##  KONDANSATÖRLER

## Sabit Elektrik Alanda Kondansatör

İki iletken elektrot arasında boşluk veya dielektrik bir madde olması durumunda oluşturulan yapılara kondansatör denir. İletken levhalara potansiyel farkının uygulanmasıyla, iletkenler Q kadar eşit ve zıt miktarlarda yüklenirler. Kondansatörün karakteristiğini veren büyüklük

olarak tanımlanan kapasitansıdır. Sırasıyla Q ve V ‘nin birimleri Coulomb ve Volt seçilirse sığanın birimi Farad olur.

*1 Farad = 1F = 1 Volt başına Coulomb = 1 C/V*

Kondansatörün geometrisine bağlı olarak farklı şekillerde kapasitans yazılabilir. En basit kondansatör, elektrotlar A yüzey alanına sahip düzlem plakalar halinde olduğunda ve plakalar arasında d kalınlığında boşluk bulunduğunda, kapasite

değerine sahiptir. boşluğun permitivitesi olarak adlandırılır ve değeri ’dir.

Kapasitenin değeri sadece plakaların geometrisine bağlıdır, plakaların yüküne veya potansiyel farkına bağlı değildir. Her plakanın alanı A ile doğru orantılı, plakalar arasındaki mesafe d ile ters orantılıdır. [37] Kapasite, plakalar arasında belli bir potansiyel fark üretmek için ne kadar yük uygulanması gerektiğinin bir ölçüsüdür. Daha büyük sığa daha çok yük gerektirir.

**+ + + + + + + + + + +**

 **+**

 **+**

**\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_**

 **+**

 **+**

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.1:** Boşluk kondansatörünün paralel plakaları arasında oluşan elektrik alan çizgileri.

Kondansatör plakalarına potansiyel farkı uygulandığında, plakalar arasındaki elektrik alanın düzgün olarak oluşturulması için plakalar arasındaki d mesafesi plakaların yüzeyinin büyüklüğüne göre oldukça küçük seçilmelidir.

Kondansatörün plakaları arasında bir dielektrik madde yerleştirildiğinde kondansatörün kapasitesi, plakalar arasındaki dielektrik maddenin permitivitesi olmak üzere,

şeklindedir. Plakaları arasında boşluk bulunan bir kondansatör kapasitesi,

şeklinde gösterilirse, dielektrik maddenin plakalar arasına yerleştirilmesiyle kondansatörün kapasitesinde bir değişim meydana gelecektir.

Bu değişim

oranında potansiyel farkında bir azalmadır. Bunun sonucunda kondasatör daha fazla yüklenebilecektir. sabiti 1’den büyük bir değer olduğundan, olacaktır.

Bundan dolayı kapasite değeri

şeklinde bir artış gösterir.

 olmak üzere ya dielektrik sabiti veya rölatif permitivite denir. Dielektrik sabiti K sadece bir sayıdır, boyutu yoktur.

Buna göre dielektrikli kondansatörün kapasitesi,

şeklinde gösterilebilir.

(2.7) numaralı formül gereğince d plakalar arasındaki mesafe küçüldükçe kondansatörün sığası çok büyük değerler alabilir. Pratikte d’nin alacağı en küçük değer, plakalar arasındaki dielektrik ortama doğru olabilecek elektrik boşalması nedeniyle sınırlıdır. Bir kondansatörde plakalar arasında oluşturulabilecek maksimum elektrik alan şiddeti ya da yük boşalması olmayacak şekilde kondansatöre uygulanacak maksimum potansiyel farkı dielektrik sabiti ’ya bağlıdır. Eğer burada maksimum değer aşılırsa, dielektrik madde özelliğini kaybederek iletken özellik (Breakdown Effect) göstermeye başlar.

