

Karışık Akım Motorlarında Dalgalanma Çeşitleri ve Bunların Hesaplanması^[#1]

Yazan /
Dr. fıhami ÇETİN

Olişte karışık akım motorları tekniğinde ve diğler sahalarda kullamlan dalgalanma tarifleri araştırıldı. Kavramların tâynini incelendi ve uygun isimlendirmeler teklif edildi. Kullanılmakta bulunan dalgalanma tarifleri bir karışık titreşimin aritmetik ortalama değerinden sapmasını nitelemeğe aynı derecede müsaittirler. Fakat bu mukayeseden maada titreşimin bir özelliği hesaplamaya dahil edilecekse, bu maksat için uygun dalgalanma tarifi kullanılabilir. Bu şekilde efektif değerler efektif dalgalanma ve azami değerler tepe dalgalanması tarafından kapsanır. Karışık akım motorları üzerindeki teknik yayınlarda en fazla kullanılan uç değerlerden tarif edilen uç dalgalanmasıyla titreşim genişliğinden tarif edilen titreşim genişliği dalgalanması esas itibariyle bir yaklaşımdan ibarettirler. Kullanılmaları ancak tepe dalgalanmasına veya efektif dalgalanmaya yaklaşıma ile irca edilmek suretiyle mümkündür. Zikredilen son iki dalgalanma beraberce karışık akımı nitelemeğe ka.fi gelirler Bu sebeple her ikisi de standartlara alınmalıdır. Halbuki uç ve titreşim genişliği dalgalanması fuzulidir. Sözü geçen dalgalanmalar fiziksel ehemmiyeti olan efektif dalgalanma ile tepe dalgalanması için ancak yaklaşık ifadeler olarak kabul edilebilir. Mümkün olan başka dalgalanma tariflerinin mevcut tariflere ilâvesi, teknik inkişafın bugünkü durumunda lüzumsuzdur.

Karışık akım motorlarının manyetik karakteristikleri için kullanılan basit bir denklem vasıtası ile zorlanmış esas kutup manyetik akısında, karışık akımın muhtelif dalgalanmaların ilk defa olarak hesaplanmıştır. Bildirilen formüller yardımı ile dalgalanmalar çabucak elde edilebilir. Bulunan neticeler hesaplayıcıların kolayca kullanabileceği bir şekilde eğrilerle gösterilmiştir. Çeşitli dalgalanmalar için yaklaşık formüller bulunmuştur Dalgalanmaların mukayesesinden, sık sık geçen uç dalgalanmasının hesaplamalarda kullanılan esas titreşim ve tepe dalgalanması ile efektif dalgalanmadan çok uzaklaşabileceği çıkmaktadır.

1. Giriş:

Teknik literatürde şimdiye kadar bilhassa karışık akım motorları için dalgalanmanın çeşitli tarifleri hiç bir tercih sebebi gösterilmeden kullanılmaktadır. Hattâ bazen dalgalanma hiç bir sarıh isimlendirme veya tarif yapılmadan geçmektedir. Bu durumdan mütevellit karışıklıkların aydınlanması çok yerinde olacaktır. Bu çalışmada, evvelâ birbirinden kesin isimlendirmelerle tefrik edilen tarifler bir bütün halinde incelenecek ve kullamlışlıkları bakımından araştırılacaktır. Bundan, karışık akım tekniğinin pratikte ehemmiyetli- olayları için, iki tarifin gerekli ve **yeterli olduğu** neticesi çıkacaktır : 1. **Effektif değerlerin** kapsadığı olaylar İçin efektif dalgalanma, 2. Tepe değerlerinin tâyin ettiği olaylar için tepe dalgalanması. Ayrıca, karışık akım motorlarının manyetik karakteristikleri için kullanılan bir yaklaşık denklem vasıtası ile, ilk defa olarak karışık akımın çeşitli dalgalanmaları zorlanmış esas kutup akısında hesaplanmakta ve birbirleri ile mukayese edilmektedir.

2. Genel:

Peryodik titreşimler İlimde ve teknikte ehemmiyetli bir rol oynar. Fourier analizinin sağladığı güzel çözümlerle kolay bir şekilde hesaplanmaya müsaittirler. Fakat pratik maksatlar için, fazla vakit alıcı analizden daha basit usuller tatbik etmek arzu edilir. Genel şekilli bir periyodik titreşim verilmişse, eğrisini kolay bir fonksiyonla göstermek denenebilir. Verilen titreşimin hesap için müsait bir mukayese eğrisinden uzaklaşmasını bir sayısal büyüklükle de nitelemek mümkündür. Peryodik titreşimle mukayese titreşiminin birbirine tekabül eden iki büyüklüğünü oranlamak suretiyle, bu tamamen keyfi ve şekli olabilir. Böylece, mukayese eğrisinden uzaklaşma ölçüsü olarak birçok sayısal büyüklükler elde edilebilir. Bu sayılar, ancak tarife esas olan bağlantı fiziksel bir mâna taşıdığı zaman, fiziksel niteUkte olurlar. Fakat titreşimlerle ilgili bütün problemlerin çözümü, bir tek sayısal büyüklük

(*) *Bu çalışma almanca olarak ETZ-A cilt 85 (1964) S. 742 - 748 de yayınlanmış olup, yazarın Zürih'te bulunan Maschinenfabrik Oerlikon da yaptığı araştırmalara dayanmaktadır.*

kullanmakla mümkün değildir. Bu durum dalgalanma için birçok sayısal büyüklüğün mevcudiyetini ve aynı zamanda bunların eksikliğini izah eder.

Karışık akım motörleri ile ilgili yayınlarda şimdiye kadar hiç bir sebep gösterilmeden, muhtelif dalgalanma tarifleri uygulanmıştır. Bu maksatla fransızca yayınlarda [1 ilâ 3] genellikle uç değerleri, almanca yayınlarda [4] efektif değerler esas alınmakta, başka kaynaklarda dalgalanma titreşim genişliği [5] ile veya tepe değeri [6, 7] ile tarif edilmektedir. [6] da esas titreşim tepe dalgalanması, karışık akımda genel mânâda titreşim dalgalanması olarak alınmaktadır. Aynı şey isimlendirilmeden de [8] yapılmaktadır. Bazan da dalgalanma hiçbir isimlendirme veya aydınlatıcı tarif verilmeden [9, 10] kullanılmaktadır ki bu yalnız anlaşılmalara sebebiyet verebilir. Bu bakımlardan, karışık akım tekniğinin artan ehemmiyeti karşısında dalgalanmanın incelenmesi lüzumu kendini hissettirmektedir.

