bu etkileri elektrolitik, manyetik ve içinden geçtiği iletken ortamın direncine de bağlı olarak ortaya çıkan ısı olarak özetlemek mümkündür.²

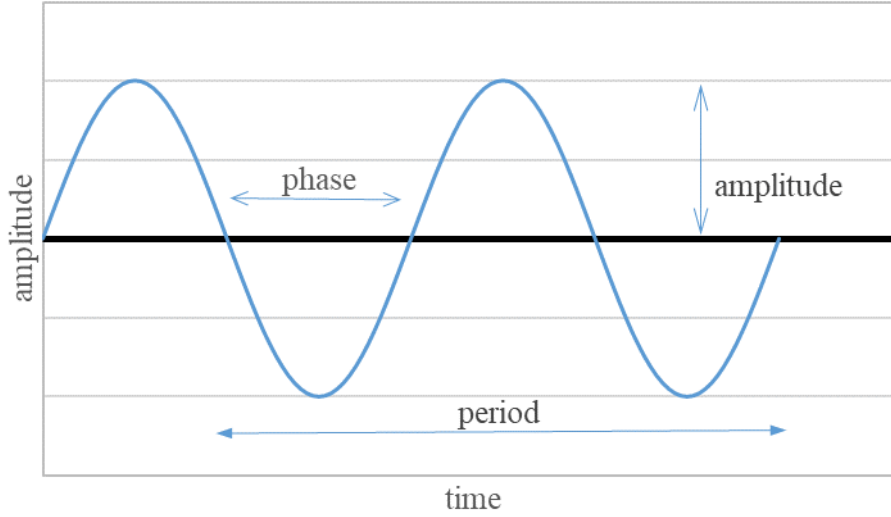
Kauçuk gibi maddeler, bu maddelerde elektronların yer değişiminin mümkün olmaması nedeniyle iletken olmayan cisimler olarak tanımlanmaktadır. İletken cisimlerin ise katı, sıvı veya gaz halinde olması mümkündür. Sıvı iletkenlerde negatif yüklü olanlarına anyon, pozitif yüklü olanlarına ise katyon adı verilen elektrolitler akımı iletirler. Anyon ve katyonların oluşumu suda çözülebilen

Modül 2: Elektrik Stimülasyonunda Kullanılan Akımlar

Giriş: Elektrik Akımları ve Modülasyon

tuzlar, bazlar ve asitler ile sağlanmaktadır. Asit, baz ve tuz içermesi nedeniyle insan vücudundaki sıvılar iyi bir iletken olarak ortaya çıkmaktadır.¹

Elektrik akımının yönü sürekli sabit kalabileceği gibi periyodik olarak değişkenlik gösterebilir. Literatürde Monofazik veya Galvanik akım olarak da geçen düz akımda akımın yönü sabittir. Bir sn'den daha uzun süre yönü değişmeyen akım fizyolojik olarak düz akım olarak kabul görmektedir.



Şekil 1. Alternatif akım parametreleri.

Elektrik akımının yönünün düzenli olarak değişmesi durumu ise akım Alternatif akım olarak tanımlanmakta olup literatürde bifazik veya faradik akım nitelendirmeleri de yer almaktadır (Şekil 1). Alternatif akımda akım şiddeti sıfır noktasından en yüksek pozitif değere yükseldikten sonra tekrar sıfır değerine inip ardından en büyük negatif değere erişip tekrar sıfır değerine geri döner. Bu süreçte geçen süre periyot olarak tanımlanmakta olup 1 sn'de tekrarlamaya sayısı ise frekans (Hz) olarak ifade edilir (Şekil 2). Sıfır noktasından tepe değere ulaşip tekrar sıfır değerine dönme sürecine faz denilmektedir. Bu nedenle bir periyotluk süre içinde akım zıt yönlü iki fazdan oluşmaktadır ve bifaziktir (Şekil 3). Sinüs dalgası, üçgen ve dörtgen şeklinde olabilen bu fazlar zıt yönlerde aynı şekle sahip ise simetrik alternatif akımdan bahsedilir (Şekil 4). İki alternatif akımın şiddetinin, frekansının veya her ikisinin farklı olması halinde iki akım arasında faz farkı ortaya çıkar.³



