



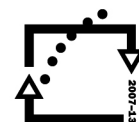
evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



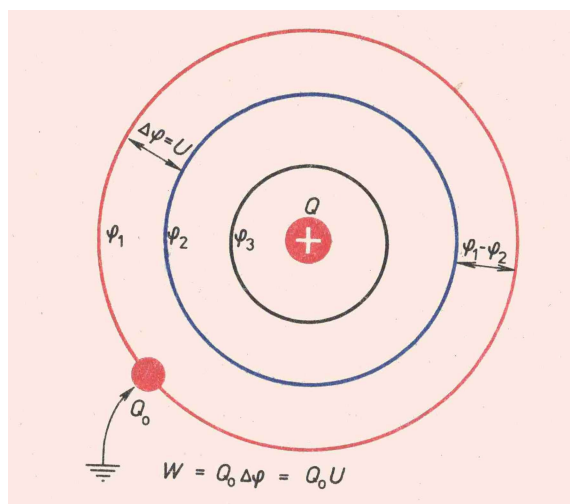
OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj Registrační číslo: CZ.1.07/1.1.08/03.0009

### Elektrické napětí

Elektrické napětí je definováno jako rozdíl elektrických potenciálů mezi dvěma body v prostoru. Velikost potenciálu v určité vzdálenosti od náboje značíme indexovanými písmeny  $\varphi$ . Stejný potenciál se nachází vždy na ekvipotenciálních plochách, které jsou množinou bodů se stejným potenciálem. Představujeme si je jako kulové plochy okolo osamocené bodové náboje, tzv. hladiny potenciálu.



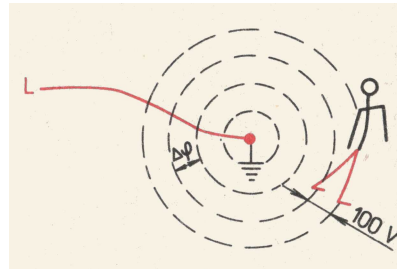
$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$$

$W$  je práce, kterou musíme vykonat, abychom přenesli v elektrickém poli kladný jednotkový náboj  $Q_0$  z místa nulového potenciálu do uvažovaného místa.

Za místo nulového potenciálu obvykle považujeme zemský povrch nebo uzemněnou část přístroje, popřípadě zařízení.

Z uvedeného je zřejmé, že potenciálový rozdíl nemůže vzniknout mezi dvěma body na téže hladině potenciálu, například na stejné svorce zdroje napětí. Napětí je tedy stav mezi místy s různým potenciálem. Na rozdíl od proudu napětí neteče.

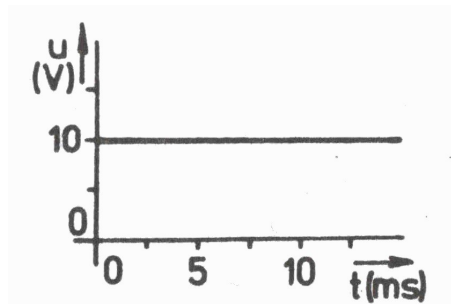
Tyto poznatky mají v praxi důležité místo při práci s vysokým napětím. V případě, že vodič vysokého napětí leží z jakýchkoliv důvodů na zemi, vlivem odporu země klesá postupně potenciál v jeho okolí.



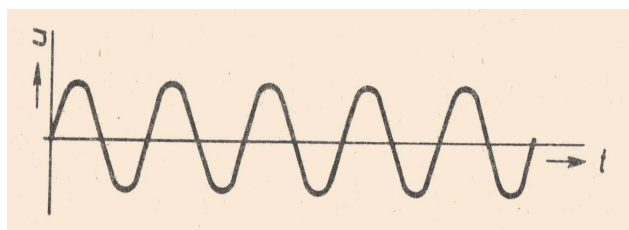
Při chůzi může být člověk nebo živočich zasažen elektrickým proudem, neboť vzniká mezi potenciálovými hladinami tzv. krokové napětí.

Jednotkou pro potenciál stejně jako pro napětí je volt [V].

Elektrické napětí může mít časově stejnou hodnotu (stejnoseměrné napětí)



nebo může být časově proměnné – obvykle se sinusovým průběhem (střídavé napětí)



## Velikost napětí

Velikost napětí může nabývat hodnot menších než jeden volt, ale také mnohem větších (využíváme hodnoty až ve stovkách tisíc voltů).

Podle velikosti rozdělujeme napětí na kategorie:

mn – malé napětí

nn- nízké napětí

vn – vysoké napětí

zvn – zvláště vysoké napětí

uvn – ultravysoké napětí

označení napětí	název zařízení	jmenovité napětí	
		v uzemněné soustavě	
		mezi vodičem a zemí	mezi vodiči
mn	zař. mn	do 50V včetně	do 50V včetně
nn	zař. nn	nad 50V do 600V vč.	nad 50V do 1000V vč.
vn	zař. vn	nad 0,6kV do 30kV	nad 1kV do 52kV
vvn	zař. vvn	od 30kV do 171kV	od 52kV do 300kV
zvn	zař. zvn		od 300kV do 800 kV
uvn	zař. uvn		nad 800kV

### Malé napětí

Hodnoty napětí od milivoltů (mV) až do 50V se používají především ve slaboproudé elektrotechnice a elektronice.

