

PROTOKOLL

Werkstoffe

Übung 2: Dielektrika

Name: Philipp Hanser Matr.Nr: 11775264

Name: Florian Strebl Matr.Nr: 11712190

Name: Alexander Seiler Matr.Nr: 11771276

Datum: 06.06.2019

Gruppe: Gr. 15

Betreuer: Geiginger, Lisa-Marie

Inhaltsverzeichnis

1	Durchgangs- und Oberflächenwiderstand	1
1.1	Grundlagen	1
1.1.1	Durchgangswiderstand	1
1.1.2	Oberflächenwiderstand	1
1.2	Aufgabenstellung	1
1.3	Durchgangswiderstand	2
1.3.1	Übungsaufbau	2
1.3.2	Ergebnisse und Erkenntnisse	3
1.4	Oberflächenwiderstand	4
1.4.1	Übungsaufbau	4
1.4.2	Ergebnisse und Erkenntnisse	4
2	Dielektrizitätszahl	7
2.1	Grundlagen	7
2.2	Kapazität eines Luftkondensators	8
2.2.1	Übungsdurchführung	8
2.2.2	Ergebnisse	9
2.3	Bestimmen der relativen Dielektrizitätszahl	9
2.3.1	Übungsdurchführung	9
2.3.2	Ergebnisse	9
2.4	Frequenzabhängigkeit von Kondensatoren	10
2.4.1	Übungsdurchführung	10

2.4.2	Ergebnisse	10
	Kondensator 1: $3900\mu\text{F}$	10
	Kondensator 2: $470\mu\text{F}$	10
	Kondensator 3: $4,7\text{nF}$	11
	Kondensator 4: $1\mu\text{F}$	11
3	Durchschlagsfestigkeit	13
3.1	Grundlagen	13
3.2	Durchschlagsfestigkeit von Luft	14
3.2.1	Aufgabenstellung	14
3.2.2	Messaufbau	14
3.2.3	Messergebnisse	15
3.3	Durchschlagsfestigkeit von Papier	15
3.3.1	Aufgabenstellung	15
3.3.2	Messaufbau	15
3.3.3	Messergebnisse	16
3.4	Messung der 1-Minuten Stehspannung von Papier	16
3.4.1	Aufgabenstellung	16
3.4.2	Messaufbau	17
3.4.3	Messergebnisse	17

1 Durchgangs- und Oberflächenwiderstand

1.1 Grundlagen

1.1.1 Durchgangswiderstand

1.1.2 Oberflächenwiderstand

1.2 Aufgabenstellung

Im Zuge des Dielektrika-Labors sollen fünf verschiedene Dielektrika zum Messen herangezogen werden. Bei jedem dieser Dielektrika sollen jeweils Durchgangswiderstand als auch Oberflächenwiderstand gemessen werden. Die fünf Dielektrika sind PVC, Phenolharz, Teflon, Plexiglas und Epoxidharz

Wichtig ist jedoch dass darauf geachtet wird das die Messwerte jeweils zum gleichen Zeitpunkt nach dem Einschalten des Messgerätes aufgenommen werden. In diesem Fall wird jeweils nach einer vollen Minute der Messwert aufgenommen, um die Messwerte der unterschiedlichen Dielektrika vergleichen zu können.

Die Proben, die gemessen werden, werden jeweils zwischen zwei Elektroden mit einem Schutzring herum platziert (siehe Abbildung Abb. 1.1). Die Messzelle wird dabei für beide Arten der Widerstandsmessung heran-

gezogen, sie wird lediglich anders beschaltet.