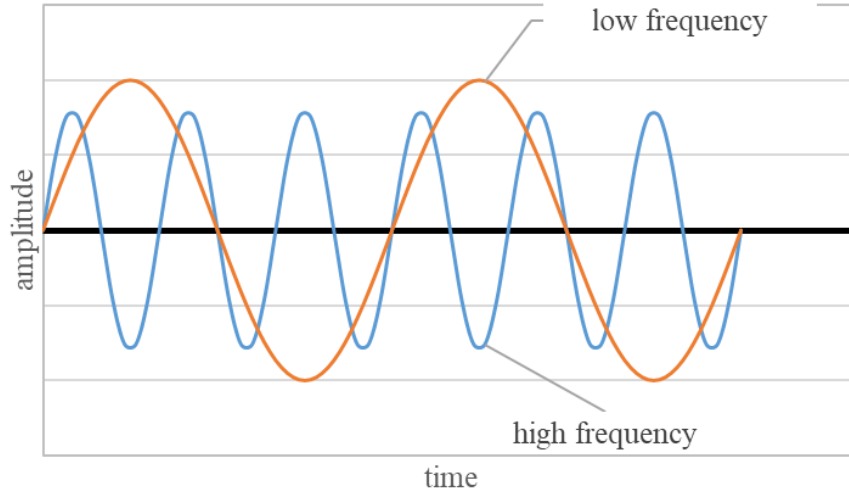
Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Klinik veya elektrofizyolojik etkiler göz önüne alındığında üç tip akımdan bahsetmek mümkün olmaktadır.

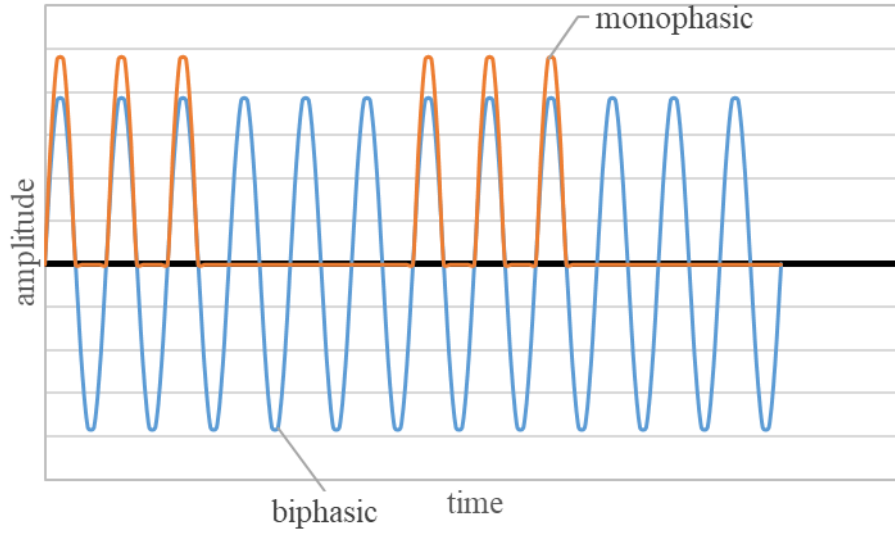
Yüksek frekanslı akımlar: Frekansı 1×10^6 Hz'den fazla olan akımlar Yüksek frekanslı akım olarak tanımlanmakta olup akım duyusu bu tür akımlarda algılanmamaktadır. Bu akım türünde ısı ve titreşim etkisi ön plana çıkmaktadır.

Orta frekanslı akımlar: 1×10^3 ile 1×10^6 Hz arasında olmakla birlikte 4×10^3 ile 20×10^3 Hz arası frekansların yaygın olarak kullanılmakta olduğu akım türüdür. En belirgin olarak Enterferansiyal akımlar bu tür akımlara örnek olarak verilebilir. Elektriksel uyarım ile asenkron aksiyon potansiyeli elde edilmektedir.

