

TEKNIK TEGANGAN TINGGI TEL12068

Dr Ir Dina Maizana MT

Mari kita berdoa menurut agama dan kepercayaan masing-masing sebelum kelas dimulai.

Doa dimulai...



CAPAIAN PEMBELAJARAN MATAKULIAH (CPMK)

1. Mahasiswa mampu menganalisa Klasifikasi dielektrik cairan, Karakteristik dielektrik cairan, Hantaran dan breakdown dalam cairan murni, dan Hantaran dan breakdown dalam cairan komersil

Topik

1. Pendahuluan
2. Klasifikasi dielektrik cairan
3. Karakteristik dielektrik cairan
4. Hantaran dan breakdown dalam cairan murni
5. Hantaran dan breakdown dalam cairan komersil

Pendahuluan

- Dielektrik cairan digunakan secara umum sebagai impregnan dalam kabel tegangan tinggi dan kapasitor dan untuk pengisian trafo dan pemutus rangkaian dll..
- Bekerja sebagai agen pengirim panas (dalam trafo) dan sebagai media pendingin busur.
- Faktor yang paling penting adalah kekuatan listrik minyak isolasi, keberadaan air dalam bentuk tetesan halus dalam minyak. Kekuatan dielektrik minyak berkurang lebih cepat jika minyak berisi kotoran berserat dalam penambahan air.
- Dalam pemakaiannya, pilihan dielektrik cair adalah dibuat secara umum pada basis kestabilan kimianya.

Peralatan listrik yang menggunakan dielektrik cair



Power transformer

Power capacitor



Switchgear

Klasifikasi dielektrik cair

- Minyak trafo (mineral oil)
- Minyak silikon
- Hidrokarbon Sintetis
- Hidrokarbon Diklorinasi
- Ester
- Perkembangan Terbaru

Minyak trafo

- Paling murah dan kebanyakan digunakan pada peralatan daya
- Sebagian besar cairan tidak berwarna terdiri dari campuran karbon cair
- Proses penuaan secara bertahap, ketika cairan dalam transformator mengalami pemanasan yang berkepanjangan pada suhu tinggi sekitar 95°C
- Seiring waktu minyak menjadi lebih gelap karena pembentukan asam dan resin, atau lumpur dalam cairan.

Minyak Silikon

- Sebagai alternatif untuk polychlorinated biphenyl (PCB) tetapi harganya mahal
- Pada suhu 150 ° C mereka menunjukkan stabilitas termal jangka panjang yang tinggi
- Tahan terhadap bahan kimia dan oksidasi, bahkan pada suhu yang lebih tinggi
- Pengganti yang dapat diterima untuk PCB dalam transformator meskipun sifatnya yang tidak mudah terbakar sedikit lebih rendah.

Hidrokarbon Sintetis

- Poliolefin adalah dielektrik pilihan untuk aplikasi pada kabel daya
- Lebih dari 55% hidrokarbon sintetis yang diproduksi di seluruh dunia saat ini adalah Polyolefin.
- Olefin yang paling umum digunakan adalah polibutilena dan hidrokarbon alkil.
- Karakteristik umum sangat mirip dengan minyak mineral.

Hidrokarbon Diklorinasi

- Askarels dan Polychlorinated biphenyl (PCB)
- Memiliki titik api tinggi dan properti listrik yang sangat baik tetapi dalam beberapa tahun terakhir telah dilarang di seluruh dunia, karena menimbulkan bahaya kesehatan yang serius

Esters

- Ester alami (minyak jarak) telah digunakan sebagai kapasitor impregnan selama bertahun-tahun, tetapi saat ini dua jenis ester sintetis sedang digunakan yaitu Ester organik dan ester fosfat.
- Ester organik memiliki: titik didih tinggi, titik api tinggi, hubungan suhu-viskositas yang baik, digunakan secara luas dalam kapasitor.
- Ester fosfat memiliki: titik didih tinggi, mudah terbakar rendah, digunakan pada transformer (di daerah berbahaya)

