

BME Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport
Nagyfeszültségű Laboratórium

Mérési útmutató

Az Elektronikai alkalmazások tárgy méréséhez

Nagyfeszültség előállítása

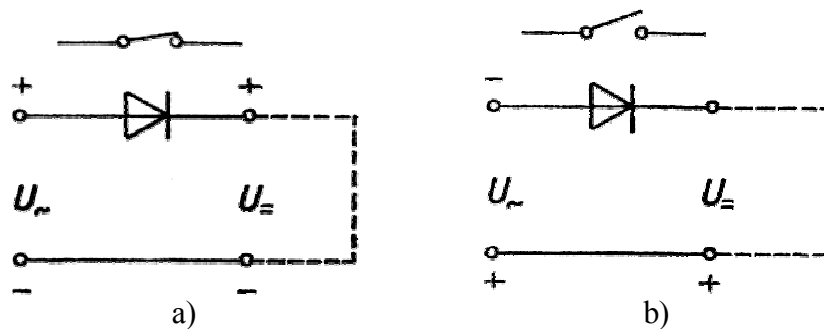
1. A mérés célja

A nagyfeszültségű villamos berendezések szigetelésének vizsgálatához különböző próbafeszültségeket használnak, így egyen-, váltakozófeszültséget és feszültségimpulzusokat. A mérés során az előbbi kettő laboratóriumi, azaz szigetelésdiagnosztikai célokra történő előállításával foglalkozunk. Megismerjük a feszültségsokszorozó egyenirányító kapcsolásokat, illetve a transzformátorok kaszkád kapcsolásának módját.

2. Nagy egyenfeszültség előállítása

Abban az esetben, ha olyan egyenfeszültségű áramforrásra van szükség, aminek terhelést is kell bírnia, nagyfeszültségű egyenirányítókat használnak. A nagyfeszültségű technikában a mechanikai, a vákuumsöves és a félvezető egyenirányítókat egyaránt használják.

Az 1. ábra szerint egy transzformátor körébe beiktatott egyenirányító dióda abban az esetben, ha anódjának potenciálja pozitívabb, mint a katód potenciálja, vezeti az áramot, tehát úgy tekinthető mint egy vezető darab, vagy bezárt kapcsoló. A fogyasztó kapcsain felül pozitív, alul negatív feszültség jelenik meg. Ebben az időszakban a feszültség a fogyasztó kapcsain a váltakozó feszültség egyik félhullámának megfelelően változik. A következő félperiódusban a transzformátor polaritása ellenkezőre vált át, és az 1b. ábra szerint az egyenirányító dióda nyit. Ebben a polaritásban a dióda nem vezet, tehát úgy tekinthető, mint egy szakadási hely, illetve nyitott kapcsoló. A fogyasztó kapcsain ebben a félperiódusban a feszültség végig nulla. Ez a kapcsolat az ún. egyutas egyenirányító, ami a váltakozó feszültség minden második félhullámát egyenirányítja.



1. ábra: Az egyenirányító dióda

Ha bármilyen függvény szerint változó feszültségre egy diódából és egy kondenzátorból álló rendszert kapcsolunk, akkor amíg a dióda anódján pozitív feszültség van, a dióda vezet, tehát a kondenzátor a polaritásnak megfelelően feltöltődik. Mihelyt a tápláló feszültség egy csúcserték elérése után csökkenni kezd, a kondenzátor feszültsége nagyobb lesz, mint a csökkenni kezdő tápláló feszültség. A csúcserték után a dióda katódján a kondenzátor nagyobb pozitív feszültsége van, és az anód ennél kisebb pozitív feszültségűvé válik, a dióda megszűnik vezetni, és így a kondenzátoron a csúcsertékekkel egyenlő feszültség marad. Ez a feszültség mindaddig nem változik, amíg a tápláló feszültség ismét nagyobb nem lesz, mint a kondenzátor feszültsége. Ebből megállapíthatjuk, hogy egy egyenirányító diódából és egy kondenzátorból álló rendszerben a kondenzátor mindig az egyenirányítóra kapcsolt és bárhogyan változó feszültség csúcsertékeire töltődik fel, és ezt a feszültséget állandó értéken tartja.

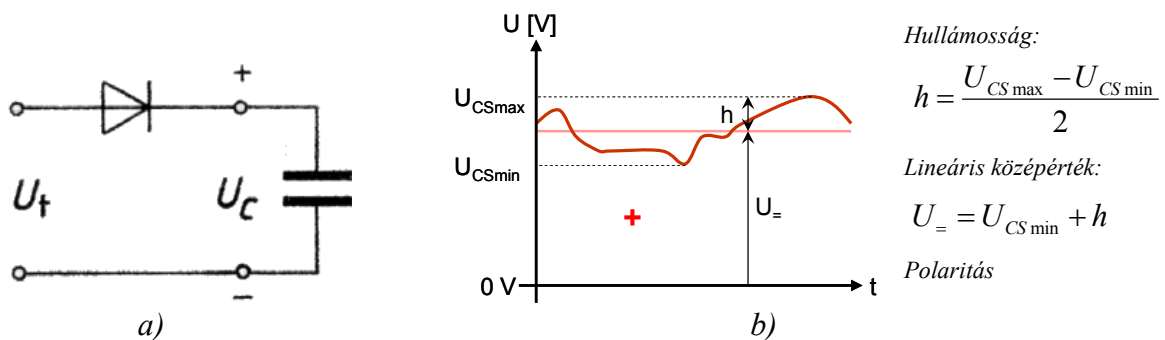
A félvezető egyenirányítókat három adattal szokták jellemezni. Ezek: a polaritás, a zárófeszültség és a megengedett terhelés. A félvezető egyenirányítók polaritásának megállapítása érdekében a pozitív és negatív pólusokat + és – jellel jelölik. A + jellel ellátott kivezetés az egyenirányító anódjának felel meg, tehát az ilyen diódákból összeállított egyenirányító kapcsolatban a – jelű végén jelenik meg a pozitív, a + jelű végén a negatív egyenfeszültség. Abban az esetben, ha a diódára olyan polaritású

feszültség kapcsolódik, hogy a dióda nem vezet, vagyis zár, a dióda lényegében szigetelőként viselkedik. Ha a feszültséget növeljük, egy bizonyos értéken felül már a dióda nem képes szigetelni, és átütés jön létre. Azt a feszültséget, amit a dióda a vezetési iránnyal ellentétes polarításban még üzemszerűen szigetelni tud, zárófeszültségnek nevezik. Mivel az egyenirányítóra kapcsolt kondenzátor a vezetési iránynak megfelelő polarításban a feszültség csúcsertékeire töltődik fel, záróirányban ez a feszültség hozzáadódik az ellenkező előjelű tápláló feszültséghez, és így az egyenirányítók zárófeszültségének legalább az előállított egyenfeszültség kétszeresével kell egyenlőnek lennie.

Az egyenirányító abban a polarításban, amikor vezeti az áramot, egy bizonyos áramnál nagyobb terhelést nem tud átvezetni. A félvezető egyenirányítók túlterhelés hatására felmelegednek, ezáltal záróirányban csökken a szigetelőképességük, és átütnek.

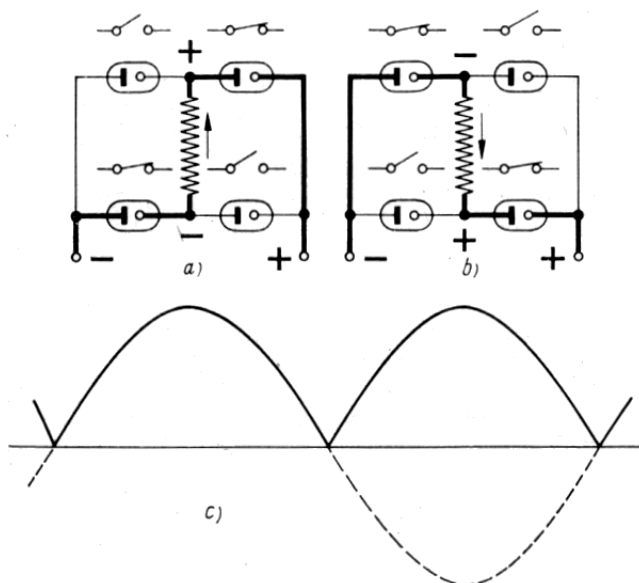
Nagyfeszültségen gyakran van szükség a félvezető egyenirányítók sorba kapcsolására, azonban a félvezető egyenirányítók ellenállása záróirányban általában nem tökéletesen egyenlő, és így a sorba kapcsolt elemeken egyenlőtlen feszültségeloszlás jön létre. Ennek következtében egyes elemekre nagyobb feszültség esik, és túllépheti az elem zárófeszültségét, tehát át fog ütni. Ezután a még épen maradt diódák közül a legjobban igénybevett diódán növekszik meg a feszültség, és végül sorozatos átütések jönnek létre, míg az összes sorba kapcsolt elem tönkremegy. Az előbbi jelenségek kiküszöbölése céljából a sorba kapcsolt félvezető egységekkel feszültségosztó ellenállásláncot kell párhuzamosan kapcsolni. Az ellenállásláncon 5-10-szer nagyobb, ún. vezérlő áramnak kell folynia, mint az egyenirányítók záróirányban folyó szivárgási áram.