Karışık titreşim, aritmetik ortalama değeri olan bir periyodik titreşimdir. Dalgalanma esas itibarıyla böyle bir titreşimi nitelemek maksadıyla kullanılan bir mukayese değeridir. Mukayese değerleri alternatif akım tekniğinde öteden beri kullanıla gelmektedir. Toplu bakış sağlayan bir izah tarzı bulmak ve alternatif akım tekniği ile devamlılık sağlamak için, evvelâ alternatif akımda geçen mukayese değerlerinden bahsedilecektir.

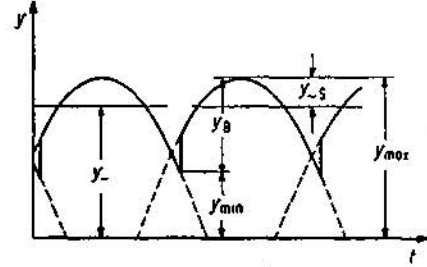
3. Alternatif akım tekniğinde mukayese değerleri :

Alternatif bir olayda, titreşimin aritmetik ortalama değeri sıfıra eğittir. Mukayese değerlerinden şekil faktörü, efektif değer mutlak aritmetik ortalama değere oranı olarak tarif edilir. Demir çekirdekte hasıl olan Fuko kayıplarını tâyin eden faktörlerden biridir. Tepe faktörü, tepe değerinin efektif değere olan oranıdır. Yalıtkanlık deneyleri ve histerezis kayıpları gibi azami değerlerin tâyin ettiği olaylar için önemlidir. Genellikle arzu edilmeyen harmoniklerin kapsanması için, esas titreşim faktörü alternatif titreşimde esas titreşim efektif değerinin bütün titreşimin efektif değerine oranı olarak tarif edilir. Bunun gibi üst harmonik faktörü, üst harmoniklerin efektif değerinin bütün alternatif titreşimin efektif değerine oranı olarak tarif edilir. Sinüs biçimli titreşim için birinci mukayese değeri bir, ikincisi sıfırdır [11].

4. Karışık akım tekniğinde mukayese değerleri:

Alternatif akım tekniğinin yukarıda zikredilen mukayese değerleri belli bir ölçüde, verilen bir alternatif titreşimi sinüs biçimli titreşimle

mukayeseyi mümkün kılmaktadır. Tarifleri bir karışık titreşimin alternatif kısmı içinde geçerli olup, bu kısmı nitelemekte kullanılabilir. Fakat sabit ve değişken kısımlar olmak üzere pratikte büyük ehemmiyetli iki niteleyici kısmın bulunması, burada farklı kavramların yapılmasını gerektirmiştir. Alternatif akımda sinüs biçimden uzaklaşma nitelendiği halde, karışık akım tekniğinde dalgalanma kavramı bir karışık titreşimin genellikle hâkim vaziyette olan aritmetik ortalama değerini esas almaktadır. Bu sebeple burada aritmetik ortalama değer mukayese büyüklüğü olmaktadır. Netice olarak titreşimin incelenen tesirine göre muhtelif dalgalanma tarifleri yapılabilir. Ama bir dalgalanmadan genellikle titreşim şeklini vermesi beklenemez. Bu ancak titreşim eğrisinin verilmesi ile mümkündür. Dalgalanmadan maksat karışık titreşimi sadeleştirmedir. Böyle bir sadeleştirme de esas kabul edilenin dışındaki özellikleri bırakmakla olur.



Şekil : 1 — Karışık titreşimin çeşitli kavramları. y_{max} : azami değer, y_{min} : asgari değer, y_{eff} : ortalama değer, $y_{üst}$: üst tepe değeri, V_B : titreşim genişliği.

Genel periyodik titreşime misal olarak, ızgarası kumandalı bir redresörün şekil 1de gösterilen karışık gerilimi alınsın. Azami değer, asgari değer, üst tepe değeri, aritmetik ortalama değer ve titreşim genişliği aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.

Kullanılmakta bulunan dalgalanma tarifleri genel geçerlik, kullanılırlık ve kolay tâyin edilme ölçülerine göre değerlendirilmeden önce, ayrıntılı incelenecektir. Bu tarifler elektriksel cinsten olsun veya olmasın, bütün karışık titreşimler için geçerlidir. Genel geçerliliği sınırlandırmadan, karışık büyüklüğün sabit kısmı pozitif kabul edilecektir. Böyle bir $y(t)$ periyodik titreşiminin denklemi, şekil 1deki tarifleri kullanarak :

$$y(t) = y_0 + y^{\wedge} y + \sqrt{2} Y_{10} \sin(x + \phi_1) + \sqrt{2} Y_{20} \sin(2x + \phi_2) + \dots \quad (D)$$

açılmış şeklinde yazılabilir. Burada $x = \omega t$, y_0 aritmetik ortalama değer, y^{\wedge} değişken kısım ve Y_{10} , Y_{20} bindirilmiş sinüs titreşimlerinin efek-

tif değerleridir. Aşağıda ayrıca muhtelif dalgalanmalar için yeni isimlendirmelerde teklif edilecektir.

I. Etkin dalgalanma [4, 12 ila 15].

Bu dalgalanma karışık titreşimde, değişken kısmın y_e etkin değerinin y_a aritmetik ortalama değerine oranıdır.

$$w_e = y_e / y_a \quad (2)$$

Şekil faktörüne benzer. Bu faktörde aynı alternatif büyüklüğün etkin değeri ve mutlak aritmetik ortalama değeri mevcut olduğu halde, etkin dalgalanmada karışık titreşimin alternatif kısmı etkin değeri teşkil etmekte, aritmetik ortalama değer (mutlak değil) ise karışık titreşime ait olmaktadır. Evvelce de belirtildiği gibi böylece değişken kısım doğru kısım ile bağlantı haline sokulmaktadır.