Perkembangan Terbaru

- High Temperature Hydrocarbon (HTH) memiliki:
 - Isolasi listrik yang baik
 - Sifat perpindahan panas yang memadai
 - Secara kimiawi mirip dengan minyak transformator, tetapi memiliki titik didih lebih tinggi titik api yang lebih tinggi
 - Viskositas yang lebih tinggi mengurangi kemampuan perpindahan panas.
- Tetra chloroethylene (Cl₂Cl₄)
 - Cairan isolasi yang tidak mudah terbakar
 - Viskositas yang sangat rendah, memberikan transfer panas yang sangat baik

Karakteristik dielektrik cair

1. Properti Listrik
2. Karakteristik Transfer Panas
3. Stabilitas kimia

Sifat-sifat listrik yang penting dalam menentukan kinerja dielektrik dielektrik cair adalah:

- Kapasitansi per unit volume atau relatifitas relatif Tahanan
- Kehilangan garis singgung (tan d) atau faktor daya
- Kemampuan untuk menahan tekanan dielektrik yang tinggi

Properti Listrik

- Izin sebagian besar minyak bumi bervariasi dari 2,0 hingga 2,6 dan minyak silikon dari 2,0 hingga 73.
- Tahanan menggunakan aplikasi tegangan tinggi lebih dari 10^{16} ohm-meter
- Faktor daya, menentukan kehilangan daya dan merupakan parameter penting dalam kabel dan kapasitor.
- Dalam kasus transformator, kerugian dielektrik dalam minyak dapat diabaikan jika dibandingkan dengan kerugian tembaga dan besi. Oli murni dan transformator, faktor daya bervariasi 10^{-4} pada 20°C dan 10^{-3} pada 90°C .

Properti listrik

- Kekuatan Dielektrik adalah parameter terbanyak.
- Tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri.
- Secara praktis kekuatan dielektrik tergantung pada
 - Bahan dari elektroda
 - Suhu
 - Jenis tegangan yang diberikan
 - Kandungan gas dalam cairan.

Karakteristik Transfer Panas

- Faktor utama yang mengontrol perpindahan panas adalah konduktivitas termal (K) dan Viskositas (ν)
- Panas ditransfer terutama oleh konveksi. Dibawah konveksi kondisi pendinginan atm alami (N) diberikan oleh

$$N = f[K^3 AC / \nu]^n$$

K = konduktivitas termal ; A = Koefisien ekspansi

C = panas spesifik per satuan volume, ν = viskositas kinematika ;

n = 0.25 -0.33

Stabilitas kimia

- Cairan isolasi mengalami tekanan termal dan listrik dengan adanya bahan seperti oksigen, air, serat dan lain-lain.
- Ini akan menyebabkan degradasi cairan yang dapat menyebabkan korosi, gangguan perpindahan panas, penurunan sifat listrik, peningkatan kerugian dielektrik, pelepasan dan penguncian.

KONDUKSI DAN KERUSAKAN DALAM CAIRAN MURNI

- Gambar 3.3 menunjukkan karakteristik medan listrik-arus konduksi dalam cairan hidrokarbon. Kurva memiliki tiga wilayah berbeda.

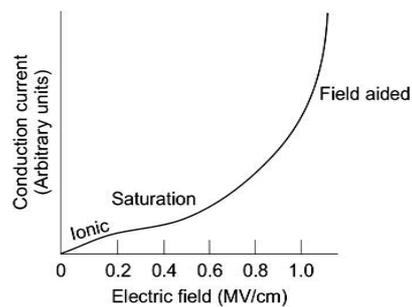


Fig. 3.3 Conduction current-electric field characteristic in a hydrocarbon liquid

Lanjutan

- Pada medan yang sangat rendah, arus disebabkan oleh disosiasi ion. Dengan medan menengah, arus mencapai nilai saturasi, dan pada medan tinggi arus yang dihasilkan karena emisi elektron yang dibantu medan dari katoda akan dikalikan dalam medium cair oleh mekanisme Townsend
- Perkalian saat ini juga terjadi dari elektron yang dihasilkan pada antarmuka cairan dan pengotor..
- Tegangan rusak tergantung pada bidang, pemisahan celah, fungsi kerja katoda dan suhu katoda. Selain itu, viskositas cairan, suhu cairan, densitas dan struktur molekul cairan juga mempengaruhi kekuatan penguraian cairan.