Oda sıcaklığında bazı maddelerin dielektrik sabiti ve dielektrik şiddeti tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.1:** Bazı malzemelerin 20oC’de K-dielektrik sabitleri

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Malzeme | K | Malzeme | K |
| Boşluk | 1 | Polivinil klorür | 3.18 |
| Hava (1 atm) | 1.00059 | Mylar | 3.1 |
| Hava (100 atm) | 1.0548 | Cam | 5-10 |
| Teflon | 2.1 | Neopren | 6.70 |
| Poletilen | 2.25 | Germanyum | 16 |
| Benzen | 2.28 | Gliserin | 42.5 |
| Mika | 3-6 | Su | 80.4 |
| Poliviniliden diflorür | 11-12 | Poliüretan | 6-8 |

### 1. Dielektrik Maddenin Mikroskopik Boyutta İncelenmesi

Aralarında d mesafesi bulunan eşit ve zıt büyüklükteki (+q) ve (-q) yüklerinin meydana getirdiği yapı elektrik dipol olarak adlandırılır. Elektrik dipoller, elektrik dipol momentleriyle temsil edilirler. Q yüküne sahip yüklerden meydana gelen bir elektrik dipolün dipol momentinin büyüklüğü, d yükler arasındaki mesafe olmak üzere,

şeklinde gösterilir.

Kondansatör plakaları arasında dielektrik madde olduğunda, plakalar arasındaki potansiyel farkının (2.5) ilişkisi ile verilen azalmasına bağlı olarak elektrik alanının da,

oranında azalması gerektiğini gösterir.

Bu durumu sürekli dipol momentlerine sahip bir dielektrik maddeyi göz önüne alarak açıklayalım. Plakalar arasında elektrik alan yokken dipoller, şekil 2.2’de gösterildiği, rastgele dağılmıştır.

Kondansatörün plakalarına bir potansiyel farkı uygulandığında, plakalar arasındaki dielektrikteki dipollerin üzerine bir tork etki eder. Bu tork, dipolleri uygulanan elektrik alan doğrultusunda şekil 2.3-a’daki gibi yönelmeye zorlar.

 **= 0**

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.2:** Dış elektrik alanın olmadığı durumda dielektrikteki dipollerin rastgele dağılımı.

Şekil 2.3-a

Şekil 2.3-b

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.3-a,b:** Dış elektrik alan uygulandığında, dielektrik maddenin yapısında rastgele dağılmış bulunan dipollerin uygulanan alan doğrultusunda yönelimi.

Dipollerin yönelme miktarı, elektrik alanın büyüklüğüne ve sıcaklık parametrelerine bağlıdır.

Eğer plakalar arasındaki dielektrik madde sürekli dipol momentlerine sahip değilse, uygulanan dış elektrik alan ile dielektrikte bir indüklenme meydana gelir. Bu indüklenme dielektrik maddeyi oluşturan polar olmayan moleküllerin çakışık durumda bulunan (+) ve (-) yük merkezlerinin birbirlerinden küçük bir mesafe kadar ayrılmalarına sebep olur. Benzer şekilde indüklenme ile oluşan dipoller, uygulanan dış elektrik alandan kaynaklanan torkun etkisinde şekil 2.4’de gösterildiği gibi, bir dönme hareketi gerçekleştirirler. Yük çifti üzerine etki eden net kuvvet sıfır olmasına rağmen, kuvvet çifti, sistemi dönme hareketine zorlar. Bunun sebebi sistem üzerine şekil 2.5’de görüldüğü gibi bir tork’un etki etmesidir.

**+q**

**-q**

**θ**

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.4:** Dipolün uygulanan elektrik alandaki davranışı.

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.5:** Dipolün dönme hareketine neden olan tork.

Plakalar arasına dielektrik madde konulduğunda elektrik alanda meydana gelen azalma Gauss Yasası yardımıyla açıklanabilir.

**Plakalar arasında boşluk varken :** Şekil 2.3-a’daki gibi Her iki plaka üzerindeki yükü, paralel bir plakalı bir kondansatörün plakaları arasındaki elektrik alan ile ilişkilendirmek için Gauss yasasını kullanalım.

şeklindedir.

**Plakalar arasında dielektrik malzeme varken :** Paralel plakalı bir kondansatörün plakaları arasında şekil 2.3-b’deki gibi bir Gauss yüzeyi seçilirse elektrik alan

şeklindedir. Buradaki , plakalar arasındaki dielektrik maddenin yüzeylerinde indüklenme ile oluşan yükleri temsil eder. Beklenen Gauss yüzeyi üzerindeki net yük şeklindedir.