Harmoniklerin $Y_{1e}, Y_{2e}, \dots, Y_{ne}$ etkin değerlerini dahil ederek :

$$w_e = \sqrt{Y_{1e}^2 + Y_{2e}^2 + \dots} / y_a = \sqrt{w_{1e}^2 + w_{2e}^2 + \dots} \quad (3)$$

$$w_{ne} = Y_{ne} / y_a$$

bulunur ki burada w_{1e}, w_{2e}, \dots harmoniklerin etkin dalgalanmasını temsil eder. Karışık titreşimin etkin değeri için :

$$y_e = \sqrt{y_a^2 + y_{2e}^2} = y_a \sqrt{1 + w_e^2} \quad (4)$$

bulunur. Bu ifade ile bütün etkin dalgalanmayı :

$$w_{e\text{eff}} = y_e / y_a = \sqrt{1 + w_e^2} \quad (5)$$

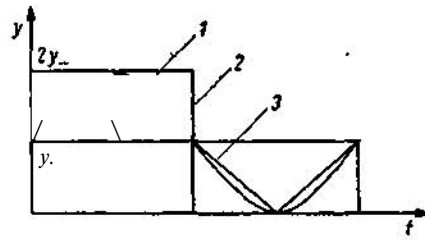
olarak tarif etmek mümkündür. Bu sayısal büyüklük karışık titreşimin şekil faktöründen başka bir şey değildir, özel durumlarda, dalgalanmanın diğer tarifleri ile çakışmasını temin için, etkin dalgalanma bazan [25] :

$$\sqrt{2} y_{\sim e} / y_a \quad (6)$$

şeklinde de tarif edilir.

Etkin dalgalanma, üst harmoniklerin faz durumuna ve frekanslarına tâbi değildir, buna mukabil üst harmoniklerin etkin değerlerine bağlıdır. Herbir üst harmonik eşit ehemmiyettedir, zira etkin değeri hiç bir değişken tarafından değişikliğe uğramaz. Etkin dalgalanma daima pozitif olup, değeri, sabit bir büyüklük için aldığı sıfır ile alternatif bir büyüklük için aldığı sonsuz arasında bulunur. Verilen bir aritmetik ortalama değer için etkin dalgalanma, şayet titreşim eğrisi sinüs biçiminden daha geniş ise, yalnız bir sabit ve bir sinüs biçimli kısımdan müteşekkil bir titreşime nazaran daha büyük, şayet titreşim eğrisi sivri ise daha küçük

Elektrik Mühendisliği m

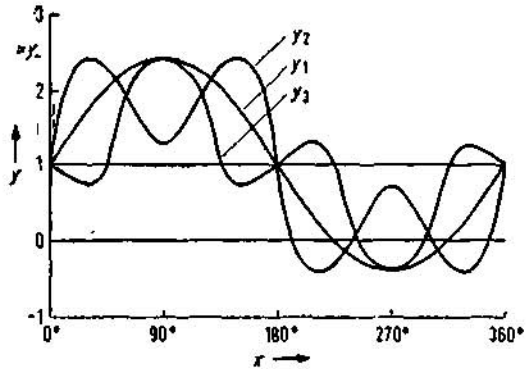


J	n_{e}	$\gg S$	n_{rE}	n_{rB}
1	$1/\sqrt{2}$	1	1	1
2	1	1	1	1
3	$1/\sqrt{2}$	1	1	1

Şekil: 2 — Titreşim, şeklinin dalgalanmaya tesiri.

olur. Bu mukayeselerde, mukayese edilen titreşim eğrilerinin şekil 2 de gösterildiği gibi eşit uç değerlere sahip oldukları farz edilmiştir.

Redresör tekniği terclhan etkin dalgalanmayı kullanır, zira akım ve gerilim etkin değerleri öteden beri pratik kıymette olduklarını göstermişlerdir. Clva buharlı redresörler için geçerli Alman VDE 0555/9.62 standartları münhasıran bu dalgalanmanın tarifini vermektedir.



Şekil: 3 — Aynı etkin dalgalanmaya sahip çeşitli karışık titreşimler.

Dalgalanma tariflerini dikkatle kullanmanın gerektiğini aşağıdaki misal çok güzel gösterir. (Şekil 3 te çizilen)

$$y_1 = y_a (1 + \sqrt{2} \sin x),$$

$$y_2 = y_a \left(1 + \frac{4}{5} \sqrt{2} \sin x + \frac{3}{5} \sqrt{2} \sin 3x \right) \quad (7)$$

$$y_3 = y_a \left(1 + \frac{1}{5} \sqrt{2} \sin x - \frac{3}{5} \sqrt{2} \sin 3x \right)$$

ifadeli üç karışık titreşimin hepsi aynı etkin dalgalanmaya, fakat bambaşka şekillere sahiptir. Bu sebeple esas itibarıyla ancak benzer şekildeki titreşimlerin mukayese değerleri mukayese edilmelidir.

2. Tepe dalgalanması [6, 7, 16]

Bu dalgalanma karışık titreşimde değişken kısmın y_{ar}^{\wedge} , üst tepe değerini y_{ar}^{\wedge} aritmetik ortalama değerine oranıdır :

$$\frac{y_{\text{ar}}^{\wedge}}{y_{\text{ar}}} = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{Y_{\text{ar}}} \quad (8)$$

Üst titreşimlerin fonksiyonu olarak tepe dalgalanması :

$$w_{\text{G}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{Y_{10} \sin(\omega t_{\text{S}} + \varphi_1) + Y_{20} \sin(2\omega t_{\text{S}} + \varphi_2) + \dots}{y_{\text{ar}}} \\ = w_{\text{G1}} \sin(\omega t_{\text{S}} + \varphi_1) + w_{\text{G2}} \sin(2\omega t_{\text{S}} + \varphi_2) + \dots \quad (9)$$

İle ifade edilir. Titreşim azami değerini $t=t$, için almaktadır. Bu dalgalanma harmoniklerin genliklerinin, frekanslarının ve faz durumlarının fonksiyonudur. Tepe dalgalanması bir karışık büyüklüğün üst tepe değerini kapsar ve aynı aritmetik ortalama değerinde ve aynı üst tepe değerinde bütün titreşimler için eşittir. Etkin dalgalanmanın aksine yaüuz üst harmoniklerin tepe dalgalanmaları :

$$w_{\text{Gn}} = \sqrt{2} \cdot \frac{Y_{\text{Gn}}}{y_{\text{ar}}} \quad (10)$$

tarafından tâyin edilmeyip, sinüs fonksiyonunun değişkenlerine de tâbidir.