Lanjutan

- Kekuatan tembus maksimum tipikal dari beberapa cairan dan gas yang sangat murni diberikan pada Tabel 3.1. Kekuatan pemecahannya lebih besar jika gas terlarut bersifat elektronegatif (seperti oksigen).
- Demikian pula peningkatan tekanan parsial oksigen berkembang dan tekanan hidrostatis cair akan meningkatkan kekuatan kerusakan n-heksana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan 3.5.

Tabel 3.1

Liquid	Maximum BD MV/cm
Hexane	1.1 – 1.3
Benzene	1.1
Transformer oil	1.0
Silicone	1.0 – 1.2
Liquid oxygen	2.4
Liquid nitrogen	1.6 – 1.9
Liquid Hydrogen	1.0
Liquid Helium	0.7
Liquid Argon	1.1 -1.42

KONDUKSI DAN KERUSAKAN DALAM CAIRAN MURNI

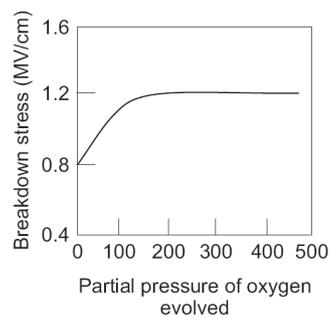


Fig. 3.4 *Effect of oxygen gas evolved on the breakdown stress in n-hexane*

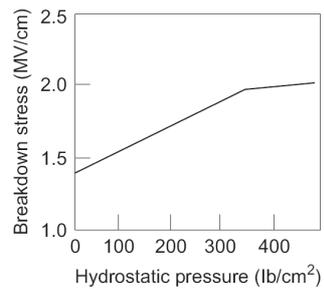


Fig. 3.5 *Effect of hydrostatic pressure on breakdown stress in n-hexane*

KONDUKSI DAN KERUSAKAN DALAM CAIRAN KOMERSIAL

- Cairan isolasi komersial tidak murni secara kimia dan memiliki kotoran seperti gelembung gas, partikel tersuspensi dll. Pengotor ini mengurangi kekuatan kerusakan.
- Ketika kerusakan terjadi dalam cairan ini, gas dan gelembung gas tambahan dikembangkan dan produk dekomposisi padat terbentuk.

3.5 KONDUKSI DAN KERUSAKAN DALAM CAIRAN KOMERSIAL

- Mekanisme pemecahan tergantung pada sifat dan kondisi elektroda, sifat fisik cairan dan kotoran dan gas hadir dalam cairan.
- Secara umum mekanisme gangguan diklasifikasikan sebagai berikut
 - a) Mekanisme Partikel Ditangguhkan
 - b) Mekanisme Kavitasi dan Gelembung
 - c) Mekanisme Terma

a) Mekanisme Partikel Ditangguhkan

- Kotoran akan hadir sebagai serat atau partikel padat yang terdispersi.
- Permittivitas partikel ini (ϵ_2) akan berbeda dari permittivitas cairan (ϵ_1).
- Jika kita menganggap kotoran sebagai partikel bola jari-jari r , partikel-partikel tersebut mengalami gaya F

$$F = \frac{1}{2r^3} \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{2\epsilon_1 - \epsilon_2} \text{grad}E^2$$