A nagyfeszültségű technikában főleg egyszerűsége miatt gyakran használják a 2a ábrán feltüntetett egyutas egyenirányítót. Ez a kapcsolás azonban erősen lüktető feszültséget állít elő és terhelhetősége is kicsi. Az egyenirányító kapcsolások célja általában a simább feszültség elérése és a terhelhetőség növelése, ami azonban a nagyfeszültségű technikában nem játszik nagy szerepet. Az egyenfeszültség hullámosságát (2b ábra), vagyis a váltakozófeszültségű összetevő effektív értékének és az egyenfeszültség középértékének arányát, simító kondenzátorral kedvezően lehet csökkenteni. A próbatesttel párhuzamosan kapcsolt kondenzátor a váltakozófeszültségű összetevőkkel szemben sokkal kisebb impedanciát képvisel, mint a próbatest, és így ezeket az összetevőket gyakorlatilag rövidre zárja. A nagyfeszültségű technika különleges egyenirányító kapcsolásai a feszültség növelésére is alkalmasak. A következőkben elsősorban ezekkel a kapcsolásokkal foglalkozunk



2. ábra: Egyutas egyenirányító (a), az egyenfeszültség paraméterei (b).

A **Graetz-kapcsolás** a legelterjedtebb egyenirányító kapcsolás. Négy diódát tartalmaz. A 3a. ábra szerint abban a félperiódusban, amikor a transzformátor felső vége van pozitív feszültségen, a becsukott kapcsolóval jelzett diódák vezetnek, a nyitott kapcsolóval jelzett diódák pedig nem. Az egyenfeszültségű kivezetéseken a polaritás a 3a ábrán feltüntetett módon jelenik meg. Az ellenkező félperiódusban a 3b ábra szerint a másik két dióda vezet, tehát az egyenfeszültségű kivezetéseken azonos polaritást kapunk, mint az előző félperiódusban. A feszültséggörbe hullámalakját a 3c ábra mutatja, tehát a Graetz-kapcsolás mindkét félhullámot egyenirányítja.

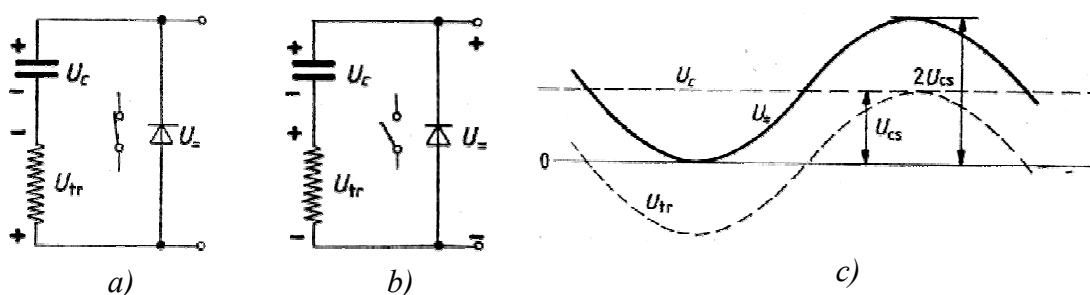


3. ábra: Graetz kapcsolású egyenirányító

Villard kapcsolás. Az egyenirányító kapcsolásokban levő kondenzátorokat felhasználhatjuk arra, hogy a tápláló transzformátor váltakozófeszültségének csúcserőértékénél nagyobb egyenfeszültséget kapjunk. A 4. ábrán feltüntetett Villard-kapcsolásban, a transzformátorból, egyenirányítóból és kondenzátorból álló kör lényegében a 2a ábrán feltüntetett egyutas egyenirányító. A kondenzátor tehát a bejelölt polaritásnak megfelelően feltöltődik a transzformátor által előállított feszültség csúcserőértékére. A Villard-kapcsolásban azonban az egyenfeszültséget nem a kondenzátorról, hanem az egyenirányító dióda sarkairól vesszük le. Kirchhoff II. törvénye alapján a dióda sarkain a transzformátor és a kondenzátor feszültségének összege lép fel. Mivel a transzformátor feszültsége szinuszosan változik, az egyenfeszültség

$$U_{\text{e}} = U_{\text{c}} + U_{\text{cs}} \sin \omega t = U_{\text{cs}} (1 + \sin \omega t)$$

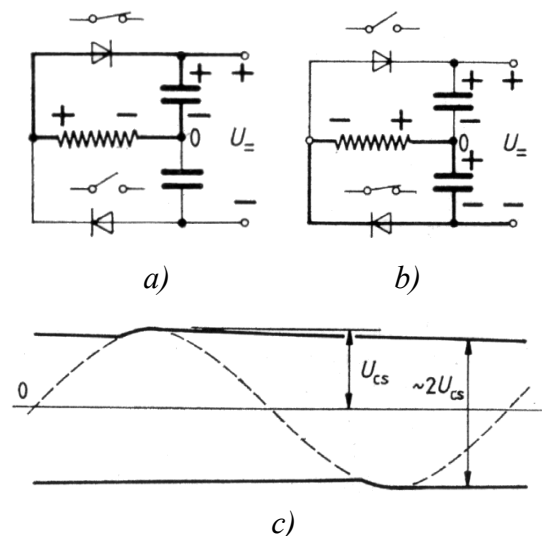
ahol U_{cs} a transzformátor váltakozófeszültségének csúcserőértéke. A Villard-féle egyenirányító tehát olyan feszültséget állít elő, amely nulla és $2U_{\text{cs}}$ között szinuszosan változik.



4. ábra: Villard kapcsolás

Greinacher-kapcsolás. Ez a kapcsolás két dióda és két kondenzátor felhasználásával a váltakozófeszültség csúcserőértékének kétszeresével egyenlő simított egyenfeszültség előállítására alkalmas. Az 5a ábra szerint abban a félperiódusban, amikor a transzformátor bal oldali vége pozitív, a felső dióda vezet, az alsó pedig nem. A vastag vonallal kihúzott rész lényegében egyutas egyenirányító, tehát a felső kondenzátor a transzformátor csúcserőfeszültségére töltődik fel. Az alsó résznek ebben a félperiódusban semmi szerepe nincs, mert a kör meg van szakítva. A következő félperiódusban a transzformátor polaritása megfordul, a felső dióda nem vezet, tehát a kapcsolásnak ez a része nem működik, az alsó vastagon kihúzott rész pedig egyutas egyenirányító kapcsolásban feltölti az alsó kondenzátort. Abban a félperiódusban, amikor valamelyik dióda éppen zár – tehát nem vezet – a már feltöltött kondenzátor nem tud kisülni, hanem tartja a feltöltési periódusban kapott U_{cs} feszültséget. Az

egyenfeszültséget a két sorba kapcsolódó kondenzátorról vesszük le, tehát a két kondenzátor feszültségének összegét kapjuk. A hullámgörbe alakját az 5c ábra alapján lehet érthetővé tenni. Az egyik félperiódusban a kapcsolás felső része, mint egyutas egyenirányító működik, és a nulla vonal felett ábrázolt simított egyenfeszültséget hozza létre. Az ellenkező félperiódusokban a másik dióda vezet, és a nullavonal alatt ábrázolt ellentétes előjelű, simított egyenfeszültséget hozza létre a kondenzátorok közös pontját képező 0 ponthoz képest. A két kondenzátor szélső pontjai között az 5c ábrán vastagon kihúzott vonalak közé eső feszültség jelenik meg, aminek legnagyobb értéke a váltakozófeszültség csúcsértékének kétszerese. A Greinacher-kapcsolás kedvező tulajdonsága, hogy kétszeres és sima egyenfeszültséget szolgáltat, hátránya, hogy a transzformátor mindkét pólusának szigeteltnek kell lennie.