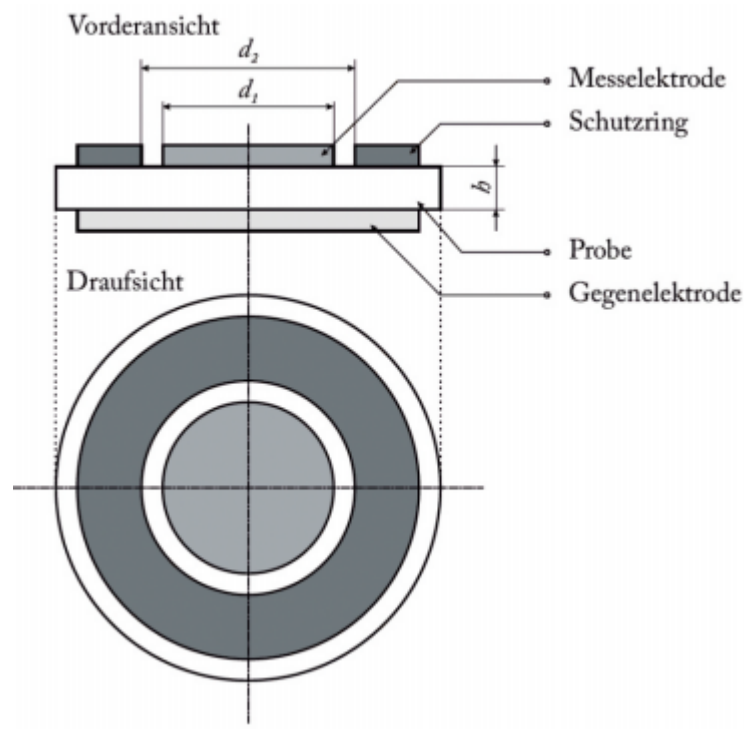


Abb. 1.1: Elektrodenanordnung der Messzelle

1.3 Durchgangswiderstand

1.3.1 Übungsaufbau

Als Messgerät wird ein Ohmmeter MILLI-TO 2 der Frima Dr. Kamphause verwendet. Der Widerstand wird darauf digital angezeigt (Messbereich: $50\text{m}\Omega$ - $200\text{ T}\Omega$; Messgenauigkeit: $\pm 1,5\%$, ± 1 Digit bei $23\text{ }^\circ\text{C}$). Abbildung Abb. 1.1 zeigt die Messzelle und deren Aufbau.

Abbildung Abb. 1.2 zeigt die Schaltung zum Aufnehmen des Durchgangswiderstandes. Wichtig dabei ist anzumerken, dass auch der Schutzring angeschlossen ist. Dies ist notwendig, da das Dielektrikum nicht nur einen Durchgangswiderstand sondern auch einen Oberflächenwiderstand.

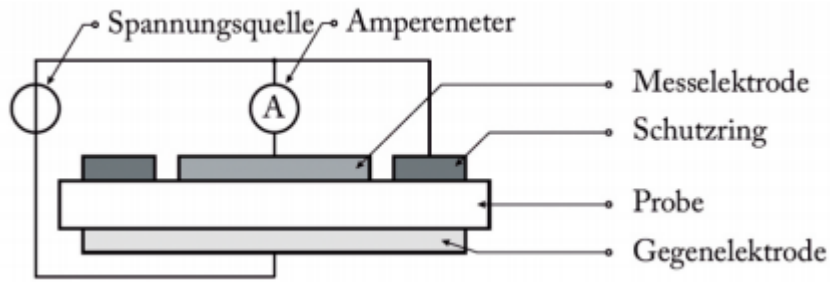


Abb. 1.2: Beschaltung der Messzelle zum Messen des Durchgangswiderstandes

Dieser ermöglicht auch eine Ladungsträgbewegung über die Oberfläche der Probe. Um diesen parasitären Oberflächenstrom abzufangen, wird der Schutzring mitbeschaltet. So wandern die Ionen nicht zur Gegenelektrode, sondern über den Schutzring.

1.3.2 Ergebnisse und Erkenntnisse

Material (Dicke)	R_D in Ω	ρ_D in Ωm
Plexiglas (5.35 mm)	$4.14 \cdot 10^{11}$	$1.107 \cdot 10^{12}$
Phenolharz (2.9 mm)	$1.43 \cdot 10^9$	$2.641 \cdot 10^9$
PVC (5 mm)	$1.2 \cdot 10^9$	$1.283 \cdot 10^{10}$
Teflon (5.4 mm)	$2.96 \cdot 10^{13}$	$2.93 \cdot 10^{13}$
Epoxidharz (1.4 mm)	$6.7 \cdot 10^9$	$4.69 \cdot 10^{10}$