Bir karışık titreşiminin uç değeri için :

$$y_{\text{max}} = y_{\text{ar}} + y_{\text{ar}} \cdot w_{\text{S}} = y_{\text{ar}} (1 + w_{\text{S}}) \quad \text{un}$$

bulunur. Uç noktasını kapsamanın ehemmiyetli olduğu titreşimlerde, tepe dalgalanması ile aynı kıymette olan bütün tepe dalgalanması :

$$w_{\text{G}} = \frac{y_{\text{max}}}{y_{\text{ar}}} = \frac{y_{\text{ar}} + y_{\text{ar}} \cdot w_{\text{S}}}{y_{\text{ar}}} = 1 + w_{\text{S}} \quad (12)$$

Seklinde tarif edilebilir.

Yalıtkanlık gerilmeleri için azami gerilimin bu tarifile kapsaması İstifadeli olabilir. Fakat tepe dalgalanması ile olan basit bağlantıdan dolayı, bütün tepe dalgalanmasının kullanılması tavsiye edilemez. Bu tarif, elektrikli cer vasıtalarının kontrolünde, çekig kuvvetinin ortalama değerinden uzaklaşmasını nitelemek için kullanılmıştır [17].

3. Uç dalgalanması [1 ilâ 3, 18, 19]

Bu dalgalanma bir karışık titreşimde azami ve asgari değerler farkı olan titreşim genişliğinin, azami ve asgari değerlerin toplamına oranıdır :

$$w_{\text{E}} = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{ar}}} = \frac{1 - \frac{V_{\text{min}}}{V_{\text{max}}}}{1 + \frac{V_{\text{min}}}{V_{\text{max}}}} \quad (13)$$

Teorik olarak — eo Ue ' + eo arasında bütün değerleri alabilir. Sabit bir büyüklük için sıfır, al-

ternatif bir büyüklük için sonsuzdur. Sıfır ile bir azami değer arasında değişen bir karışık büyüklük için, değişken kısmın sabit kısma olan İzafi büyüklüğü ne olursa olsun, daima % 100 değerini alır. Bu dalgalanma yalnız iki uç değeri tarafından tâyin edilir ve aynı uç değerleri olan periyodik titreşimler için eşittir. Bu tarif karışık titreşimin aritmetik ortalama değerini İhtiva etmeyen tek tariftir. (13) teki ikinci İfadenin gösterdiği gibi, uç dalgalanması asgari değerin azami değere oranı tarafından tâyin edilir. Bu oran da uç dalgalanması ile mukayese büyüklüğü olma bakımından eşdeğerdir ve onun yerine kullanılabilir.

Redresörler ve karışık akım motörleri üzerindeki bilhassa fransızca yayınlarda, uç dalgalanmasının tarifi en fazla uygulanmaktadır. Etkin dalgalanmanın tarifine uydurmak için [20]

$$w_{\text{E}}' = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{max}} + V_{\text{min}}} = \frac{w_{\text{E}}}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

şeklini kullanmaktadır. Herde gösterileceği üzere; uç dalgalanması elektroteknikte ancak niteliksel incelemelere müsaittir. Bu mânâda muhtelif problemlerde kullanılmıştır. Meselâ yüksek gerilim tekniğinde sivri ve geniş gerilim dalga şekillerinde delinmenin, etkin değere mi, yoksa tepe değerine mi bağlı olduğunu incelemeye yarayan 4. Titreşim genişliği dalgalanması [5]

Bu dalgalanma bir karışık titreşimde yarı titreşim genişliğinin aritmetik ortalama değere oranıdır.

$$w_{\text{B}} = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{2 y_{\text{ar}}} = \frac{Y_{\text{ar}}/2}{y_{\text{ar}}} \quad (15)$$

Bu dalgalanma kolay ölçülebilen ve ehemmiyetli olan aritmetik ortalama değeri İhtiva etmektedir. Şimdiye kadar incelenen tarifler muvacehesinde, titreşim genişliği dalgalanmasını yarı titreşim genişliği ile tarif etmek icab ederse de, bazı :

$$w_{\text{U}} = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{y_{\text{ar}}} \quad (16)$$

şeklinde bir tarife de rastlanır. Meselâ senkron makinelerde açılma hızı titreşim genişliğinin ortalama açılma hızına oranı (16) tarifine göre sınımların İncelenmesinde kullanılır [23].

5. Muhtelif dalgalanma tarifleri arasındaki bağlantı :

Herdeki bir kısımda karışık akım motörleri üzerinde gösterileceği gibi, karışık titreşimin genel halinde araştırılan dalgalanma büyüklükleri farklı değerlere sahiptirler. Buna mukabil üst harmoniklerin dalgalanmaları için genel geçerli :

$$w_{\text{Sn}} = w_{\text{En}} = w_{\text{Bn}} = \sqrt{2} \cdot \frac{Y_{\text{Gn}}}{y_{\text{ar}}} = \sqrt{2} w_{\text{Gn}} \quad (17)$$

bağlantıları elde edilir. Üst harmoniklerin tepe, uç ve titreşim genişliği dalgalanmaları aynı olup, efektif dalgalanmanın $\sqrt{2}$ -Ue çarpımına eşittirler. Böylece efektif dalgalanmaya kolayca çevrilebilirler. Demek ki üst harmonikler için muhtelif dalgalanma tarifleri eşdeğerdir. Karışık titreşimin bir sabit ve bir alternatif kısımdan müteşekkil olduğu özel durumda :

$$w_s = w_e = w_b = y_{\sim s}/y \cdot$$

bağlantısı bulunur. Tepe, uç ve titreşim genişliği dalgalanmaları yine birbirlerine eşit olurlar. Bazı basit özel haller için dalgalanma değerleri şekil 2 de topluca gösterilmiştir.

Genel karışık titreşim için :

$$\frac{w_s}{w_e} = \frac{y_{\sim s}}{y} \cdot \frac{y_{\sim s}}{y} = \frac{y_{\sim s}}{y} \cdot \frac{y_{\sim s}}{y} \quad (18)$$

bağlantısı caridir. Buna göre, tepe dalgalanmasının efektif dalgalanmaya oranı değişken kısmın tepe faktörüne eşittir.