5. ábra: Greinacher kapcsolás

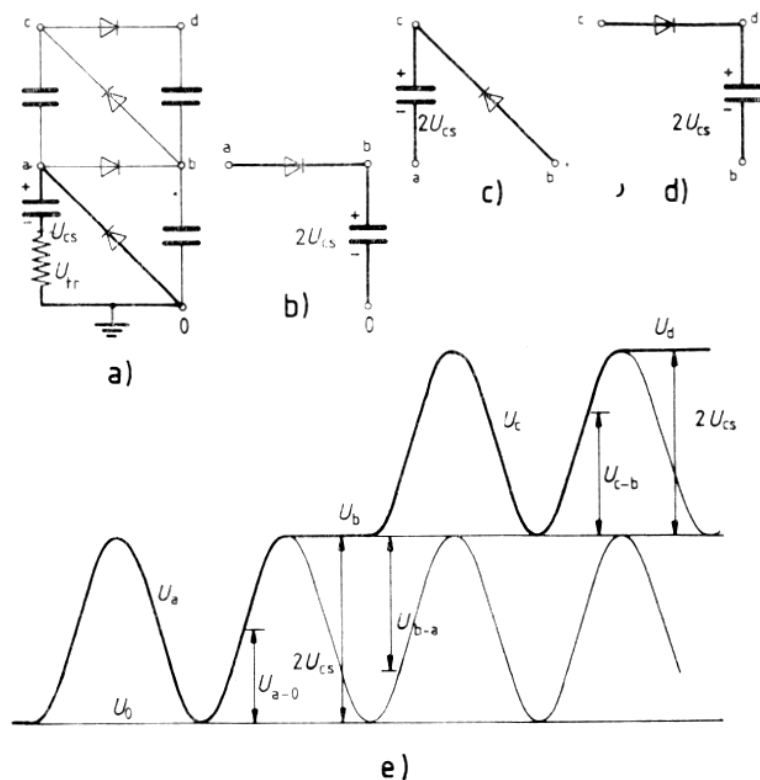
Mivel a Greinacher-féle kapcsolásban a transzformátor nagyfeszültségű oldala a földtől szigetelt, célszerű az egyenirányítókat is szigetelten elhelyezni, mert így az igényeknek megfelelően szabadon változtathatjuk a polaritást. Ha a 0 pontot földeljük, akkor az 5c ábrán feltüntetett földhöz képest szimmetrikus simított egyenfeszültséget kapjuk. Ha a negatív (-) pólust földeljük, akkor a pozitív (+) póluson kétszeres simított feszültséget kapunk. Ebben az állapotban a feszültség hullámalakja úgy adódik, ha az 5c ábrán az alsó vastag vonalat kiegyenesítjük, és ehhez mérjük fel mindenütt a felső vonalig terjedő ordinátákat. Ezen az ábrán mind a pozitív, mind a negatív félhullám csúcsánál lüktetés fog fellépni az utántöltés miatt, tehát a lüktetés frekvenciája a váltakozófeszültség frekvenciájának kétszerese. A pozitív (+) pólus földelésekor a polaritás megfordul, és a hullámalakot ugyanúgy kapjuk, mint az előbbi esetben.

Kaszád egyenirányító.

A kaszád egyenirányítónak nevezett feszültségszorzó egyenirányító kapcsolás a feszültségnek szinte korlátlan növelését teszi lehetővé. A 6a ábrán vastagon kihúzott rész lényegében egy egyutas egyenirányító kapcsolás, amelynek az $a-0$ kapcsolatokhoz csatlakoznak a további elemek. E két kapocs között az egyenirányító dióda van, tehát éppen úgy, mint a Villard-kapcsolás esetén az $a-0$ kapcsolatokon nulla és $2U_{cs}$ között lüktető egyenfeszültséget kapunk. Az $a-0$ pontra a 6b ábra szerint egy egyenirányító diódából és egy kondenzátorból álló elem kapcsolódik. Amint korábban már kimutattuk, az ilyen rendszerekben a kondenzátor a rendszerre kapcsolt feszültség csúcsértékére töltődik fel. Ebben az esetben az $a-0$ feszültség legnagyobb értéke $2U_{cs}$, tehát a kondenzátor is erre a feszültségre fog feltöltődni, és ezt állandóan tartja. Az egyenirányító kapcsolás $b-0$ pontjai között tehát $2U_{cs}$ nagyságú

sima egyenfeszültséget kapunk. A kapcsolásnak az eddig tárgyalt részét egyébként használják kétszeres simított egyenfeszültség előállítására is.

Ha kétszeresnél nagyobb egyenfeszültséget kívánunk előállítani, akkor a 6a ábrán feltüntetett további elemeket is be kell iktatnunk. A 6c ábra szerint $b-a$ pontokra egy egyenirányítóból és egy kondenzátorból álló egység van kapcsolva. Amint már előbb említettük, az ilyen rendszerben a kondenzátor a $b-a$ közötti feszültség csúcsertékeire töltődik fel. A $b-a$ pontok között fellépő feszültség hullám alakját a 6e ábrán láthatjuk. Ez a feszültség nulla és $2U_{cs}$ között változik, tehát $c-a$ pontok között $2U_{cs}$ nagyságú sima egyenfeszültség jelenik meg. A $c-b$ pontokhoz a 6d ábrán feltüntetett diódából és kondenzátorból álló rendszer csatlakozik, és a kondenzátor a $c-b$ pontok között a 6e ábra szerint fellépő $2U_{cs}$ feszültségre töltődik fel. A kapcsolás $d-b$ pontjai között tehát $2U_{cs}$ nagyságú sima egyenfeszültség van. A földpotenciálon levő 0 ponthoz viszonyítva a d pont feszültsége $4U_{cs}$ nagyságú simított egyenfeszültség. További elemek hozzákapcsolásával a kaszkád egyenirányító feszültsége szinte korlátlanul növelhető.



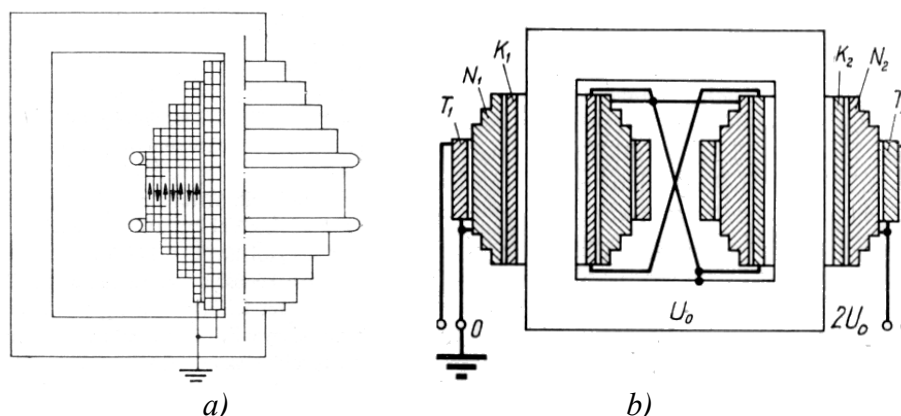
6. ábra: Kaszkád egyenirányító kapcsolás

3. Ellenőrző kérdések a nagy egyenfeszültség előállításának témaköréhez

- Mi a hullámosság?
- Hogyan működik a Graetz-kapcsolású egyenirányító?
- Hogyan működik a Villard kapcsolású egyenirányító? Mekkora a hullámossága?
- Hogyan működik a Greinacher-féle egyenirányító?
- Milyen a Greinacher-féle egyenirányító hullámalakja, és mi történik a kondenzátorok eltávolítása esetén?
- Hogyan működik a kaszkád egyenirányító?

4. Hálózati frekvenciás, nagy váltakozófeszültség előállítása

Az erősáramú ipari berendezések szigeteléseit általában az üzemi feszültség kétszeresét elérő vagy legalábbis megközelítő feszültséggel próbálják. A laboratóriumban tehát a mindenkori üzemi feszültségnél kb. kétszer nagyobb feszültséget kell előállítani. A transzformátor áttételének növelésével a nagy váltakozó feszültség növelésének látszólag nincs akadálya, de a gyakorlatban több tényező is korlátozza a feszültség növelését. Az egyik akadály a szigetelés, mert különösen a tekercs és a vasmag közötti szigetelések igénybevétele nagyon megnövekszik. Az igen nagy feszültségű, olajszigetelésű transzformátorok másik kritikus szigetelési helye az átvezető szigetelő. A feszültség illetve áttétel növelésének másik akadálya az, hogy a próbatranszformátorok általában kapacitív terheléssel működnek, és ez a működésükben esetleg instabilitást idézhet elő.



7. ábra: Próbatranszformátor lépcsős felépítésű nagyfeszültségű tekercse (a) és a szigetelés igénybevételének megosztása két félre osztott tekercsel és félfeszültségen lévő vasmaggal (b).