Tab. 1.1: Ergebnisse der Messung und errechneter Durchgangswiderstand

Die Messwerte wurden jeweils nach einer Minute im Betrieb aufgenommen. In Tabelle Tab. 1.1 kann man den gemessenen Durchgangswiderstand sowie den errechneten spezifischen Durchgangswiderstand sehen. Die errechneten Werte liegen ungefähr bei den Werten des Skriptums. Beim Messen muss man vor allem darauf Aufpassen, dass sich Leitungen mit unterschiedlichen Potentialen nicht berühren. Durch solche fehlerhaften Verlegungen der Messleitungen kann es zu bemerkbaren Veränderun-

gen des gemessenen Widerstandes kommen. Des weiteren ist bei dieser Messung die Vorgeschichte des Material auch relevant für die Ergebnisse. Die Widerstandsmessung basiert auf Ionenbewegung im Material. Die Ionen sammeln sich dann auf einer Seite bei einer Messung. Wird dann das Material umgedreht, können diese Ionen das Material durchwandern. Wird das Material nicht umgedreht zwischen den Messungen, so bleiben die Ionen auf der Seite und der Stromfluss ist geringer und somit der Widerstand größer.

1.4 Oberflächenwiderstand

1.4.1 Übungsaufbau

Bei diesem Teil der Übung wird das gleiche Messgerät, wie bei der Messung des Durchgangswiderstandes. Der Messaufbau bleibt ident, jedoch wird diesmal anstatt der zweiten Elektrode der Schutzring angeschlossen. Den genauen Messaufbau kann man Abbildung Abb. 1.3 entnehmen.

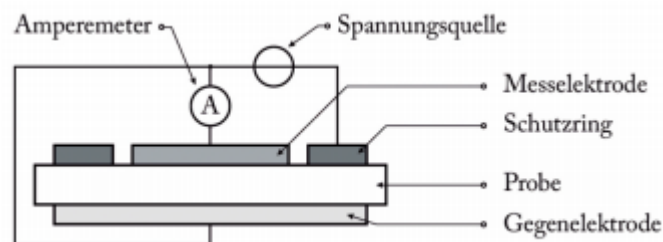


Abb. 1.3: Beschaltung der Messzelle zum Messen des Oberflächenwiderstandes

1.4.2 Ergebnisse und Erkenntnisse

Material (Dicke)	R_S in Ω	ρ_S in Ω
Plexiglas (5.35 mm)	$4.14 * 10^{11}$	$1.107 * 10^{12}$
Phenolharz (2.9 mm)	$1.43 * 10^9$	$2.641 * 10^9$
PVC (5 mm)	$1.2 * 10^9$	$1.283 * 10^{10}$
Teflon (5.4 mm)	$2.96 * 10^{13}$	$2.93 * 10^{13}$
Epoxidharz (1.4 mm)	$6.7 * 10^9$	$4.69 * 10^{10}$

Tab. 1.2: Ergebnisse der Messung und errechneter Oberflächenwiderstand

2 Dielektrizitätszahl

2.1 Grundlagen

Das makroskopische Verhalten von Dielektrika wird durch die Gleichung beschrieben.

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} \quad (2.1)$$

\vec{D} elektrische Flussdichte $[D] = As/m^2$

\vec{E} elektrische Feldstärke $[E] = V/m$

$\vec{\varepsilon}$ Permittivität $[\varepsilon] = As/Vm$

$\vec{\varepsilon}_0$ Permittivität des Vakuums $[\varepsilon_0] = 8,854 \cdot 10^{-12} As/Vm$

$\vec{\varepsilon}_r$ relative Permittivität $[\varepsilon_r] = 1$

Die relative Permittivität ist ein materialabhängiger Faktor. Dieser gibt an um wie viel sich die elektrische Flussdichte ändert wenn man leeren Raum durch polarisierte Materie ersetzt. Für den leeren Raum ist dieser Faktor 1.