Gauss yüzeyi

Gauss yüzeyi

Şekil 2.6-a

Şekil 2.6-b

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.6-a,b:** Kondansatörün plakaları arasında boşluk varken yük dağılımı ve kondansatörün plakaları arasında dielektrik madde varken yük dağılımı

(2.10) bağıntısıyla verilen elektrik alanın büyüklüğünü yük cinsinden yazarsak,

buluruz. Plakalar arasında dielektrik maddenin olması durumunda toplam elektrik alan azalır. Azalmanın nedeni indüklenme sonucu dielektrik maddenin yüzeyinde biriken yüklerin ters yönde oluşturduğu elektrik alandır. Bu elektrik alanı ile gösterirsek, büyüklüğü;

şeklindedir.

(2.11) bağıntısı kullanılarak;

olarak elde edilir. Dielektriğin yüzeyindeki indüklenmiş yük miktarı plaka yüzeyindeki yük miktarından her zaman daha küçüktür. ()

*Bağlı yük*

*Dipol*

*Serbest yük*

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.7:** Dielektrikli kondansatörde gözlenen elektrik alanlar (Üç Alan Vektörü)..

Dielektrikte oluşan elektrik alan ve elektrik polarizasyon vektörünün birer vektör olmalarından dolayı elektrik deplasman da bir vektördür. Buna göre bu üç vektör arasında ilişkisi vardır.

Bir dış elektrik alan içinde yer alan dielektrik maddenin polarize olacağını biliyoruz. Birim hacimdeki toplam dipol momenti maddenin polarizasyon vektörü olarak tanımlanır. Plakalar arasındaki toplam elektrik alan

şeklinde tanımlanan elektrik deplasman vektörü ile gösterilir. (2.14) formülündeki ilk terim deplasman alanına, ikinci terim plakalar arasında uygulanan alana ve son terim de polarizasyon nedeniyle oluşan alana karşılık gelir. [38,39]

 yalnızca serbest yüklerle bağlantılı,

 yalnızca polarlanmış yüklerle bağlantılı,

 ise serbest ve polarlanmış tüm yüklerle bağlantılıdır.

*Q : Toplam Yük : Serbest Yükler*

Yük yoğunluklarını alan vektörleri ile göstereceğiz.

 *s : yoğunluk*

 elektriksel akı yoğunluğu (deplasman alanı)

Normal bileşenini aldığımızda ;

D vektörünün ve birim normal vektörünün skaler çarpımının pozitif değeri, pozitif yükü belirtir.

Aynı şekilde, serbest yük yoğunluğu,elektrik alan şiddeti veya alan yoğunluğu şöyle yazılabilir.

Bağlı yük vektörü , polarizasyon

(2.16) ve (2.17) denklemlerinden akı yoğunluğu ve elektrik alan şiddeti arasındaki ilişki ve (2.16) ile (2.18) arasındaki 3 vektör alanı arasındaki ilişki şöyledir :

*χ : Süseptibilite*

### 3. Değişken Elektrik Alanda Kondansatör

Plakaları arasında boşluk bulunan kondansatörün plakaları arasında açısal frekanslı bir potansiyel fark uygulanırsa,

kondansatör,

yükü ile yüklenir. Bu yüklenmeye neden olan yükleme akımı;

şeklindedir. Yükleme akımı ie uygulanan voltaj arasında 90o faz farkı vardır. Yanı akım uygulanan voltajdan 90o ileridedir.

Eğer plakalar arasında bir dielektrik malzeme varsa, akım ile uygulanan voltaj arasındaki faz farkı 90o  den farklı olacaktır. Yani fark farkı 90 değil 90- kadar olur. Bu durum fazör diyagramıyla gösterilir. [38,40,41]

**V**

**I**

**I**

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.8:** Değişken dielektrik alan uygulanan kondansatörün plakaları arasındaki dielektrik maddede ortaya çıkan yükleme ve kayıp akımlarının fazör diyagramıyla gösterimi.

Buna göre akımın uygulanan potansiyel farkıyla aynı fazda olan bir bileşeni olmalıdır. Bu bileşene kayıp akımı denir ve ile gösterilir. Kondüktans olmak üzere,

ile gösterilir.

Kondansatördeki toplam akım,

şeklindedir.

Dielektrikteki enerji kaybından dolayı, yükleme akımı ile toplam akım arasında faz farkı meydana gelir. Kayıp faktörü yükleme akımı ile toplam akım arasındaki faz açısının tanjantı alınarak hesaplanır:

Toplam akım bu ifadeden faydalanılarak,

şeklinde ifade edilebilir.