A nagyfeszültségű transzformátorok szigetelésével kapcsolatos nehézségeket úgy igyekeznek csökkenteni, hogy a földelt alkatrészek közelébe a tekercselés kisebb feszültségű részeit helyezik el, a nagyobb feszültségű részek pedig egyre távolabb kerülnek a földelt alkatrészekről, különösen a vasmagtól. Ezt az elvet mutatja a 7a ábra, amely egy Fischer-rendszerű transzformátor tekercselését vázolja. Ez a tekercselési rendszer eredetileg száraz, légszigetelésű próbatranszformátorok számára készült, de más próbatranszformátorokban is használják. A tekercselés több, egymás felett elhelyezkedő közös tengelyű hengert képez, a külső rétegek azonban mindig rövidebbek a belül levőknél. A legbelső réteg a legkisebb feszültségű, és egyben ez van legközelebb a vasmaghoz. A következő réteg az előzővel sorba kapcsolódik, tehát a földhöz képest nagyobb feszültségen van, de a belül levő tekercs már a vasmagtól elválasztja. Az első és a második tekercs közötti feszültségkülönbség viszont még nem nagy. A második tekercs hossza is kisebb, és ezáltal nagyobb szigetelési távolság adódik a tekercs vége és a vasmag között. Ezen a helyen tehát erősebb végszigetelést lehet elhelyezni. A feszültség a tekercselés rétegei mentén kifelé haladva fokozatosan nő, de a szerkezeti kialakítás következtében növekszik a tekercs és a vasmag közötti szigetelési távolság is. Ez a tekercselési rendszer egyenletesen növekvő feszültségeloszlást biztosít mind sugárirányban, mind a tekercsek végén tengelyirányban. Előnye tehát főleg abban nyilvánul meg, hogy a szigeteléseket az egyenletes igénybevétel következtében jól használja ki. Az eredeti Fischer-féle száraz transzformátorban a 7b ábra szerint a tekercselés a vasmag két oszlopára van elosztva. Az egyes tekercsek sarkos részén nagy átmérőjű gyűrűket helyeznek el, hogy a térerősség helyi növekedését meggátolják. Ezeknek a gyűrűknek nem szabad fémesen zártnak lenniük, mert akkor rövidrezárt menetet alkotnának a vasmag körül. A rövidzár kiküszöbölése céljából a gyűrűket egy vagy két helyen keskeny réssel megszakítják.

A nagyfeszültségű transzformátorok általában olajszigetelésűek, mert az olaj villamos szilárdságát kihasználva kedvezőbb méreteket lehet elérni. Nagyfeszültségen azonban az olajtranszformátornál elkerülhetetlen átvezetőszigetelők elkészítése már nehézségekbe ütközik. Az átvezetőszigetelők

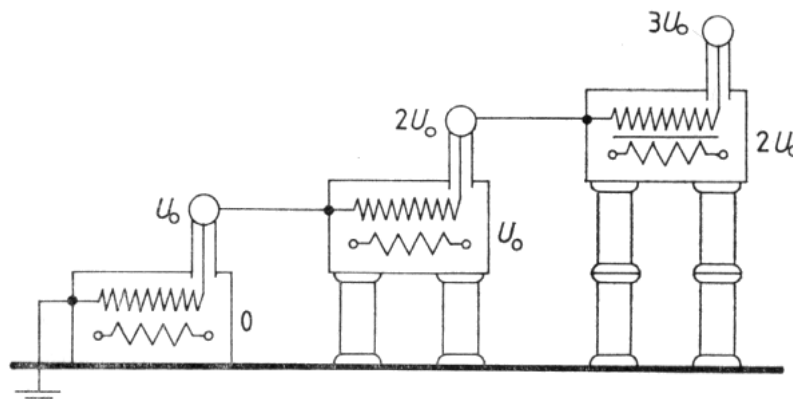
ugyanis kúszásra hajlamos elrendezést alkotnak, és ezen az átvezető hosszának növelésével sem lehet segíteni. A kúszás megindulásának kritikus feszültségét csak az átvezető átmérőjének növelésével oldhatjuk meg, így azonban előfordul, hogy a legnagyobb feszültségre készült próbatranszformátorok kivezető szigetelői már olyan nagyok, hogy méreteik mellett a viszonylag kis teljesítőképességű transzformátor eltörpül.

A nagyfeszültségű vizsgálatok szempontjából fontos, hogy a vizsgáló váltakozó feszültség hullámalakja szinuszos legyen. A transzformátorok mágnesező árama azonban a vasmag nemlineáris mágnesezési görbéje miatt nem tökéletesen szinuszos. A magasabb – főleg harmadik – harmonikusú összetevők miatt a hullám csúcsértéke nagyobb az effektív érték $\sqrt{2}$ -szeresénél. Ez a torz áramhullám a soros impedanciákon feszültségesést hoz létre, és ennek következtében az előállított feszültség-hullám is eltorzul. A csúcsérték az ideálishoz viszonyítva a feszültségesés fázishelyzetétől függően kisebb, vagy nagyobb is lehet. Az eltérés főleg azért lényeges, mert sok átütési jelenség a csúcsértéktől függ, a mérőeszközök viszont többnyire effektív értéket mérnek. A torzítás kiküszöbölésére kondenzátorból és vasmag nélküli tekercsből álló rezgőkört kapcsolnak a nagyfeszültségű transzformátor táplálási oldalára. A rezgőkör a harmadik felharmonikus frekvenciájára van hangolva és így a harmadik harmonikusú áramok ezen át záródnak, nem okozva feszültségesést a soros impedanciákon. Ezzel a szűrővel a tapasztalatok szerint már megfelelő hullámalakot lehet elérni.

Lépcsős transzformátorok.

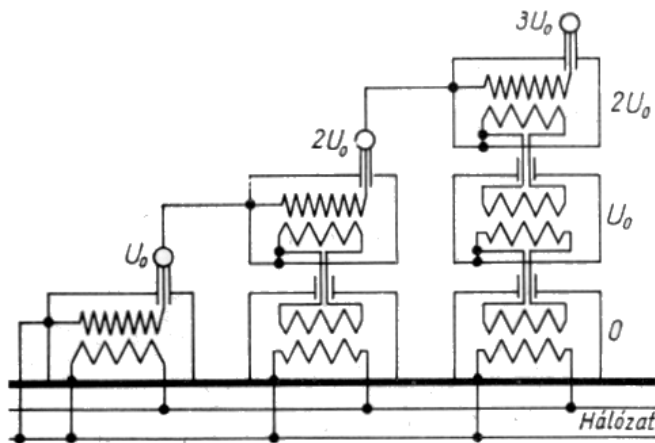
Az átvezetőszigetelőkkal kapcsolatos nehézségek, de az olajtartályon belüli szigetelési problémák miatt is az egy egységben elkészíthető transzformátorok feszültsége általában nem haladja meg az 1000 kV-ot. Ennél nagyobb feszültséget több transzformátor sorbakapcsolásával lehet előállítani, mert így az egyes egységek belső szigetelése és átvezetője csak egy egységnek megfelelő feszültségre van igénybevéve. A több egységből összeállított és sorbakapcsolt transzformátorokat lépcsős transzformátoroknak nevezik.

A nagyfeszültségű vizsgálatokhoz csaknem mindig olyan feszültségre van szükség, amelynek egyik pólusa földelt, ezért a próbatranszformátorok nagyfeszültségű tekercsének egyik végét rendszerint összekötik a vastesttel, valamint a transzformátor-edénnyel, és földelik. Ilyen transzformátoregységgel akkora U_0 feszültséget lehet előállítani, amekkorát az átvezető szigetelő és a belső szigetelések lehetővé tesznek. Ha az első transzformátorhoz egy második, azonos szerkezetű transzformátort kapcsolunk sorba, akkor ennek a második transzformátornak a vasmagja és a háza, a földhöz viszonyítva, az első egység feszültségére kerül. Ezt a transzformátort tehát már a földtől szigetelten kell elhelyezni. E második transzformátor kivezetésén a két transzformátor feszültségének összege, tehát a 8. ábra szerint $2U_0$ feszültség jelenik meg. Több egység sorbakapcsolásával az U_0 egységfeszültség annyiszorosát állíthatjuk elő, ahány transzformátort kapcsolunk sorba. A transzformátorok házáat azonban az egységek számának növekedésével egyre növekvő feszültségre kell szigetelni.

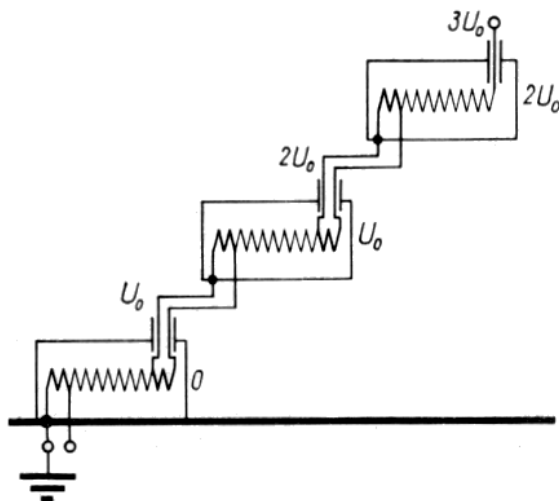


8. ábra: Lépcsős transzformátor.