Polarisation entsteht grundsätzlich durch das elektrische Feld und der daraus resultierenden Krafteinwirkung zu Zustandsänderungen, der atomaren und molekularen Dipole. In einem Dielektriker können sich die Dipole nur so weit aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht werden, bis die Rücktreibende Kraft gleich jener ist wie jene, durch das Elektrische Feld erzeugte. Da negativ und positiv geladene Teilchen sich entgegengesetzt verschieben, wird jedes Volumelement zum elektrischen Dipol. Das wird auch elektrische Polarisation, durch das elektrische Feld genannt. Auf der ge-

genüberliegenden Seite, zur Polarisationsrichtung senkrechten Oberfläche, entsteht elektrische Ladung, jene Ladung nennt man scheinbare Ladung, da sie sich nicht durch einen Leiter abführen lässt. Man unterscheidet zwischen 3 verschiedenen Polarisationsarten: 1. Elektronenpolarisation Hierbei ergeben sich die Dipolelemente aus der Verschiebung der negativ geladenen Elektronenhüllen gegenüber dem positiven geladenen Atomkern. Die Einstellzeit beträgt dabei etwa 10^{-14} bis 10^{-15} s und kann daher auch noch sehr schnellen Feldänderungen folgen. 2. Atompolarisation Diese Art tritt bei Molekülen mit zumindest überwiegend Ionenbindung auf. Durch die unterschiedlichen Ladungen kommt es zu ungleichen Verrückungen der Ionen, wodurch Dipolelemente entstehen. Die Einstellzeit beträgt 10^{-12} bis 10^{-13} s. 3. Orientierungspolarisation Dies tritt bei Stoffen auf, deren Moleküle bereits permanente elektrische Dipolmomente besitzen. Die resultierende Wirkung dieser Momente verschwindet jedoch ohne äußerem Feld. Grund dafür ist, dass diese durch die Wärmebewegung statistisch verteilt werden. Erst durch ein elektrisches Feld kommt es zu einer Ausrichtung und es entsteht ein Gleichgewicht zwischen der thermisch bedingten Unordnung und dem durch das Feld verursachte Ordnungszustand. Diese Art weist daher eine Temperaturabhängigkeit auf. Die Einstellzeit liegt bei 10^{-9} bis 10^{-11} s

2.2 Kapazität eines Luftkondensators

2.2.1 Übungsdurchführung

Es soll die Kapazität des leeren Stoffmesskondensators (Luft als Dielektrikum) gemessen werden. Dabei wird der Plattenabstand von 1 bis 10mm in 1mm-Schritten vergrößert. Die gemessenen Werte sollen mit den berechneten Werten verglichen werden. Die Messung erfolgt mit einem QuadTEch 7600 LCR-Meter, an dem ein Stoffmesskondensator, Plattendurchmesser

100 mm, angeschlossen ist.

2.2.2 Ergebnisse

Wie im Diagramm erkennbar ist weichen die gemessenen Werte leicht von der errechneten ab. Diese Abweichung ist darauf zurückzuführen, dass für die Berechnung von einem homogenen Feld ausgegangen wird. Jedoch bei der Messung Störungen im Randbereich auftreten und mitgemessen werden.

2.3 Bestimmen der relativen Dielektrizitätszahl

2.3.1 Übungsdurchführung

Es sollen zwei verschiedene Dielektrika-Proben mit unterschiedlicher Dicke ausgewählt werden und deren Kapazität gemessen werden. Dann soll die scheinbare Dielektrizitätszahl, korrigierte Dielektrizitätszahl und die Luftspaltdicke berechnet werden. Dafür wird wiederum der Stoffmesskondensator verwendet und mit dem QuadTech 7600 RLC-Meter gemessen.

2.3.2 Ergebnisse

Die Tabelle zeigt die gemessenen Kapazitäten der verschiedenen Proben und die daraus errechnete scheinbare Dielektrizität.

Die folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der korrigierten Dielektrizitätszahl mit den Werten aus der Tabelle in der Aufgabenstellung, sowie die berechnete Luftspaltdicke.

Für Teflon liegt der berechnete Wert 9 Beim Phenolharz ist der errechnete Wert fast doppelt so hoch wie der in der Tabelle.

2.4 Frequenzabhängigkeit von Kondensatoren

2.4.1 Übungsdurchführung

Die Aufgabe besteht darin, dass man die Frequenzabhängigkeit der Kapazität verschiedener Kondensatoren misst. Für die Messung wird das QuadTech 7600 LCR-Meter verwendet. Der Frequenzbereich in dem die Kapazitäten gemessen werden sollen, ist von 10 Hz bis 2 Mhz. Dabei muss besonderes Augenmerk auf die Begrenzung des Messgerätes gelegt werden. Der Messstrom des verwendeten LCR-Meters kann in einem Bereich von 250 μA und 100 mA eingestellt werden. Die Messspannung kann von 20mV bis 5V variiert werden. Ob die Messgrößen auch tatsächlich in dem angegebenen Bereich liegen und die Bedingungen der Messbrücke eingehalten werden können, hängt von der eingestellten Messfrequenz und von der angeschlossenen Messlast ab.