İncelemenin tamam olması için yüksek frekans tekniğindeki modülasyon olayı da hatırlatılmalı. Burada modüle edilen titreşimleri nitelemek için, dalgalanmaya şeklen benzeyen modülasyon dereceleri kullanılır. Modülasyon genişliğinin taşıyıcı genliğe oranı veya titreşim genişliğinin tek taraflı bandın azami ve asgari değerlerinin toplamına oranı olarak tarif edilen genlik modülasyon derecesi en fazla kullanılır. İlk tarif edilen modülasyon derecesi tepe dalgalanmasına, ikincisi uç dalgalanmasına benzer. Taşıyıcı genlik dalgalanma tarifindeki aritmetik ortalama değere tekabül eder.

6. Dalgalanma için uygun tarifi seçimi :

Genel geçerlik ve genliğin aritmetik ortalama değerden sapmasını kapsama bakımından, görülen bütün tarifler eşdeğerdir. Karışık akım tekniği için uygunluğu kararlaştırmak maksadıyla karışık akıma mahsus bazı olaylar misal olarak ele alınacaktır.

R direncinden akan karışık akımın kaybı için (4 denklemi ile mukayese et):

bulunur. Burada I_0 akımın ortalama değeri ve I_0 tamamının efektif değeridir. Görüldüğü gibi kayıp, karışık akımın efektif dalgalanmasına bağlıdır. w_e büyüklüğü böylece karışık akımın değişken kısmından doğan kayıp artması ve dolayısıyla sargıların sıcaklık yüklemesi için bir ölçüdür, zira efektif dalgalanmanın karesi karışık akımın değişken kısmından doğan kaybın ortalama akım kısmından doğan kayba oranını vermektedir. Effektiv dalgalanma % 50 olunca, dl-

rençteki kayıplar doğru akım kayıplarına nazaran $\langle fi \rangle$ 25 artar. Sargılardaki direnç artması ve demir çekirdekdeki Fuko akım kayıplarının teorik incelenmesi ancak sinüs endüksiyonlar için yapılabilir. Bütün dalgalanma tarifleri bu maksat için aynı derecede uygundur. Buna mukabil histerizis kayıplarını, yalıtkanlık gerilimlerini ve kolektörlü makinelerde dilim gerilimlerini azami değerler tayin eder. Bu maksada, mevcut gerilme için bir ölçü teşkil eden tepe dalgalanması daha uygundur. Meselâ % 50 miktarında bir gerilim tepe dalgalanması, elektrik gerilmesinin doğru gerilim gerilmesine nazaran % 50 artması demektir.

Bir doğru akım ve bir alternatif akım kolektörlü motöründen meydana gelmiş olarak düşünülebilen karışık akım motöründe döndürme momentinin hesaplanması:

$$M = \frac{z p}{2 \pi a} \sum_{n=0,1} I_{n0} \Phi_{n\epsilon} \cos \varphi_n \quad (20)$$

formülü ile mümkündür. Bu kesin doğruluktaki ifade (17) denklemine göre dalgalanmaları eşdeğer olan üst harmonikleri havidir. Doğru akım döndürme momenti M ile gösterildiğinde, alternatif kısmın ve esas titreşimlerin meydana getirdiği döndürme momentleri için :

$$\frac{M_s}{M} \approx w_{s1} w_{e0} \cos \varphi_1 \quad (21a) \quad \frac{M_e}{M} = w_{e1} w_{e0} \cos \varphi_e \quad (21b)$$

bulunur. Yaklaşık ifadede efektif dalgalanma gözükür. Karışık akım motörlerinin pratiğinde sık sık esas titreşim dalgalanması, bütün karışık titreşimin dalgalanmasına eşit alınır. Bu yaklaşığın doğruluğu ilerki bir kısımda incelenecektir.

Bilindiği gibi tek fazlı bir kolektörlü motorun döndürme momenti sıfır ile bir azami değer arasında dalgalanır. Bir karışık akım motorunun döndürme momenti ise bir asgari ile bir azami değer arasında değişir ve dolayısıyla daha küçük bir dalgalanma arzeder. Böyle dalgalanan döndürme momentlerinin nitelenmesi için, şeklen mümkün olsa bile, efektif dalgalanma kullanılmaz, çünkü döndürme momentlerinin efektif değerleri fiziksel anlama sahip değildir.

Son olarak ölçü tekniği tarafı nazan itibare alınsın. Teklif edilen birçok ölçme usullerinden yalnız en kullanışlı olanları kısaca zikredilsin. Effektiv dalgalanma makine ölçme yerinde, efektif değer için demir çekirdekli bir ölçü aleti ve aritmetik ortalama değer için bir döner sargılı ölçü aleti kullanarak kolay ve doğru bir şekilde ölçülebilir. Diğer çeşit dalgalanmaların ölçülmesi için ossilograf en uygun alettir. Bu durumda, ortalama değer karışık büyüklük eğrisinin altındaki alanı plânimetre ile ölçerek bulunur.

7. Çeşitli dalgalanmaların mukayesesi:

Yukarıdaki münasebetler değerlendirilmek İstenirse, efektif ve tepe dalgalanmasının kanşık akım tekniğinde fiziksel bir anlam taşıdığı hük-müne varılır, zira birinci dalgalanma direnç ve Fuko kayıplarının hesaplanmasını mümkün kılar, İkincisi ise histerizis kayıplarını ve azami yalıtkanlık ve kollektör dilim gerilimlerini tâyin eder. Dolayısıyla bu dalgalanmalar sözü geçen olaylar İçin bir ölçü teşkil ederler. Diğer taraftan efektif dalgalanmanın ölçülmesi kolay ve emindir.

Genel periyodik titreşim için uç dalgalanması ile titreşim genişliği dalgalanması doğrudan doğruya bir uygulanma imkânına sahip değildirler, zira elektroteknikte hiç bir olayı kesin bir şekilde kapsamazlar. Buna rağmen bilhassa kanşık akın motorleri üzerindeki teknik yayınlarda uç dalgalanması en fazla kullanılandır. Fakat hesaplara dahil edildiği zaman, bilhassa İngilizce yayınlarda rastlanan titreşim genişliği dalgalanması ile olduğu gibi, az veya çok yerinde farzlarla tepe dalgalanmasına veya efektif dalgalanmaya yaklaşık olarak eşit yapılır. Bu durumda daha baştan itibaren tepe dalgalanmasını veya efektif dalgalanmayı kullanmak çok daha uygun ve mantiki olur. Aynı şey bu dalgalanmaların kullanılabileceği evvelce görülen özel durumlar içinde tavsiye edilir.