Különleges probléma a lépcsős transzformátorok azon egységeinek kisfeszültségű táplálása, amelyeknek háza nem földpotenciálán van. A kisfeszültségű tekercset ugyanis legfeljebb az U_0 egységfeszültségre tudjuk a vasmagtól és a háztól szigetelni. A második fokozatot képező transzformátoron belül már így is $2U_0$ feszültség lép fel a kisfeszültségű tekercs és a nagyfeszültségű tekercs között. Az ennél nagyobb feszültségen levő transzformátorok táplálása ezzel a módszerrel már egyáltalán nem oldható meg. Az előbbi helyett elvileg a legegyszerűbb a **Dessauer-féle** táplálás. Itt a nagyobb feszültségen levő egységeket 1:1 áttételű transzformátorok táplálják, amelyeknek primer és szekunder tekercse a lépcsők egységfeszültségének megfelelő feszültségre van szigetelve egymástól. Ha a nagyfeszültségű transzformátor háza az egységfeszültség többszörösével egyenlő potenciálán van, akkor táplálására több 1:1 áttételű transzformátort kell használni, amelyek egymást gerjesztik, és az utolsó táplálja a nagyfeszültségű transzformátort. Egy Dessauer-rendszerű lépcsős transzformátor kapcsolását a 9. ábra mutatja. A ritkán használt Austin-féle megoldás szerint az egyes egységeket külön generátorok táplálják, amelyekkel egybe építik az egyenáramú gerjesztőgépet és a gerjesztésszabályozó ellenállást is. A nagyobb feszültségen levő fokozatokat tápláló generátor a transzformátor házával azonos potenciálán van, ezért szigetelőre kell állítani, és hajtását is szigetelő tengelyen kapja. A lépcsős transzformátorok táplálásának legkorszerűbb megoldása a 10. ábrán vázolt kaszkád transzformátor. Ezt olyan takarékkapcsolású egységek alkotják, amelyeknek nagyfeszültségű végén megcsapolás van a következő fokozat táplálásához szükséges kisfeszültség előállítására. E tekercsrész két vége között a következő fokozat táplálásához szükséges néhány száz V, vagy 1-2 kV feszültség jelenik meg, a földhöz képest azonban ennek a feszültségnek mindkét pólusa közelítőleg az egységfeszültséggel egyenlő potenciálán van. A két megcsapolás közé eső tekercsrészt az áramáttétel miatt vastagabbra kell készíteni. Ilyen táplálás esetén az előbb ismertetett megoldások problémái nem jelentkeznek.



9. ábra: Dessauer rendszerű lépcsős transzformátor.

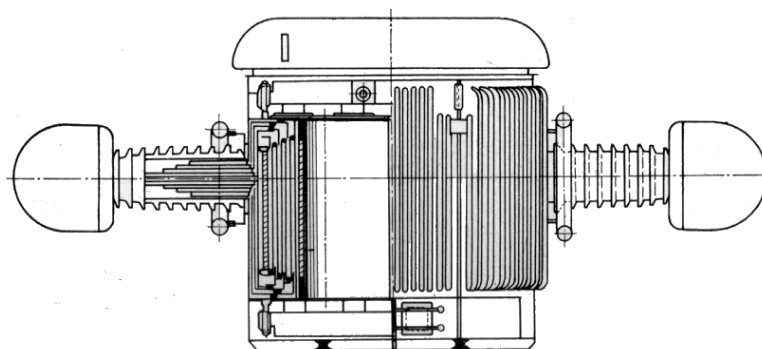


10. ábra: Kaszkád kapcsolású transzformátor

Az egy egységgel előállítható feszültséget a szigetelési problémák által meghatározott érték kétszeresére növelhetjük, azzal az egyszerű változtatással, hogy a transzformátor házát és vasmagját nem a nagyfeszültségű tekercs egyik végéhez, hanem a közepéhez kötjük. Ebben a kapcsolásban ugyanis a transzformátoron belül a testhez képest sehol sem lép fel nagyobb feszültség, mint a szigetelés által korlátozott és az előbb U_0 -val jelölt feszültség. Ha az egyik kivezetést földeljük, akkor a másik kivezetésen a földhöz képest $2U_0$ feszültség jelenik meg, de a transzformátor háza a földhöz képest U_0 feszültségre kerül, tehát szigetelten kell felállítani. Táplálása még nem okoz nagy problémát, mert a tápláló kisfeszültségű tekercset csak U_0 feszültségre kell szigetelni a testtől, ami még megoldható. Ilyen transzformátorral tehát az egy egységben előállított feszültséget megkétszerezhetjük, és azonos feszültség előállításához csak fele annyi transzformátor sorbakapcsolása szükséges, mint a 8. ábrán feltüntetett kapcsolásban.

Az egy egységben $2U_0$ feszültséget előállító transzformátor felépítésének egyik jellegzetes példáját mutatja be a 7b ábra. Ebben a transzformátorban a nagyfeszültségű tekercs két fele (N_1 és N_2) a vasmag két oszlopán van elhelyezve, és a vasmag a házzal együtt a két tekercs összekötésével van összekapcsolva. A bal oldali oszlopon van a T_1 jelzésű tápláló tekercs, ami a kisfeszültségű tápláló áramforráshoz kapcsolódik. A vasmag körül kialakuló szórások miatt a T_1 tekercs által a bal oldali oszlopban létesített fluxus egy része nem menne át a jobb oldali oszlopba, ezért ott a fluxus kisebb lenne, ez pedig azt eredményezné, hogy a két tekercsfélben nem azonos feszültség indukálódik. Az aszimmetria kiegyenlítésére szolgál a K_1 , ill. K_2 jelzésű két kiegyenlítő tekercs. Ezek úgy vannak kapcsolva, hogy amikor a bal oldali K_1 tekercsben nagyobb feszültség indukálódik, mint a jobb oldali K_2 -ben – mivel a két vasmagoszlopban a fluxus különbözik – akkor az áram a bal oldali vasmagban az eredeti fluxussal szemben, a jobb oldali vasmagban pedig egyirányban mutató mágneses gerjesztést létesít. Ezzel a két tekercs a vasmag oszlopai között fellépő egyenlőtleniséget csökkenti. A transzformátor kaszkád transzformátorként is használható, ezért a jobb oldali oszlopon egy T_2 jelzésű tekercs is el van helyezve, amely a nagyfeszültségű kivezetéssel összekötve tápláló feszültséget szolgáltat a kaszkád transzformátor következő fokozata részére. A tekercsek a 7b ábrán feltüntetett módon egymást körülvevő koncentrikus hengerek. A T_1 tekercs a bal oldali oszlopon a vasmagtól legtávolabb helyezkedik el, mert ez a tekercs földpotenciálon van és így a nagyfeszültségű tekercsek összekötéséhez kapcsolt vasmaghoz képest U_0 feszültségre kell szigetelni. Ezen belül helyezkedik el az N_1 nagyfeszültségű tekercs, amelynek földpotenciálon levő része kívül, az U_0 potenciálon levő része pedig belül van. Szerkezete általában a Fischer-rendszerű tekercseléshez hasonló. Legbelül van a kiegyenlítő tekercs, amelynek potenciálja alig tér el a vasmag potenciáljától. A jobb oldali oszlopon a tekercsek elrendezése hasonló, de itt a T_2 jelzésű tekercs van a vasmagtól legtávolabb, mert ez $2U_0$ potenciálon, tehát a vasmaghoz képest U_0 feszültségen van. Ilyen elvek szerint épült transzformátor vázlatát mutatja be a 11. ábra.

A lépcsős transzformátoroknak azokat az egységeit, amelyek a földhöz képest nagyfeszültségen vannak, nem elég szigetelőkre állítani, hanem olyan sima, lekerekített élű burkolattal kell az olajedényt körülvenni, ami elkerülhetővé teszi a koronakisülések – vagy esetleg, más erőteljesebb kisülések – kifejlődését. A szigetelő lábak mentén az egyenletesebb potenciáeloszlást árnyékológyűrűkkel, illetve több transzformátoregységet összefogó árnyékoló felületekkel teszik egyenletesebbé.



11. ábra: Az egy egységet alkotó kétlépcsős kaszkád transzformátor szerkezete.

A próbatranszformátorok táplálása.