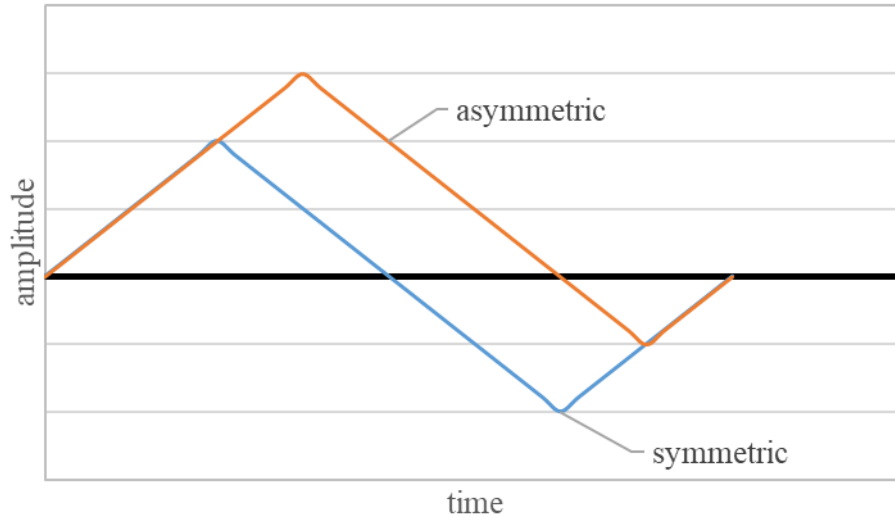
Alçak frekanslı akımlar: 1 ile 1×10^3 Hz arasında olmakla birlikte 1 ile 200 Hz arası frekansların yaygın olarak kullanılmakta olduğu akım türüdür. En belirgin olarak faradik, eksponansiyel ve diadinamik akımlar bu tür akımlara örnek olarak verilebilir. Uyarıcı veya atımlı akımlar olarak da adlandırılan bu akım türünde elektriksel uyarım ile senkron aksiyon potansiyeli elde edilmektedir.



Şekil 2. Alternatif akımda frekans etkisi / sinüzoidal.



Şekil 3. Bifazik ve monofazik akımlar.



Şekil 4. Alternatif akımda simetri etkisi / üçgen.

1.1. Modülasyon

Klinisyen fizyolojik etkinliği arttırmak adına dokuyu en kısa sürede uyarabilecek en düşük düzeyde akımı elde edecek şekilde akımı modüle etmelidir. Akımın modülasyonu esnasında yan etkilere



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

sebebiyet veren polarizasyon ile etkinliği azaltan akomodasyon gelişimini önlemek mümkündür.

Modülasyon akımın dokudan geçiş süresi, şekli, frekansı ve yönü değiştirilerek elde edilir.⁴

Düz akımda üç tür modülasyondan bahsetmek mümkündür:

Kesikli düz akım: 1 sn'den kısa olmamak üzere uygulanan akımın yönü sabit kalmakta olup, akım belli aralıklarla (genellikle 50-60 sn) kesilmektedir. Denerve kas stimülasyonu kesikli Galvanik akımın en yaygın kullanım alanıdır.

Ters düz akım: Her fazın süresi 1 sn'den fazla olmak üzere alternatif akımda olduğu üzere akımın sürekli yön değiştirdiği modülasyon türüdür.

Surge edilmiş düz akım: Kesikli Galvanik akıma benzemekle birlikte, farklı olarak akım şiddeti 0'dan tepe değere 0.5 sn'den az olmamak üzere birkaç sn'de arttırılmaktadır. Akımın tepe değerinden 0 değerine aniden veya yavaşça azaltılabilmesinin yanısıra monofazik veya bifazik uygulama gerçekleştirilebilir.

Alternatif akımın modülasyonunda ise akımın süre ve şiddetinde değişiklikler meydana gelir. Süreye veya şiddete göre modülasyon işlemlerinin birbirlerine göre bilinen fizyolojik veya klinik üstünlüğü bulunmamaktadır.

Patlayıcı (Burst) tip modülasyon: Alternatif akımın geçişi birkaç milisaniye (msn)kesilmekte olup akımın geçtiği fazlarda birkaç msn sürmektedir. Bu şekilde elde edilen alternatif akım modülasyonu Russian akımı olarak da bilinmektedir.

Kesikli alternatif akım: Dinlenme süresinin 1 sn'den uzun sürdüğü ve akımın birkaç sn sürdüğü modülasyon türüdür. Kas kasılmasından sonra kasın gevşemesi için yeterli dinlenme süresi sağlıyor olması patlayıcı tip modülasyondan en belirgin farkıdır.

Amplitüd (şiddet) modülasyonu: Frekansları farklı iki alternatif akımın aynı anda verilmesi ile elde edilir. Bu yolla iki farklı akım birbirleriyle birleştirilerek tek akım etkisi ortaya çıkartılır. Enterferansiyel akım olarak da bilinmektedir.