Uç ve titreşim genişliği dalgalanmaları ossilografla çalışan mühendisler tarafından en fazla tercih ediliyor gibi gözükmektedir. Ayrıca uç dalgalanmasının hesaplanması kolaydır. Meselâ bir kanşık akım motoründe akı verilmiş kabul edilirse, manyetik karakteristikten uç değerler hemen alınabilir ve uç dalgalanması hesaplanabilir. Orta değerlin bilinmesini gerektiren diğer dalgalanların hesaplanması, eğer hesaplama esasları [24] yoksa, genellikle fazla vakit alır.

Çeşitli dalgalanmalar, doğrusal olmayan bir manyetik karakteristiğın bir doğru ile yaklaşımında incelemek, ilgi çekicidir. Doğru, çalışma noktasında bir teğet veya uç noktalan birleştiren bir kiriş olabilir. Manyetik karakteristiğın doğrusal kılınmış kısmında, karakteristik büyüklüklerinin dalgalanmalar birbirine oranlı olur. Meselâ manyetik karakteristiğın doğrusal kısmında veya doğrusal kılınmış kısmında herhangi bir akı dalga şeklinde :

$$a_D = \frac{1}{d} \frac{S}{t} \cdot \psi \sim = L_D i \sim, L_0 = \hat{1} \quad (22)$$

$$w_0 = \frac{I_{\sim 0}}{I_{\sim}} = \frac{1}{L_D} \cdot \frac{\psi_0}{I_{\sim}} = \frac{L_0}{L_D} w_{e\psi} \quad (23)$$

$$w_S = \frac{I_{\sim \max}}{I_{\sim}} = \frac{1}{L_D} \cdot \frac{\psi_{\max}}{I_{\sim}} = \frac{L_0}{L_D} w_{S\psi}$$

elde edilir. Burada L_D çalışma noktasına ait sabit diferensiyel endüktans ve L_0 orta değerler akı endüktansıdır. Aynı dalgalanma tarifiinin muhtelif doğrusal kılma şekillerinde, çeşitli değerler verdiğiine dikkat etmelidir. Hesaplamanın kolaylaştırılması için, bir büyüklüğün değişken kısmı ekseriya sinüs biçimli farzedilir. O zaman alternatif kısmı aynı şekilde sinüs biçimli olan diğer büyüklüğün dalgalanması için :

$$1/2 w_e = w_R = w_E = w_B = \frac{L_0}{L_D} w_{S\psi} \quad (24)$$

bulunur. Mamafih böyle yaklaşık usuller uç ve titreşim genişliği dalgalanmalarının kullanılmasını asla gerektirmez.

8. Kanşık akım motorlerinde akım dalgalanmasının hesaplanması :

Bütün redresörler pratikte az veya çok dalgalanmalı bir kanşık gerilim verir. Muhtelif çalışmalarda, gerilimin orta değeri ve harmonikleri redresör açılmanın fonksiyonu olarak bulunmuştur. Bununla ilgili fonksiyon bağlantıları İçin teknik yayınlara (meselâ [6]) müracaat edilebilir. Akı ve akım dalgalanmaları ise şimdide kadar mevcut teknik yayınlarda İncelenmemiş bulunuyor. Aşağıda bu inceleme kanşık akım motorleri için genel geçerli bir şekilde yapılacaktır.

Esas kutup akısının değişken kısmının kanşık akım motorlarında ehemmiyetli bir rol oynadığı malûmdur. Tamamen alternatif akım kollektörlü motorlarında olduğu gibi, akı statorda demir kayıplarına ve kısa devre edilen endüi sanmlarında bir endükleme gerilimine sebep olur. Akının değişken kısmı ayrıca endüi akımının değişken kısmı ile bir döndürme momenti hasıl eder ki bu, düzeltme bobini olmayan kanşık gerilim motorlerinde önemli büyüklükte olabilir. Bu bakımlardan akım ve akı değişken kısımları arasındaki bağıntıyı bilmek ehemmiyetlidir. Esas kutup akım ve akısı arasındaki bağlantı manyetik karakteristikle elde edilir.

Cer motörlerinin doğru akım karakteristiği [24] e göre :

$$D = \theta + F' \quad (25a), \quad D = \theta_j \theta_B \quad (25b) \quad F \gg \theta_0 \quad (25c)$$

yaklaşık denklemi ile gösterilecektir. Burada θ akıyı, θ ampersarımı ve F ile D bunların oranlanmış değerlerini gösterir. Oranlama büyüklükleri $\langle \theta \rangle_B$ ve $\langle \theta \rangle_B$ hava aralığı doğrusu üzerinde, hava aralığı ve demir ampersanmlanmn eşit olduğu noktanın koordinatıdır.

Hesaplamalar, ψ ortalama akıya ψ_{11} genlikli ve w_{s1} tepe dalgalanmalı (kısaltma olsun diye bundan böyle yalnız w yazılacaktır) sinüs biçimli bir kısmın bindirildiği :

$$JF = T + Fj \sin x = F \cdot (1 + w_a \sin x)$$

$$w_{s1} = F_1/F_2 = \Phi_1/\Phi_2 \quad x = \omega t \quad (26)$$

zorlanmış akıya dayanmaktadır. Parametre olarak kullanılan tepe dalgalanması için seçilen 0 ilâ % 80 değerleri, düzeltme bobini ve amortisman direnci olmadan yapılmış karışık gerilim motorleri dahil, pratikte rastlanan dalgalanmaları muhakkak ihtiva eder.

Ampersarımın azami değeri D_{max} ve asgari değeri D_{min} için :

$$D_{max} = D_{sin x} = F_1 + w F_2 + F_2^2$$

$$\bullet (1 + 7w + 21w^2 + 35w^3 + 35w^4 + 21w^5 + 7w^6 + w^7) \quad (27a)$$

$\bullet (11 - 7w + 21w^2 - 35w^3 + 35w^4 - 21w^5 + 7w^6 - w^7)$ bulunur. [24] teki neticeler nazari itibare alınarak çeşitli akım dalgalanmaları için aşağıdaki formüller elde edilir :

$$\sqrt{2} w_0 = \sqrt{2} \frac{I_{max}}{I_2} = \sqrt{2} \frac{D_{max}}{D_2} = \frac{\sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots}}{D_2} \quad (28)$$

$$w_0 = \frac{I_{max}}{I_2} = \frac{D_{max}}{D_2} = w$$

$$1 + F^2 \left(7 + 10.5w + 35w^2 + \frac{175}{8} w^3 + 21w^4 + \frac{72}{16} w^5 + w^6 \right)$$

$$1 + F^2 \left(10.5w + 35w^2 + \frac{175}{8} w^3 + \frac{72}{16} w^4 + w^5 \right) \quad (29)$$

$$w_2 = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} =$$

$$= w \frac{1 + F^2 (7 + 35w + 21w^2 + w^6)}{1 + F^2 (1 + 21w^2 + 25w^3 + 7w^4)} \quad (30)$$