Kısaltması kullanılır. Bu durumda κ\*

şeklinde tanımlanır ve şeklinde yazılır. Öte yandan dielektrikli kondansatör için fazör diyagramı dikkate alınarak,

Gerekli işlemler yapıldığında,

bulunur. Buradan kayıp faktörünün dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısımlarının oranı olduğu görülür.

Akım yoğunluğu,

şeklindedir.

olmak üzere, bu iletkenliğe ait akım yoğunluğu;

elde edilir. Buna dielektrik ortamın değişken alan iletkenliği denir.

## 2.2.POLARİZASYON MEKANİZMALARI

Dielektrik malzemeler, elektrik alana polarize olarak cevap verir. Polarizasyon vektörü kondansatörün plakalarının yüzeylerindeki nötürleşmiş yüklerle ilgilidir. Elemanter partikülün ortalama dipol momenti

şeklinde ilişkilendirilebilir. Orantı faktörü α polarizlenebilme katsayısıdır ve yerel dielektrik alandır. Polarizasyonunun uygulanan elektrik alan ve dielektrik sabiti ile ilişkisi (2.19) numaralı denklemi kullanarak,

eşitliği ile gösterilir.

Bu denklemde makroskopik boyutta dielektrik sabiti 3 mikroskopik parametre ile ilişkilendirilmiştir:

1. Birim hacim başına katkıda bulunan temel parçacıkların sayısı N
2. Polarizlenebilirlik α
3. Yerel olarak elektrik alan

### 2.2.1. Dielektrik Rölaksasyon

Rölaksasyon zamanı, elektrik alanın bir periyot içinde değişim yapması sonucu ile o periyot içinde dipolün yönelme yapması için geçen zaman şeklinde de tanımlanabilir. Rölaksasyon frekansı, malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Elektrik alanın frekansı, rölaksasyon frekansından küçük olduğu zaman polarizlenebilme kolayca oluşur ve elektrik alanı izler. Bu durumda dielektrik kayıplar, ihmal edilecek kadar azdır. Frekans artarak rölaksasyon bölgesine ulaşınca, polarizlenebilme alana uymakta zorlanır ve faz farkı artar. Bunun sonucunda, dielektrik kayıplar maksimum olur. Frekans giderek artmaya devam ederse, polarizlenebilme meydana gelemez ve dielektrik sabiti hızla azalmaya başlar. Polarizlenebilmeoluşmadığında ise, dielektrik kayıp olmayacaktır.

### 2.2.2. Elektronik Polarizasyon

Bir atomun çekirdeği elektrik açıdan nötronlar ve pozitif yüklü protonlardan oluşur. Negatif yüklü elektronlar ise çekirdek etrafındaki kapalı yörüngelerde hareket ederler. Yani madde elektriksel olarak düşünüldüğünde, negatif elektron bulutu ile çevrelenmiş pozitif bir çekirdekten meydana gelir. Bir dış elektrik alan dielektriğe etkidiğinde elektron bulutunun kütle merkezi çekirdeğe oranla az miktarda yer değiştirir. Böylece dipol momentleri meydana gelmiş olur. Bu durum maddenin elektronik polarizasyonu olarak adlandırılır.

Elektronik boyutta yer değiştirmenin sonucu olarak çıkan elektronik polarizasyonun aksine atomik polarizasyon çok atomlu bir molekülün bir dış elektrik alan altında molekülü oluşturan atom merkezlerinin göreceli olarak birbirlerine göre çok küçük miktarlarda yer değiştirmesi neticesinde meydana gelir ve spektrumda infrared bölgesindedir. Elektronik polarizasyona benzer. Atomik polarizasyonda dielektrik kayıp az olduğundan toplam ısınmaya katkısı da azdır.

Elektrik alan uygulandığında meydana gelen dipol momenti ’nin molekül üzerine yerel olarak etki eden alanıyla oluşacağından, meydana gelen polarizasyon,

ifadesi ile gösterilir.

Burada molekülün polarizlenebilirlik katsayısıdır. İki ara terimin toplamından meydana gelir:

 elektron bulutunun elektrik alan etkisi altında yer değiştirme kabiliyetini; diğer bir deyişle polarizlenebilirliğini temsil eder. çekirdeğim polarizlenebilirliğidir. Atomik polarizlenebilme katsayısı da denebilir. Elektrik alanın etkisi altında çekirdeğin hareket etme kabiliyetini temsil eder.