1.2. Atımlı Akımlar

Klinik uygulamalarda akım yönü dikkate alındığında düz veya alternatif akım, frekans göz önüne alındığında yüksek, orta veya alçak frekanslı akımların yalın halde kullanımından daha çok modülasyonlarının kullanımı ön plana çıkmış durumdadır. Modülasyonlar akımların tanımlanmasında yeni parametrelerin ortaya çıkmasına ve akabinde terminolojik karışıklıklara sebebiyet vermiş olması nedeniyle atımlı (pulse) akım kavramı tanımlanmıştır.⁵ Atımlı akımı kısa

Modül 2: Elektrik Stimülasyonunda Kullanılan Akımlar

Giriş: Elektrik Akımları ve Modülasyon

Fizyoterapi ve Rehabilitasyonda Elektrik Stimülasyonu için Klinik Anahtar



sürelili sinyaller şeklinde iletilen elektrik akımı olarak da tanımlamak mümkündür. Akım yükselme süresi, atım süresi, atımlar arası süre ve atım frekansı bu akımların karakteristiğini belirleyen parametrelerdir.

- Akım yükselme süresi: Atım şiddetinin sıfırdan en tepe değere çıkış süresidir.
- Atım süresi: Uyarılmak istenen sinirin kronaksisine eşit (birkaç mikrosaniye (μsn) ile birkaç msn arasında) olmak üzere siniri stimüle etmek için gerekli minimum elektrik enerjisinin elde edildiği süredir.
- Atımlar arası süre: 10-999 msn.
- Atım frekansı: 1 sn'deki atım sayısı (Hertz-pps)

Akım şiddetinin arttığı veya azaldığı durumlarda kas kasılması ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle akım yükselme süresi akomodasyon gelişimini önleyebilmek adına 60 μsn 'den daha kısa olması gerekmektedir. 10 msn'den daha kısa süreli atım sürelerinde üçgen veya dörtgen formda akımlar arasında bir fark bulunmamakta olup atım süresinin 1 msn'den daha kısa olması durumunda motor etki ön plana çıkmaktadır. Kas lifinde akomodasyon sinir lifine kıyasla daha yavaş gelişmektedir. Şiddetin sabit kaldığı atım periyodu boyunca batma, yanma, karıncalanma gibi duyuşsal uyarımlar ortaya çıkmaktadır. Şiddetin 20 msn'den daha fazla süreyle sabit kalması durumunda bu etkiler daha da belirginleşmektedir. Ağrılı hale dönüşebilmesi nedeniyle duyuşsal etkileri azaltmak veya ortadan kaldırmak için faz süresinin 200 μsn 'den az olması gerekmektedir.

Uyarılan dokuların istirahat edebilmesi adına atımlararası sürenin sürekli bir uyarıya sebebiyet vermeyecek şekilde uzun tutulması gerekmektedir.

Günümüzde kullanılmakta olan stimülatörlerde atım frekansı 1-100 Hz (düşük frekanslı stimülasyon) arasında değiştirilebilmektedir. Bir sn'de dokuya geçen toplam akım miktarı düşük olması nedeniyle güvenli ve konforlu stimülasyon gerçekleştirilebilmektedir.

Kare, üçgen veya sinüzoidal formda atım fazlarına sahip olmak üzere atımlı akımlar monofazik veya bifazik olabilmektedir. Bununla birlikte bifazik atımlı akımların simetrik veya asimetrik olması mümkündür. Elektrot altında dokuda polarizasyon oluşturmaması nedeniyle bifazik simetrik atımlı akımlar önemli olup asimetrik atımlı akımlara tercih edilmektedirler. Faradik akım bu kapsamda asimetrik bifazik atımlı akım türüdür. Faradik akımın yerini almış olan neofaradik akım ise monofazik atımlı akım türüdür.