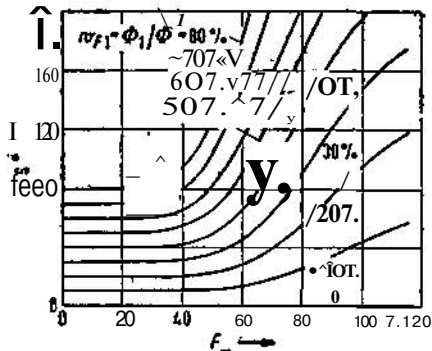
$$w_B = \frac{I_{max} - I_{min}}{2I_2} = \frac{F_{max} - D_{min}}{2D_2} =$$

$$= w \frac{1 + F^2 (7 + 35w + 21w^2 + w^6)}{1 + F^2 (1 + 10.5w + 35w^2 + 7w^3)} \quad (31)$$

$$w_{s1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{D_1}{D_2} =$$

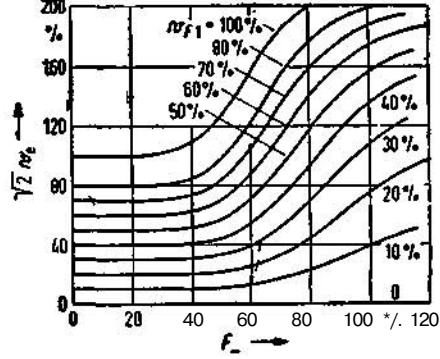
$$= w \frac{1 + 7F^2 \left(1 + \frac{15}{4} w^2 + \frac{30}{16} w^3 + \frac{5}{64} w^4 \right)}{1 + F^2 \left(1 + 10.5w + \frac{105}{8} w^2 + \frac{70}{32} w^3 \right)} \quad (32)$$

Diğer dalgalanmalarla mukayeseyi mümkün kılmak için efektif dalgalanma $\sqrt{2}U_e$ çarpılmış-

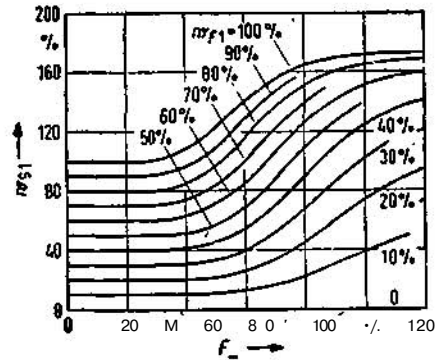


Şekil 4 - Karışık akım motorlerinde karışık akım tepe dalgalanmasının manyetik akti ortalama değerine göre değişmesi.

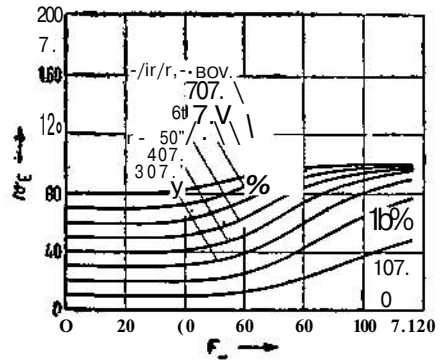
tır. Bulunan formüller akım dalgalanmasının akı dalgalanmasından sapmasının doymadan mütevellit olduğunu göstermektedir. Akım dalgalanması akı dalgalanmasının, doyma faktörü olarak kabul edilebilecek bir fonksiyonla çarpımına eşittir. Doyma faktörü doyma terimi P_f ile akı dalgalanması tarafından tayin edilir.



Şekil 5 - Karışık akım motorlerinde karışık akım efektif dalgalanmasının manyetik akti ortalama değerine göre değişmesi.

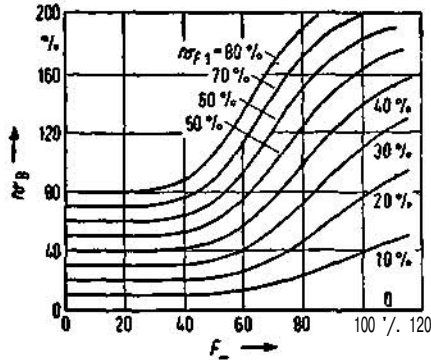


Şekil 6 - Karışık akım motorlerinde karışık akım için esas titreşim tepe dalgalanmasının manyetik akti ortalama değerine göre değişmesi.



Şekil 7 - Karışık akım motorlerinde karışık akım uç dalgalanmasının manyetik akti ortalama değerine göre değişmesi.

Çeşitli dalgalanmalar şekil 4 İla 8 de hesaplayıcılar için uygun bir şekilde gösterilmiştir. Verilen zorlanmış akı için yukarıda bulunmuş formüller, dalgalanmaların doğrudan doğruya hesaplanmasında da uygulanabilir. Arzu edilen doğruluğa göre ayrıca yüksek üslü w terimleri



Şekil : 8 — Karışık akım motorlerinde kartışık akım titreşim genişliği dalgalanmasının manyetik akı ortalama değerine göre değişmesi.

ihmal edilebilir. Dalgalanmaların doğru formüllerinin ve ilgi eğrilerin mukayesesinden aşağıdaki önemli eşitsizlik çıkar :

$$w_s > w_B > \sqrt{2} w_a > w_{s1} > w_E \quad (1^{33})$$

$$F_{*} / \#_B = 100\% \quad W = 200/0$$

$$br_a = 95,9 V_0 > w_B = 77,3\% > \sqrt{2} w_a = 76,6\% > w_{s1} = 74,4\% > w_E = 65,0\%$$

Verilen sayısal misâl bu eşitsizliğin mahiyetini daha iyi belirtmektedir. Ayrıca kabul edilen akı şeklinde, karışık akım motorlerinde en fazla kullanılan ve aslında bir yaklaşık değer olarak değerlendirilmesi gereken uç dalgalanmasının tepe dalgalanmasından ve $\sqrt{2}$ ile çarpılmış efektif dalgalanmadan ehemmiyetli derecede uzaklaştığı görülür. Titreşim genişliği dalgalanması ise $\sqrt{2} w_a$ için iyi bir yaklaşma sağlamaktadır. Fakat esas dalgalanmalar için verilen formüller tanımlanmaların kullanılmasız lüzumsuz kılmalıdır.