Bu polarizasyon türü, atomun elektronik yapısı sıcaklıktan etkilenmediğinden sıcaklığa bağlı değildir. Yani polarizlenebilirlik katsayısı sıcaklığa bağlı değildir.

Bütün atomlar bu tip polarizasyona kısa zaman aralıklarında uğrarlar. Kısa rölaksasyon zamanları yüksek frekanslarda gözlenen bir olaydır. Elektronik polarizasyon Hz, atomik polarizasyon ise Hz frekans aralığında meydana gelir.

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.9:** Elektronik polarizasyon.

### 2.2.3. İyonik Polarizasyon

Elektronik polarizasyonun bir benzeri olarak kristal örgüyü meydana getiren iyonların elektrik alanın gerektirdiği hareket etmeleri sonucunda dipollerin oluşması iyonik polarizasyon tanımlanır. İyonik polarizasyon katsayısı ile temsil edilir. Zıt yüklerin zıt yönlü hareketlerinden meydana gelir. İyonlar elektronlara göre daha ağır olduklarından elektronik polarizasyona göre daha uzun bir zaman aralığı gerektirir. Bu yüzden daha düşük frekanslarda gözlenir. Genel olarak iyonik malzemelerde meydana gelir.

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.10:** İyonik polarizasyon.

### 2.2.4. Dipolar Polarizasyon

Bazı moleküller (örneğin su ) asimetrik yapısı gereğince kendiliğinden dipol momentine sahiptir. Bu tür moleküllere bir dış elektrik alan uygulandığında yapıda bulunan dipol momentlerinin üzerine tork uygulanır ve bunun sonucunda moleküllerin uygulanan elektrik alanın gerektirdiği yönde yönelmeleri gerçekleşir. Bu şekilde meydana gelen polarizasyon dipolar polarizasyon olarak adlandırılır ve ile temsil edilir.

Dipolar polarizasyon, genel olarak, 1kHz ile 1MHz arasındaki frekans değerlerinde gözlenir. Dipol rölaksasyonu sıcaklık ve çevredeki kimyasallara bağlı olarak değişir.

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.11:** Dipolar polarizasyon.

### 2.2.5. Yüzeyler arası Polarizasyon

Elektronik, iyonik ve dipolar polarizasyon mekanizmaları, bağlı yük taşıyıcılarının yer değiştirmesi ya da dönmesinden kaynaklanırken, yüzeyler arası polarizasyon, dielektrik maddeyi oluşturan örgü ve tabaka yüzeyleri arasındaki kırık veya çatlaklara yüzey yüklerinin birikmesi sonucunda meydana gelir. Yüzeyler arası polarizasyon polarizlenebilme katsayısı ile temsil edilir. Dielektrikler iyi iletkenler olmadıklarından yük taşıyıcıları yavaş hareket ederler. Dolayısıyla polarizasyonun meydana gelmesi de yavaş bir süreçtir.

Bu sebeple yüzeyler arası polarizasyon Hz civarindaki frekanslarda ve genel olarak elektriksel açıdan heterojen materyallerde gözlenir.

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.12:** Yüzeyler arası polarizasyon.

##

## 2.3.CLASIUS-MOSOTTI-LORENZ-LORENTZ DENKLEMİ

Polarizasyonun değeri, üzerine etki eden yerel alanın büyüklüğüne bağlıdır. Yerel alan, molekül üzerine etki eden elektrik alan büyüklüğüdür. Polar olmayan moleküllerden oluşan bir dielektrik madddede dış elektrik alanın etkisinde dipollerin oluşumunun bir modelini inceleyelim.

Katılarda ve sıvılarda, bir A referans molekülüne etkiyen dış elektrik alan, çevrede bulunan diğer moleküllerin polarizasyona uğraması dolayısıyla azalır. Etkiyi hesaba katmak için şekil 2.14’deki model göz önüne alınabilir.