Lanjutan

- Jika tegangan terus diterapkan (d.c.) atau durasi tegangannya panjang (a.c.), maka gaya ini menggerakkan partikel menuju area stres maksimum. Jika jumlah partikel yang ada besar, mereka menjadi sejajar karena kekuatan-kekuatan ini, dan dengan demikian membentuk rantai yang stabil menjembatani celah elektroda menyebabkan kerusakan antara elektroda.
- Jika hanya ada satu partikel konduktor di antara elektroda, itu akan menimbulkan peningkatan medan lokal tergantung pada bentuknya. Jika bidang ini melebihi kekuatan kerusakan cairan, kerusakan lokal akan terjadi di dekat partikel, dan ini akan menghasilkan pembentukan gelembung gas, yang dapat menyebabkan kerusakan.
- Semakin besar ukuran partikel, semakin rendah kekuatan kerusakannya

Lanjutan

Proses-proses berikut telah bertanggung jawab untuk pembentukan gelembung uap.

- i) kantong gas di permukaan elektroda.
- ii) gaya tolak elektrostatis antara muatan ruang yang mungkin cukup untuk mengatasi tegangan permukaan.
- iii) produk gas akibat disosiasi molekul cair oleh tumbukan elektron.
- iv) penguapan cairan dengan jenis corona discharge

b) Teori Penggali dan Gelembung

Gelembung akan memanjang ke arah medan listrik di bawah pengaruh gaya elektrostatik. Kerusakan terjadi ketika tegangan turun sepanjang gelembung menjadi sama dengan nilai minimum pada kurva Paschen, dan bidang kerusakan diberikan sebagai

$$E_0 = \frac{1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \left[\frac{2\pi\sigma(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{r} \left\{ \frac{\pi}{4} \sqrt{\left(\frac{V_b}{2rE_0} \right) - 1} \right\} \right]^{\frac{1}{2}}$$

σ : tegangan permukaan cairan

ε_1 : permitifitas cairan

ε_2 : permitifitas gelembung gas

r : jari-jari awal gelembung (bentuk bola)

V_b : drop tegangan dalam gelembung

c) Mekanisme Termal

- Berdasarkan pengamatan eksperimental dari arus yang sangat besar sebelum kerusakan. Pulsa arus tinggi berasal dari ujung proyeksi mikroskopis pada permukaan katoda dengan kerapatan urutan $1 \text{ A} / \text{cm}^3$. Pulsa arus densitas tinggi ini memunculkan pemanasan lokal dari minyak yang dapat menyebabkan pembentukan gelembung uap.
- Ketika gelembung terbentuk, kerusakan mengikuti, baik karena perpanjangannya ke ukuran kritis atau ketika itu sepenuhnya menjembatani kesenjangan antara elektroda.
- Kekuatan pemecahan tergantung pada tekanan dan struktur molekul cairan.

Contoh

Dalam percobaan untuk menentukan kekuatan tembus minyak transformator, pengamatan berikut dilakukan. Tentukan ketergantungan hukum daya antara jarak celah dan tegangan oli yang diterapkan.

Jarak celah(mm)	4	6	8	10
Tegangan breakdown (kV)	88	135	165	212

Penyelesaian

Hubungan antara voltase dan celah biasanya diberikan sebagai

$$V = Kd^n$$

Tujuan kami adalah untuk mengetahui nilai-nilai K dan n. Mengganti nilai-nilai dari dua pengamatan, kami miliki

$$88 = K \cdot 4^n$$

$$165 = K \cdot 8^n$$

$$\frac{165}{88} = \frac{8^n}{4^n} = 2^n$$

$$1.875 = 2^n$$

$$0.6286 = n \times 0.693$$

$$n = 0.9068$$

Penyelesaian

dan
$$K = \frac{88}{4^{0.9068}} = 25.03$$

sama-sama mengambil observasi ke-2 dan ke-4, kita miliki

$$135 = K6^n$$

$$212 = K10^n$$

atau
$$\frac{212}{135} = 1.67^n$$

$$1.57 = 1.67^n$$

Penyelesaian

mengambil \ln di kedua sisi

$$0.4513 = 0.5128 n$$

atau
$$n = 0.88$$

dan
$$K = \frac{135}{6^{0.88}} = 27.9$$

oleh karena itu, nilai rata-rata $n = 0,89$ dan nilai $K = 26,46$

Thank you for coming