Genellikle çeşitli dalgalanmaların değerleri birbirinden farklıdır. Araştırılan manyetik karakteristiğin yalnız doğrusal kısmında $F_{*} = 0$ olduğundan :

$$\sqrt{2} w_a = w_B = w_E = w_{s1} = w \quad (34)$$

elde edilir. Akı tepe dalgalanmasının çok küçük değerleri için, manyetik karakteristiğin bütün kullanılma sahasında, akım dalgalanma formüllerinde sınır durumuna geçilerek :

$$2 w_0 = w_s = w_E = w_B = w \quad (35)$$

bulunur. Bu özel durum neticesi doğrudan doğruya da ispat edilebilir. Küçük akı dalgalanmaları için manyetik karakteristik yerine çalışma noktası civarında teğet konursa :

$$L_D = \frac{dF}{do} = \frac{1}{1 + 7 F^2} \quad (36a) \quad L_0 = \frac{F}{D_0} = TT \cdot T \quad (36b)$$

yazılabilir. Bu durumda yalnız mevcut olan akım esas harmoniği için :

$$\sqrt{2} w_a = w_E = w_B = w_s = \frac{F_1}{L_D D_0} = w \cdot \frac{1 + 7 F_1^2}{1 + F_1^2} = w \cdot \frac{F_1}{L_D}$$

bulunur. Bu netice yukarıda karakteristiğin doğrusal kısmı için görülen özel durumu ihtiva eder.

9. Araştırmada geçen teknik yayınlar :

- [1] Garreau, M. - Cour de Tracçon ElecUique Editions sciontifiques Riber, Paris 1957
- [2] Dumesnil, Le moteur de tracçon TAO 646 des locomotives BD 16 500. Rev gen Chorons de Fer 8d. 78 (1959) S 455-460.
- [3] Mignon, O., u. Lambena, P. - Les locomotives A ignitron-redresseurs tvee 2300 du B C K. Rev. Ateliers de constructions electriques de Charleroi 1960. S 2-12.
- [4] L'Eppele, K. - Die Browe Boverl Mutatorlokomolle (ür derv rhaetaf-tcaoa Braunkohlentagebau. Browa Boverl Mitt Bd. 44 (1957) S. 115 bis 133
- [5] Cot.E.S. u. K/bWewhic, G. G. The locomotives. Proc BriUsb RaUnways Electrification Coference, London 1960.
- [6] Blondel, Le moteur & courant continu alimente par det redresKautB monophases. Rev. gen. Chemint de Fer Bd 70 (1951) S 548-653.
- [7] Hibbard, L. J. u. V/hillakei, C. C. u. Ama. B. W. Rectifier-type, motive power (or railroad electrification. Trans. Amer. Inst. electl. Eng. I Bd. 69 (1950) S 519-523
- [8] Mandl, A. Single-poue 50 c/a c trectioD Ullng a rectSer. Proc Instn electr Eng A Bd im 19551 S 339-348
- [9] Jeli, A. Neucere Entwicklungsbeträge von Brown Boverl zur elek-trischen Traktion In Fraskrechl. Brom BÖSTII Mitt. Bd48 (1901) S. 362-572
- [10] Leyvrou, P. Der VVellsnipannungsmotor. Oitert Ing Z. Bd. 4 (1961) S. 190-192.
- [11] Küpplmüllfr, K. Einlühmn in die theoretische Elektrotechnll. 7. Aon. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1962. S. 336.
- [12] Amer. Inst. electr Eng * American Standard DefnÜons of electrical Terms Amer Inst electr Eng. New York 1941.
- [13] Leitfaden der Elektrotechnik Hng H Pricke. P. Moelter und T. Werr. Bd II, Teil 3. Kùblrr. E * Stromleitber. B. C Teubner VorlmgctoU-schalt, Stuttgart 1958
- [14] HOtte, Starkstromtedmlll Bd. IV A 2II Aud Verlag voo Wilhelm Ernst & Söru, Berlin 1957.
- [15] Beatimmungen (ür ÜuedcillberdampstromrEchter, VDE 0535/9 62
- [16] Stark.P. Die Kommütlerung VOQ Mischstrommotoren Elektr. Bahnen Bd 33 (1962) S. 210-214.
- [17] Andrew M. H. I. The adbulon of electric Locomotive». Proc. Instn electr Eng A Bd. 102 (1915) S. 785-807.
- [18] Hottet, W., u. Windt, W. Strom- und Spannungsverhältnjse von Zweiphasen-Gteidriditendralungen bel endlicher Glättang und bel Belastung auf Gegenspannung untar B-aditng der Anwendung für Glcld.itdterlokomotiven Elektr. Bd. 14 (1960) S. 195-205.
- [19] Demonvlgner, M.; Genörations des harmoniques de courant primlar par les redresseurs rapriophasés. Applications au locontotives a redreureut. Rev. gen Electr Bd. 64 (1956) S. 39-60.
- [20] Bauer, Pt.t Der Kondensaur in der Starkstromlecanlk. Verlag J Springer, Berlin 1934.
- [21] Bdnrc, W.- Durdsülagfettigkeit von flüügcm ond festom Benzol. Arch. Elektrotechn Bd. 31 (1937) S 141-165
- [22] Bredaer, R. Dielektrische Festgkollen und Veclute üüütlger Kohlaa* wasserstoffe mit und ohne Dipolcharakter. Arch. Elektrotecon. Bd. 31 (1937) S 351-371
- [23] Bode/eld, T. u. Se<juenz, H - Elektrische Maschinen. Springor-Ver. leg, Wien 1952
- [24] Ce/n, I.t FelddurchÖutung und FeldhauptindukUvIUÜt bel MU*. strom-Triebmotoren ETZA Bd 85 (1984) H. 19, S. 501-506
- [25] Spielhagen, W. Messung der VVolligkeit von Wellenströmen und VVellenspannungen. Aidi. aektrotedm. Bd. 27 (1933) S. 805-812.