A próbatranszformátorok feszültségét a vizsgálatok közben folyamatosan kell változtatni, mégpedig lehetőleg nullából kiindulva. A feszültség szabályozására nagyobb transzformátorokhoz általában generátorokat használnak, és ezek gerjesztését szabályozzák. A próbatranszformátorokat tápláló generátorok különlegessége, hogy többnyire kapacitív terheléssel dolgoznak, ami a gerjesztés stabilitásában okoz bizonyos problémákat. A kapacitív terhelésű szinkron generátorok a stabilitás növelésére nagy légréssel készülnek. Szinkron generátorok gerjesztésének szabályozásával általában nem lehet nullától kezdve szabályozni a feszültséget, ezért olyan helyen, ahol az egészen kis feszültségek szabályozására is szükség van, szabályozó transzformátorokat használnak.

A szabályozó transzformátorok közül néhány kVA teljesítményig a gyűrű alakú vasmagjáról elnevezett toroid transzformátorok használhatók. Ezek lényegében takarékkapcsolású transzformátorok, amelyeknek egyik kivezetése a meneteken végigcsúsztható, ezáltal a transzformátor áttétele a menetfeszültségnek megfelelő lépcsőkben szabályozható. 1 kVA-nél kisebb teljesítmény esetén toroid transzformátor helyett a működési elvét tekintve hozzá hasonló ellenállásos feszültségosztó vagy potenciométer is használható, ügyelni kell azonban arra, hogy a mágnesező áram által az ellenálláson okozott feszültségesés a vizsgáló feszültséget is eltorzíthatja.

Nagyobb teljesítményekre a csúszóérintkezők már nem alkalmasak, mert szikrázás jön létre, ezért csúszóérintkező nélküli, ún. indukciós szabályozókat használnak. Ezeknek a primer és a szekunder tekercsei közötti mágneses kapcsolat változtatásával a szekunder tekercsben indukálódó feszültséget változtatják. Az indukciós szabályozónak tehát nincsen meneteken csúszó és így hibaforrást képező érintkezője.

5. Ellenőrző kérdések a nagy egyenfeszültség előállításának témaköréhez

- Miért van szükség lépcsős transzformátorok építésére?
- Mi a lépcsős transzformátor elve?
- Milyen megoldások vannak a lépcsős transzformátorok táplálására?

A mérés során használt eszközök, berendezések ismertetése

A méréshez a tanszéken kifejlesztett mérőpaneleket használjuk, melyek előlapjának jobb oldalán a kapcsolásokban megjelenő eszközök kivezetéseit találjuk az adott áramköri elem szimbólumának feltüntetésével. A bal oldalon egy – a mérődobozban elhelyezett toroidtranszformátor áttételét állító – fekete forgatható tárcsával állíthatjuk be a kapcsolásoknál használt bemeneti váltakozófeszültséget. Ez a feszültség még legnagyobb áttétel esetén is 1 volt nagyságrendbe esik. A terheléskapcsoló 1-es állásba kapcsolásával, majd a zöld gomb megnyomásával helyezhetjük a mérőpanelt feszültség alá. A bekapcsolás a gerjesztőfeszültség teljes leszállásával, illetve az átlátszó műanyag ajtó zárása után hajtható csak végre! A készülék a piros gombbal kikapcsolható.

A kimeneti jelalak méréséhez oszcilloszkópot használunk. A kívánt mérési pontot a kapcsolat adott csomópontjának „measure” csatlakozóval való összekötésével állíthatjuk be.

Elvégzendő mérések

Egyenfeszültségű mérés

1. Állítsanak össze egy egyutas egyenirányító kapcsolást, és vizsgálják meg a kimeneti jelalakot simító kondenzátorral és a nélkül. Jegyezzék fel a toroidtranszformátor (fekete tárcsa) pozícióját, mivel – az összehasonlíthatóság miatt – a többi méréshez ugyanezt kell beállítani.
2. Állítsanak össze egy Greinacher egyenirányító kapcsolást (5. ábra) és vizsgálják meg a kimeneti jelalakokat. Hasonlítsák ezt össze az első mérés eredményével.
3. Állítsanak össze egy Villard kapcsolású, feszültségkétszerező egyenirányítót (4. ábra) és vizsgálják meg az egyenirányított feszültség nagyságát és alakját.
4. A 6. ábra szerint bővítsék a kapcsolást egy két-, majd háromfokozatú kaszkád kapcsolássá. Vizsgálják meg a kimeneti feszültségeket az egyes fokozatokon.
5. Illesszenek egy terhelő ellenállást az egyenirányító kimenetére, majd vizsgálják meg a kimeneti feszültség alakját. Mérjék le annak hullámosságát terheléssel és terhelés nélkül.

Váltakozófeszültségű mérés

6. Kössenek be egyetlen transzformátort, és mérjék meg annak áttételét.
7. Az 10. ábra alapján kapcsolják kaszkádba a három transzformátort és mérjék meg a kimeneti feszültséget.
8. Vizsgálják meg a feszültség alakulását, ha az egyik fokozatnál megcserélik a primer oldali kapcsok sorrendjét.



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

BME-VIK-VET-NFCS-MŰSZ-001 sz.
Minőségügyi Munkautasítás
A Nagyfeszültségű Laboratórium működési rendje
Kivonat

Készítette: Németh Bálint

Változat: 00

Jóváhagyta és kiadta: Dr. Berta István csoportvezető

Kelt: Budapest, 2007. szeptember 1.

1. FOGALMAK MEGHATÁROZÁSA

Ez a fejezet azoknak a fogalmaknak a meghatározását tartalmazza, amelyeknek az egyértelmű, félre nem érthető és egységes használata a Nagyfeszültségű Laboratórium működésének fontos biztonsági követelménye.

átívelési (átütési) távolság: két, különböző feszültségű rész, vagy egy feszültség alatt álló és egy földelt rész közötti azon legkisebb távolság, amely szükséges ahhoz, hogy ne következzen be villamos átívelés (átütés) az előforduló legnagyobb villamos igénybevétel esetén sem (fizikai összetevő)

ergonómiai összetevő: az átívelési (átütési) távolsághoz hozzáadandó azon többlet távolság, amely azt veszi figyelembe, hogy a munkavégző hibát véthet a mozgásban és a távolság megítélésében

feszültség alatti állapot:

fizikailag: az üzemi villamos berendezésnek az az állapota, amikor az a villamos energia tápforrásával vezetői kapcsolatban áll, vagy feszültség alatti üzemi villamos berendezéssel induktív és/vagy kapacitív csatolásban van, és rajta a földhöz képest villamos feszültség mérhető

jogilag: az üzemi villamos berendezésnek az az állapota, amikor nem teljesülnek rajta maradéktalanul a feszültségmentesítés szabványos feltételei

feszültség alatti munkavégzés: minden olyan munkavégzés, melynek során a munkavégző személy testével, testrészével, szerszámával, védő- vagy segédeszközével, illetve munkagépével feszültség alatti részt érint, vagy a veszélyes övezetbe hatol. Ilyennek számít az is, ha a munkavégző személy a szokásos körültekintés mellett nem tudja elkerülni feszültség alatti rész érintését, vagy a veszélyes övezetbe való behatolást.

feszültség közeli munkavégzés: minden olyan munkavégzés, melynek során a munkavégző személy testével, testrészével, szerszámával, védő- vagy segédeszközével, illetve munkagépével a közelítési övezetbe hatol, vagy abban tartózkodik, és csak fokozott figyelemmel tudja elkerülni a veszélyes övezetbe való behatolást

feszültségmentes állapot:

fizikailag: az üzemi villamos berendezésnek az az állapota, amikor a földhöz képesti villamos feszültsége nulla vagy közel nulla

jogilag: az üzemi villamos berendezésnek az az állapota, amikor vezetői kapcsolata minden villamosenergia-tápforrással meg van szakítva, és maradéktalanul teljesülnek rajta a feszültségmentesítés szabványos feltételei

feszültségmentes munkavégzés:

- a munkavégzés az MSZ 1585:2001 szabvány szerint feszültségmentesített berendezésen történik,
- a munkavégző személy testének, testrészének, szerszámának, védő- vagy segédeszközének, illetve munkagépének a feszültség alatt álló szomszédos berendezések

közelítési övezetébe való behatolása műszaki eszközökkel, pl. ideiglenes elhatároló védőszerkezettel megbízhatóan meg van akadályozva, a munkavégzés a feszültség alatt álló berendezés közelítési övezetétől olyan távolságra zajlik, hogy az abba való behatolás kizárt.

feszültségmentesítés: az MSZ 1585:2001 szabvány szerinti azon folyamat, melynek során az üzemszerűen feszültség alatt álló üzemi villamos berendezést olyan állapotba hozzák, hogy rajta (érintésével, közelében, azaz veszélyes övezetében) a villamos áramütés veszélye nélkül, biztonságosan lehet munkát végezni. A feszültségmentesítés szabvány szerint a következő munkafolyamatok egymásutánjából áll:

1. **Teljes leválasztás:** a villamos berendezésnek azt a részét, amelyen munkavégzés folyik, le kell választani az összes tápforrásról.
2. **Biztosítás visszakapcsolás ellen:** a villamos berendezésnek a munkavégzés céljából történő leválasztására használt összes kapcsolóeszközt biztosítani kell a visszakapcsolás ellen, célszerűen a működtető mechanizmus reteszelésével. Távműködtetésű kapcsolóeszközök alkalmazása esetén a visszakapcsolást helyi működtetésű eszközökkel kell megakadályozni. A leválasztásnál használt jelző- és reteszelőrendszernek megbízhatónak kell lennie.
3. **A villamos berendezés feszültségmentes állapotának ellenőrzése:** a feszültségmentes állapotot a villamos berendezés minden pólusán ellenőrizni kell a munkavégzés helyén vagy annak közelében. Az ellenőrzés magában foglalja például a szerkezetekbe épített feszültségkémlelő eszközök és/vagy különálló kémlelő eszközök használatát.
4. **Földelés és rövidre zárás:** minden nagyfeszültségű és meghatározott kisfeszültségű villamos berendezés esetében a munkavégzés helyén minden olyan részt, amelyen munka folyik földelni kell és rövidre kell zárni. A földelő- és rövidre záró szerkezeteket vagy eszközöket először a földelési ponthoz kell csatlakoztatni és csak aztán a földelendő alkatrészhez. A földelő- és rövidre záró szerkezetek vagy eszközök lehetőleg legyenek a munkavégzés helyéről láthatóak.
5. **A közeli, feszültség alatt álló részek elleni védelem:** A feszültségmentesített rész körülhatárolása mindig úgy történjék, hogy még a határvonal érintése se legyen feszültség alatti tevékenységnek tekinthető. (Pl. ha egy szabadvezeték közbenső szakaszát feszültségmentesítik, akkor a határ nem lehet a nyitott oszlopkapcsolók vagy bontott szakaszbiztosítók oszlopán, hanem annál csak beljebb.)

feszültség nélküli állapot: az üzemi villamos berendezésnek az az állapota, amikor vezetői kapcsolata minden villamosenergia-tápforrással meg van szakítva, következésképp nem áll az üzemi feszültséghez hasonló értékű földhöz képesti villamos feszültség alatt, de nem teljesülnek rajta maradéktalanul a feszültségmentesítés szabványos feltételei

földelés: az üzemi villamos berendezés meghatározott pontját vagy részét a föld potenciáljára hozó vezetői összeköttetés

hallgató: a BME bármely karának bármely szakára beiratkozott és ott ténylegesen tanulmányokat folytató, valamint a BME VIK által szervezett doktori (PhD) képzésben, illetve az MTI felnőttképzésében részt vevő személy. A Nagyfeszültségű Laboratórium működése szempontjából a hallgatók alábbi csoportjait különböztetjük meg:

– **Az NFL-ben kutatási munkát nem végző hallgató:**

➤ *tantervi tantárgy oktatásának keretében hallgatói mérésen részt vevő hallgató*
➤ *MTI-hallgató:* az a hallgató, aki a Mérnöktovábbképző Intézet által szervezett tanfolyamon az NFCS által oktatott olyan tantárgyat tanul, amelynek keretében az NFL-ben kell mérésen résztvennie.

– **Az NFL-ben kutatási munkát végző hallgató:**

➤ *önálló laboratóriumos (önálló laborozó) hallgató:* az a hallgató, aki a tantervben szereplő „Önálló laboratórium” című gyakorlati tantárgyat az NFCS-nél veszi fel,
➤ *TDK-zó hallgató:* az a hallgató, aki tudományos diákköri kutatómunkáját az NFCS-nél végzi,
➤ *szakdolgozat készítő hallgató:* az a hallgató, aki a „Szakdolgozat” című tantárgyat az NFCS-nél veszi fel,
➤ *diplomatervező hallgató:* az a hallgató, aki a „Diplomatervezés” című gyakorlati tantárgyat az NFCS-nél veszi fel,
➤ *PhD hallgató:* az a hallgató, aki a BME VIK által szervezett doktori (PhD) képzésben az NFCS-n folytatja tanulmányait.

Hallgatói mérés: az NFL berendezéseivel végzett olyan művelet(sor), amely a nagyfeszültségen végbemenő jelenségeket mutatja be és teszi tanulmányozhatóvá. Fajtái:

– *Egyszerűsített bemutató mérés:* a hallgatók egy bemutató program alapján a nagyfeszültségen végbemenő jelenségeket közvetlenül és/vagy multimédiás eszközökkel tanulmányozzák; ennek során kizárólag az NFL I. emeleti galériájának kijelölt helyén tartózkodhatnak, és az NFL berendezésein kapcsolási műveletet nem hajthatnak végre.

– *Bemutató mérés:* a hallgatók egy bemutató program alapján a nagyfeszültségen végbemenő jelenségeket közvetlenül és/vagy multimédiás eszközökkel tanulmányozzák; ennek során kizárólag az NFL I. emeleti galériáján és földszinti kezelőfolyosóján tartózkodhatnak, és az NFL berendezésein kapcsolási műveletet nem hajthatnak végre.

– *Egyszerűsített laboratóriumi mérés:* a hallgató(k) egy mérési program alapján a nagyfeszültségen végbemenő jelenségekkel kapcsolatos méréseket végez(nek); ennek során kizárólag az NFL I. emeleti galériáján és földszinti kezelőfolyosóján tartózkodhat(nak), és előre kidolgozott és a mérésvezető által jóváhagyott kapcsolási sorrend alapján az NFL berendezésein kapcsolási művelete(ke)t is végrehajthatnak.

– *Laboratóriumi mérés:* a hallgató(k) egy mérési program alapján a nagyfeszültségen végbemenő jelenségekkel kapcsolatos méréseket végez(nek); ennek során az NFL emeleti galériáján, földszinti kezelőfolyosóján és mérőterének a feszültség alatt álló berendezések közelítési övezetén kívüli részén tartózkodhat(nak), és előre kidolgozott és a mérésvezető által jóváhagyott kapcsolási sorrend alapján az NFL berendezésein kapcsolási művelete(ke)t is végrehajthat(nak).

kapcsolási művelet: primer kapcsolókészülék (megszakító, szakaszoló, szakaszoló kapcsoló, földelő szakaszoló, primer biztosító, transzformátor fokozatkapcsoló), szekunder kapcsolókészülék (kisautomata, biztosító, élesítő-bénító kapcsoló, választókapcsoló, üzemmódkapcsoló, nullbontó, irányítástechnikai gyűjtő-leválasztó sorozatkapocs stb.) kapcsolási állapotának megváltoztatása, tokozott kapcsolóberendezés kocsizható megszakítójának ki-, bekocsizása, szinkron állapot ellenőrzése, a terhelés/feszültség meglétének/hiányának ellenőrzése, munkahelyi földelő, földelő-rövidrezáró felhelyezése, eltávolítása, tiltó táblák, szimbólumok elhelyezése, megjelenítése, eltávolítása

kapcsolási sorrend: kapcsolási műveletek olyan egymásutánja, amellyel a kapcsolóberendezés(rész) szabályosan (árampálya tilos vagy szükségtelen, illetve arra nem alkalmas kapcsolókészülékkel történő megszakítása, illetve feszültség alatt álló rész leföldelése nélkül) vihető át a kiindulási kapcsolási állapotból az elérni kívánt kapcsolási állapotba

közelítési övezet: a veszélyes övezetet körülvevő azon térség, amelyben dolgozva a munkavégző elővigyázata szükséges ahhoz, hogy testével, testrészével, szerszámmal, védő- vagy segédeszközével, illetve munkagépével ne hatoljon a veszélyes övezetbe

közreműködő: a Nagyfeszültségű Laboratóriumban folyó kutatási-mérési-vizsgálati tevékenységben részt vevő, nem az NFCS állományába tartozó és nem hallgató státuszú személy, aki önálló munkavégzésre nem jogosult

látogató: a Nagyfeszültségű Laboratórium berendezéseit és az ott folyó oktatási, illetve kutatási-mérési-vizsgálati tevékenységet megtekintő, tanulmányozó, nem hallgató státuszú személy, akinek számára az NFCS esetenként kijelölt munkatársa egyszerűsített bemutató mérést vagy bemutató mérést tart(hat)

munkahelyi földelés: az üzemi villamos berendezés üzemszerűen feszültség alatt álló, de munkavégzés céljából feszültségmentesítendő, vagy már feszültségmentesített részének földelése beépített készülékkel (pl. földelőszakaszolóval vagy szakaszoló földelőkéssel), illetve hordozható földelőeszközzel a munkahelyen annak érdekében, hogy a munkahelyre veszélyes feszültség semmiképpen se hatolhasson

rendellenesség: a Nagyfeszültségű Laboratórium üzemi villamos és nem-villamos berendezéseiben bekövetkező olyan üzemi hiba (nem tervezett állapotváltozás), melynek következtében az adott berendezés vagy annak meghatározott része közvetlenül nem válik üzemképtelenné, de elhárításának elmaradása üzemzavarhoz vezethet