Modül 2: Elektrik Stimülasyonunda Kullanılan Akımlar

Giriş: Elektrik Akımları ve Modülasyon



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

1.3. Atımlı Akımlarda Modülasyon

Akomodasyonu önlemek için çok kısa akım yükselme süresi, en düşük akım şiddeti ile optimal etki elde etmek için ise dikdörtgen faz şekli kullanılmaktadır. Uyarılması istenen sinirin kronaksisine eşit olacak şekilde ideal atım süresi belirlenmekte, polarizasyon etkisini ortadan kaldırmak için ise bifazik akım uygulanmaktadır. Motor sinir stimülasyonunda simetrik bifazik atımlı akımlar asimetrik bifazik atımlı akımlara kıyasla daha etkili olmaktadır. Bu kapsamda atım ve akım olmak üzere modülasyonlar gerçekleştirilmektedir (Şekil 5).¹

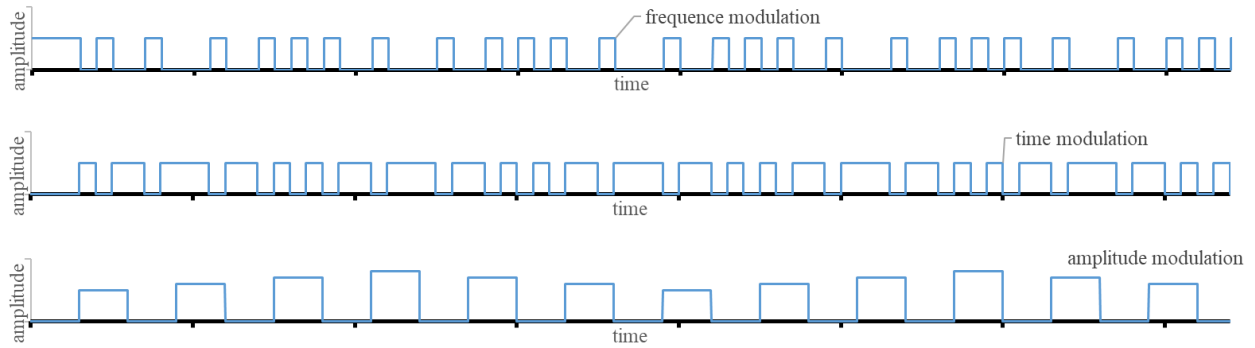
Atım modülasyonu: Akomodasyonu geciktirmek temel hedefdir. Atımlı akımın süresi, şiddeti veya frekansı otomatik olarak artar ve sonra azalır.

Akım modülasyonu: Akımın yalnızca süresi, şiddeti veya frekansı değil bir bütün olarak akım fazı modüle edilmektedir. Kesikli tip, patlayıcı (burst) tip, surge tip olmak üzere üç farklı tipte modülasyon gerçekleştirilebilir.

Kesikli tip: Birkaç sn süren akımı birkaç sn dinlenme periyodunun takip etmesi durumudur.

Patlayıcı (Burst) tip: Akım geçiş ve onu takip eden dinlenme sürelerinin birkaç msn olduğu kesikli atımlı akımın farklı bir uygulamasıdır.

Surge tip: Kesikli atımlı akımdan farklı olarak akım şiddeti yavaş yavaş artırılarak (1-5 sn) yavaş yavaş azaltılır. Kesikli atımlı akımda olduğu üzere birkaç sn'lik dinlenme periyodu bulunmaktadır.



Şekil 5: Atımlı akımlarda modülasyon / dikdörtgen.

2. Kaynaklar

1. Robinson AJ, Snyder-Mackler L. (2008), Clinical electrophysiology. 3rd ed. New York: Wolters Kluver. ISBN:0781744849.

Modül 2: Elektrik Stimülasyonunda Kullanılan Akımlar
Giriş: Elektrik Akımları ve Modülasyon

Fizyoterapi ve Rehabilitasyonda Elektrik Stimülasyonu için Klinik Anahtar



2. Şimşek N, Kırdı N, Meriç A, Savcı S, Cetişli Korkmaz N, Fırat T, et al. (2015), Elektroterapide temel prensipler ve klinik uygulamalar, 1st ed. Ankara: Pelikan Yayınevi. ISBN:978-605-9160-03-2.
3. Kitchen S, Bazin S. (2002), Electrotherapy evidence-based practice. 11th ed. Edinburgh, New York: Churchill Livingstone. ISBN:0443072167.
4. Robertson V, Ward A, Low R, Reed A. (2006), Electrotherapy explained: Principles and practice. Edinburgh: Butterworth Heinemann. ISBN:0750688432.
5. Watson T. (2008), Electrotherapy evidence-based practice. 12th ed. Edinburgh-New York: Churchill Livingstone. ISBN:0443101795.

Modül 2: Elektrik Stimülasyonunda Kullanılan Akımlar

Giriş: Elektrik Akımları ve Modülasyon