**+σp**

**-σp**

 X

 y

 z

 **r**

**A**

**Şekil** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.13:** Dielektrikte meydana gelen yerel alan.

Madde içinde göz önüne alınan A referans molekülünün etrafının sanal bir küreyle çevrelendiğini varsayalım. Kürenin yarıçapı referans molekülünün küre dışında kalan molekülleri teker teker algılamayacağı şekilde olsun. Küre içindeki moleküller küre dışındaki polarizasyonun değişmediği kabul edilerek bir an için yok varsayılırsa, A molekülü üzerine etkiyen elektrik alan iki alandan kaynaklanır.

 : Elekrot plakalarının yüzeyindeki serbest yüklerden kaynaklanan elektrik alan,

 : Kutuplanmış dielektrik ortamın dış yüzeylerinde oluşan ±σ bağlı yüklerin alanı

 : Sanal kürenin sınırlarını belirleyen, dipol zincirlerinin serbest uçlarından kaynaklanan elektrik alan (Lorentz Yerel Alanı)

 : Oyuk içinde bulunan dipollerin oluşturduğu alan

Aslında sanal küre içerisinde A molekülü civarında başka moleküller de vardır. Bu moleküller A molekülüne oldukça yakın konumda bulunurlar ve bundan dolayı her birinin konumları ve şekilleri de göz önüne alınmalıdır. Bu moleküllerin oluşturduğu bir alanı vardır. Bu alan da hesaba katıldığında,

olur.

Ortamın makroskobik alanına dersek ;

 yüzeye dik birim vektördür.

Bu sonuç oyuğun geometrisinden bağımsız ve oldukça geneldir. Lorentz alanı olarak da bilinen () , P kutuplanmasıyla ortaya çıkan oyuğun dışındaki dipollerden gelen katkıdır.

Küresel oyuk yüzeyinde oluşan kutuplanma yüklerinin yüzey yük yoğunluğu,

Kutupsal koordinatları kullanırsak bu yüklerin küre merkezinde oluşturduğu elektrik alanı () için hesaplayabiliriz. () hesaplamak için sanal kürenin yüzeyindeki yük yoğunluğunun polarizasyon vektörü cinsinden

Buna göre

Gerekli hesaplamalar yapıldığında,

Kısmi integral sonucu (2.44) numaralı denklemde yerine yazıldığında,

Küre yarıçapını çok küçük varsaydığımız için P vektörü küre içinde sabit olur. Oyuk içindeki yakın moleküler dipollerin oluşturduğu alanı saptamak, özel geometrik yapı dışında çok zordur. Bu Bilgiler elde edilebilir olsa da, matematiksel bir yaklaşımla moleküllerin katkısını belirlemek zordur. Lorentz, basit bir kübik örgüdeki çift kutuplar için, her örgü köşesinde E4 alanının sıfır olduğunu göstermiştir. Böylece basit kübik örgüler için = 0 ise, tümü ile gelişigüzel durumlar için de = 0 olması düşünülebilir.

Bu durumda dielektrik bir ortamda bulunan bir dipol üzerine etkiyen net yerel alan, ortamdaki makroskobik alanı ile Lorentz alanının () toplamına eşit olmalıdır.

Şeklinde makroskopik parametreler cinsinden ifade edilmiş olur.

Dipol momentleri için

Makroskobik dipol moment yoğunluğu

Dielektrik polarizasyonuna ait mikroskobik büyüklüklerle makroskopik büyüklükler arasında ilişki kuran Mosotti ifadesi,

elde edilir.

Böylece polarizasyonun temelini oluşturan dipole ait polarlanabilme katsayısı ile dielektrik sabiti arasındaki ilişki kurulmuş olur.

Ayrıca

*<< 1* bu durumda, 3 sayısının yerini alabilir.

*α* : polarlanabilirlik

*N* : Birim hacimdeki polarlanabilir elektron (molekül) sayısı

*χ* : Yapının elektrik alan başına ne kadar polarlandığını verir.

Loschmidt sayısı :

M : Molekül ağırlığı olarak tanımlanabilir.

 : yoğunluk ()

(2.52) numaralı denklemde N yerine N0 yazarsak,

Lorentz, bağıl dielektrik sabitini Maxwell ilişkisine göre kırılma indisinin karesine eşit olabileceğini söylemektedir.

Lorentz-Lorenz

Bu iki eşitlikten daha genel bir formüle erişebiliriz ;

Clasius-Mosatti-Lorentz-Lorenz denklemini elde etmiş oluruz.