2.4.2 Ergebnisse

Kondensator 1: 3900 μF

Im folgenden Diagramm ist zu sehen, dass die Kapazität mit steigender Frequenz sinkt. Im niederfrequenten Bereich verläuft dies nur langsam, doch ab 500Hz fällt sie stark ab und geht sogar kurz in negative. Diese Werte sind jedoch zu vernachlässigen, da sich das Messgerät nicht mehr im Arbeitsbereich befindet. Durch überschlagsmäßige Berechnung wurde ermittelt, dass der Messereich ab ca. 12kHz verlassen wird.

Kondensator 2: 470 μF

Die Kennlinie des zweiten Kondesators sieht ähnlich aus wie die des Kondesator 1. Hier setzt der Abfall erst bei 1kHz ein. Der Arbeitsbereich des Messgeräts wird bei ca. 7kHz verlassen

Kondensator 3: 4,7nF

Dieser Kondensator zeigt ein frequenzstabiles Verhalten. Der Unterschied zwischen Maximum und Minimum liegt bei 0,28nF.

Kondensator 4: 1 μ F

Auch dieser Kondensator hat über einen großen Frequenzbereich einen stabilen Wert. Erst bei 700kHz weicht der Wert stark ab und das Messgerät verlässt den Arbeitsbereich.

3 Durchschlagsfestigkeit

3.1 Grundlagen

Die Durchschlagsfestigkeit gibt die elektrische Feldstärke an, bei der in einem Isolierwerkstoff ein elektrischer Durchschlag erfolgt. Die Durchschlagsfestigkeit ist in vielen Anwendungen, wie etwa in der Hochspannungstechnik von enormer Bedeutung, da von ihr wesentliche Parameter wie zum Beispiel Leiterabstände abhängen.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen vier verschiedenen elektrischen Durchschlagsarten:

Lawinendurchschlag

Auch in nichtmetallischen Werkstoffen existieren wie in metallischen Werkstoffen, allerdings in viel geringer Anzahl, vereinzelt freie Elektronen. Durch das Anlegen einer Spannung werden diese durch die auf sie einwirkende Feldstärke beschleunigt und treffen eventuell auf ein anderes Atom. Ist die kinetische Energie des freien Elektrons groß genug, entstehen bei einer Kollision neue freie Elektronen. Da sich dieser Prozess lawinenförmig fortsetzt, spricht man hier vom Lawinendurchschlag.

Thermischer Durchschlag

Durch eine lokale Erhitzung im dielektrischen Werkstoff und der daraus resultierenden erhöhten Bewegung der Atome wird der elektrische Durchschlag ausgelöst, indem Ladungsträger freigesetzt werden.

Elektrolytischer Durchschlag

Bereits bei sehr kleinen Leckströmen können sich Metallionen baumartig an den Elektronen ablagern (Dendriten) und auf diese Weise Stromleitpfade bilden. Daraus ergibt sich eine geringere Durchschlagsfestigkeit.

Gasentladungsdurchschlag

Grundsätzlich ist die Durchschlagsfestigkeit in Gasen geringer und in Gaseinschlüssen im Dielektrikum wirkt eine höhere elektrische Feldstärke. Deshalb kann es in Gaszwischen-schichten zu Teilentladungen im Isolator kommen, welche den Isolierstoff schädigen und in Folge dessen einen Durchschlag auslösen.

3.2 Durchschlagsfestigkeit von Luft

3.2.1 Aufgabenstellung

Bei dieser Aufgabe soll die Durchschlagsfestigkeit von Luft in Abhängigkeit von den Elektrodenabständen bestimmt werden. Dazu werden zehn verschiedene Abstände gewählt, bei denen jeweils die Durchschlagsspannung gemessen wird. Die Durchschlagsfestigkeit ergibt sich infolgedessen aus dem Quotienten der Durchbruchspannung und der Luftspaltlänge.