üzemi földelés: az üzemi villamos berendezés áramköre meghatározott pontjának (pl. a háromfázisú váltakozó áramú rendszer csillagpontjának) állandó jellegű, de szükség esetén (pl. mérési célból) bontható földelése, amely az üzemi villamos berendezés helyes működéséhez szükséges

üzemzavar: a Nagyfeszültségű Laboratórium üzemi villamos és nemvillamos berendezéseiben bekövetkező olyan üzemi hiba (nem tervezett állapotváltozás), melynek következtében az adott berendezés vagy annak meghatározott része, de esetleg a Nagyfeszültségű Laboratórium egésze az elhárítás idejéig üzemképtelen állapotba kerül

veszélyes övezet: a feszültség alatt álló csupasz (szigetelő burkolat nélküli) rész körüli olyan térség, amelyben a villamos veszély kiküszöbölését szolgáló szigetelés nincs meg az e térségbe védelmi intézkedések nélkül behatoló személy vagy eszköz és a feszültség alatt álló csupasz rész között. A veszélyes övezet külső határa egyenlő a munkavégzés legkisebb védőtávolságával.

2. A Nagyfeszültségű Laboratóriumba való belépés és az ott-tartózkodás rendje

A Nagyfeszültségű Laboratóriumba az NFCS munkatársai, az oktatási és kutatási-mérési-vizsgálati tevékenységben részt vevő, nem az NFCS állományába tartozó személyek (a közreműködők), látogatók, hatósági ellenőrző személyek és hallgatók a következő táblázat szerint léphetnek be és ott tartózkodhatnak:

	NFL mérőtér	Fsz-i kezelőfolyosó	Emeleti galéria	Darukezelő pult	Szabadtéri alállomás
Az NFCS főberendezés önálló kezelésére feljogosított munkatársai	kn	kn	kn	–	kn
Az NFCS főberendezés önálló kezelésére és darukezelésre feljogosított munkatársai	kn	kn	kn	kn	kn
Az NFCS kezelési feljogosítás nélküli munkatársai	k	kn	kn	–	–
Közreműködők	k	k	k	k	k
Látogatók	–	k	k	–	–
Hatósági ellenőrző személyek	k	k	k	k	k
Kutatási tevékenységet nem végző hallgatók	–	k	k	–	–
Kutatási tevékenységet végző hallgatók	k	kn	kn	–	–
PhD hallgatók	kn	kn	kn	–	k

kn: korlátozás nélkül

k: kíséreléssel

– : belépés és ott-tartózkodás nincs engedélyezve

NFL mérőtéren az éppen feszültség alatt álló főberendezések közelítési övezetén kívüli térrész értendő, amelyben nem áll fenn az ott tartózkodót érő villamos átütés-átívelés veszélye.

3. A Nagyfeszültségű Laboratórium főberendezéseinek kezelése

A Nagyfeszültségű Laboratórium főberendezéseit a következő táblázat szerint önállóan kezelhetik azok a személyek, akik számára a Nagyfeszültségű Laboratóriumba való belépés és az ott-tartózkodás az 5.5 pont táblázata szerint van engedélyezve:

	10 és 6 kV-os kapcsolóberendezés	600 kV-os próbatranszformátor	300 kV-os próbatranszformátor	250 kV-os próbatranszformátor	1 MV-os lökőgenerátor	750 kV-os lökőgenerátor	Mérőszoba
Az NFCS főberendezés (beleértve a 10 és 6 kV-os kapcsolóberendezést is) önálló kezelésére feljogosított munkatársai	kn	kn	kn	kn	kn	kn	kn
Az NFCS főberendezés önálló kezelésére feljogosított munkatársai	–	kn	kn	kn	kn	kn	kn
Az NFCS kezelési feljogosítás nélküli munkatársai	–	k	k	k	k	k	k
Közreműködők	–	–	–	–	–	–	–
Látogatók	–	–	–	–	–	–	–
Hatósági ellenőrző személyek	–	–	–	–	–	–	–
Kutatási tevékenységet nem végző hallgatók	–	–	k	k	–	k	k
Kutatási tevékenységet végző hallgatók	–	k	k	k	k	k	k
PhD hallgatók	–	kn	kn	kn	kn	kn	kn
Szakmai képzésben résztvevő	–	–	–	–	–	–	–

kn: korlátozás nélkül

k: kísérvél

– : az adott főberendezés kezelése nincs engedélyezve

Külön kiemelendők azonban a következő műveletek:

- **Tilos a feszültségforrás nagyfeszültségű kapcsának földelését megszüntetni mindaddig, míg a próbaáramkör (a kísérleti eszköz, illetve a próbatárgy, a nagyfeszültségű hozzávezetés és a földelő elvezetés) nincs véglegesen és szilárdan, nem kívánt átütéstől-átíveléstől mentesen összerakva.**
- **Tilos a kísérlet-mérés-vizsgálat befejezése és a feszültségforrás nulla kimenő nagyfeszültségre való leszállítása után a feszültségforrás nagyfeszültségű pontját és a próbaáramkört a veszélyes közelségen belül megközelíteni mindaddig, míg az újbóli feszültség alá kerülés (főlszállítás) nincs megakadályozva, és nem történt meg a feszültségforrás és a próbaáramkör kisütése, majd földelés-rövidrezárása. Különösen ügyelni kell a nagykapacitású elemek kisütésekor fellépő fény- és hangjelenségre.**

4. További szabályok a Nagyfeszültségű Laboratóriumban

- A Nagyfeszültségű Laboratóriumban csak az a személy dolgozhat, aki azt a laboratóriumi szabályzatot ismeri és előírásainak betartására írásban kötelezte magát.
- Csak az a hallgató vehet részt a mérési gyakorlatokon, aki a mérések anyagát megfelelően elsajátította és a felkészültségéről minden mérési gyakorlat elején szóban vagy írásban számot ad.
- A Laboratóriumban életveszélyes feszültséggel, illetve árammal kell a mérések alatt dolgozni, ezért fokozott figyelemmel és körültekintéssel szabad csak tevényekedni.
- Elkerített nagyfeszültségű vizsgálótérbe csak annak feszültségmentesített állapotában szabad bemenni a mérésvezető engedélyével.
- A nagyfeszültséget csak akkor szabad bekapcsolni, ha a vizsgálótérben senki nem tartózkodik.
- A méréseket általában a hallgatók állítják össze, de a feszültséget a mérőkörre csak a mérésvezető engedélyével szabad rákapcsolni.
- A mérési gyakorlat megkezdése előtt a mérőcsoport minden tagja jól jegyezze meg, hogy baleset vagy veszélyhelyzet esetén mely kapcsolókkal lehet a vizsgálóteret vagy mérőkört feszültségmentesíteni.
- Ha a bekapcsolás után bármilyen rendellenes jelenség lépne fel, a vizsgálóteret vagy a mérőkört azonnal feszültségmentesíteni kell. A hibás mérőköri elrendezést csak a mérésvezető útmutatásával szabad megváltoztatni.
- A kapcsolásokon változtatásokat csak feszültségmentes és leföldelt állapotban szabad végezni. Biztosítani és ellenőrizni kell az összekötések megfelelő csatlakozását.
- Üzemszerűen feszültség alatt nem álló, de megérintható fémszerelvényeket földelni kell.

- A vizsgálótérben lévő, de a mérésben nem használt nagy kapacitású eszközöket, kondenzátorok kapcsait rövidrezárni és földelni kell.
- Tilos az érintésvédelmi és biztonságtechnikai berendezéseket hatástalanítani.
- A mérőműszerek vagy berendezési tárgyak gondatlan használatából eredő károkért a kár okozója, illetve a mérőcsoport anyagilag felelős.
- Az esetleg fellobbanó villamos tűz oltására csak a laboratóriumban rendszeresített tűzoltó készülékeket szabad használni.
- Ittas vagy gyógyszer hatása miatt kábult személy a Laboratóriumban nem tartózkodhat. A Laboratórium egész területén dohányozni tilos!
- Beültetett szívritmus szabályozó (pacemaker), nagyothalló készülékkel, inzulinadagolóval stb. a Laboratóriumba belépni tilos.