3.2.2 Messaufbau

Bei der Messung der Durchschlagsfestigkeit von Luft wird das Hochspannungsprüfgerät PGO-S3 von BAUR verwendet. Alle notwendigen Grundfunktionen zur Spannungsmessung werden vom Gerät selbstständig ausgeführt.

Die parallel angeordneten Elektroden des Geräts weisen ein Rogowski-

Profil auf, die einen möglichst homogenen Verlauf der Feldstärke gewährleisten. Die Prüfung erfolgt mit einer sich stets erhöhenden, sinusförmigen Wechselspannung. Bei dieser Messung ist die Spannungsänderungsrate auf 0,5 kV/s eingestellt.

3.2.3 Messergebnisse

Der Quotient dieser beiden Werte ergibt die elektrische Durchschlagsfeldstärke.

Wie sich anhand der Grafik erkennen lässt, ist die Durchschlagsfestigkeit in kV/mm bei größeren und kleineren Abständen nicht gleich. Dies liegt vor allem daran, dass aufgrund der hohen Spannung bei größeren Abständen an den Elektroden ein stärkeres elektrisches Feld entsteht. Dies erleichtert wiederum die Ionisation und führt somit zum verfrühten Durchschlag bei hohen Spannungen.

3.3 Durchschlagsfestigkeit von Papier

3.3.1 Aufgabenstellung

Hier wird die Durchschlagsfestigkeit von Papier bei einer Spannungsänderungsrate von 0,5 kV/s ermittelt. Die Diche des Papierstapels wird von 2mm bis 5mm in 1mm-Schritten gesteigert.

3.3.2 Messaufbau

Zur Messung wird wie bei der Messung der Durchschlagsfestigkeit von Luft das PGO-S3 von BAUR verwendet. Bei dieser Messung wird allerdings der Papierstapel zwischen den Elektroden eingespannt. Dabei ist es wichtig, das Papier möglichst ohne Lufteinschlüsse einzuspannen, da

Abstand in mm	Durchschlagsspannung in kV	Durchschlagsfeldstärke in kV/mm
2mm	14,8 kV	7,4 kV/mm
3mm	16,9 kV	5,6 kV/mm
4mm	18,8 kV	4,7 kV/mm
5mm	22,9 kV	4,58 kV/mm

Tab. 3.1: Durchschlagsfeldstärke in Abhängigkeit von der Papierdicke

dieser ansonsten zu einem Gasentladungsdurchschlag führen kann, was wiederum zu einer Verfälschung des Messergebnisses führt.

3.3.3 Messergebnisse

Durch Auswertung der Tabelle Tab. 3.1 erhält man eine Durchschlagsfestigkeit des Papiers von 7,4 kV/mm bei dünnen Papierschichten und eine Durchschlagsfestigkeit von 4,58 kV/mm bei dickeren Papierschichten. Hier lässt sich wie bei der Messung der Durchschlagsfestigkeit von Luft eine umgekehrte Proportionalität feststellen.

3.4 Messung der 1-Minuten Stehspannung von Papier

3.4.1 Aufgabenstellung

Zur Durchführung dieser Messung werden 40 % der bereits ermittelten Durchschlagsspannung zur verwendeten Papierdicke eingestellt. Die an den Elektroden anliegende Spannung wird anschließend im Minutentakt um jeweils 8% erhöht. Der letzte Spannungswert vor dem elektrischen Durchschlag wird 1-Minuten Stehspannung genannt.

3.4.2 Messaufbau

Wie bei den vorhergehenden Messungen wird das PGO-S3 Messgerät von BAUR verwendet. Der Wert der Startspannung, also den 40% der Durchschlagsspannung, beträgt bei einer Papierdicke von 3mm 6,8 kV. Anschließend wird die an den Elektroden des Messgerätes anliegende Spannung nach jeder Minute um 8% gesteigert.

3.4.3 Messergebnisse

Der Durchbruch erfolgt bei dieser Messung bereits bei 12,2 kV, also 4,7 kV vor der eigentlichen Durchbruchspannung. Dies liegt vor allem daran, dass der Isolator, also in diesem Fall der 3mm dicke Papierstapel, bereits einige Zeit mit einer hohen Spannung belastet worden ist. Deshalb erfolgte der Überschlag bereits früher. Die 1-Minuten Stehspannung beträgt also 12,2 kV.