### Ostatní napětí

Setkáme se s nimi v oblastech od výrobce (elektrárny) až po spotřebitele.

Jak rozeznáme rozvody jednotlivých napětí:

Venkovní rozvody se na první pohled od sebe liší konstrukcí stožárů, tloušťkou vodičů, jejich počtem na jednu fázi a jejich vzájemným uspořádáním:

### Rozvody 230/400V:

na konzolách:



na střešnicích:



Na hodnotu 230/400V bylo napětí sníženo transformátorem ze sítě 22 kV. Tyto transformátory můžeme vidět běžně v obcích či na sídlištích:



## Rozvody 22 kV:

starší typ konstrukce vedení:



novější typ:



Starší typ nevyhovuje z ekologických důvodů, neboť se podílí na likvidaci větších ptáků, především chráněných dravců. Sedící pták při vzletnutí roztáhne křídla a propojí tak dva sousední vodiče. Dojde k výboji, při kterém pták uhoří. Proto je starší typ vedení nahrazován postupně novým, který neumožňuje usednutí ptáků na podpěrnou konstrukci vodičů.

Na hodnotu 22 kV bylo napětí sníženo transformátorem ze sítě 110 kV. Tyto transformátory můžeme vidět pouze v měnárnách a rozvodnách:



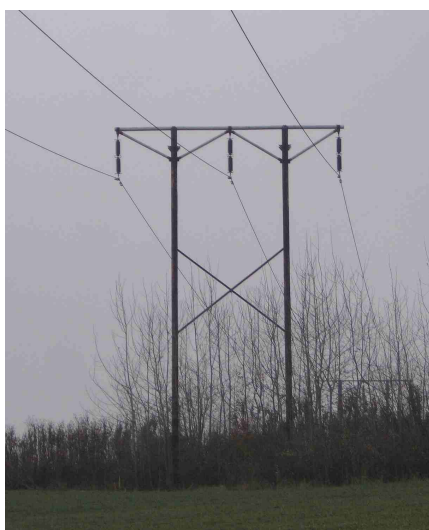
### Rozvody 110 kV:

Nejčastěji můžeme vidět stožáry se dvěma paralelními vedeními 110 kV – jedno vlevo (tři vodiče) a jedno vpravo od stožáru:



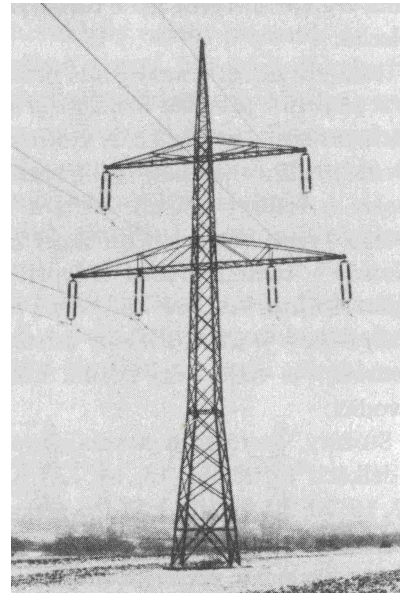
V oblastech letového provozu jsou na horních zemnicích vodičích umístěny zviditelňující koule.

Někdy je vedení pouze jedno – tři vodiče ve vodorovné rovině:



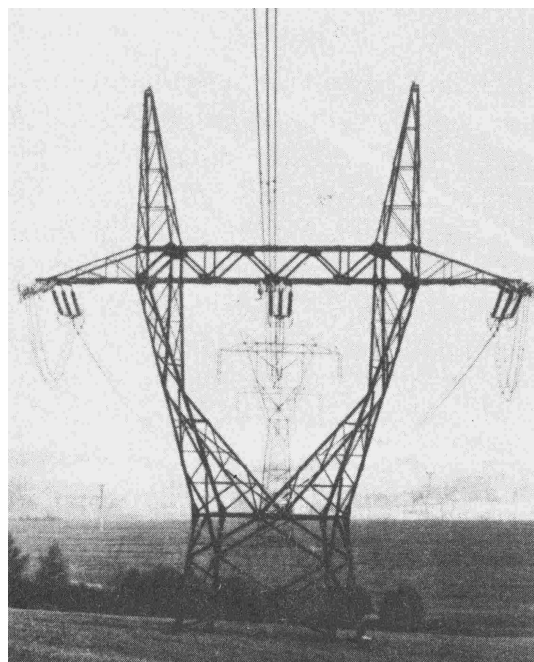
### **Rozvody 220 kV:**

V naší republice se vyskytují zřídka. Fáze bývají vedeny zdvojeným vodičem.



Napětí 110 kV a 220 kV byla získána transformací ze zvn 400 kV.

### **Rozvody 400 kV:**





Pro rozvody 400 kV se používají svazkové vodiče. Proud jedné fáze prochází skupinou lan vzdálených od sebe 30 až 100 cm. U nás se používá skupina tří lan v trojúhelníkovém uspořádání pro jednu fázi. Tímto uspořádáním se zmenší ztráty způsobené korunou i reaktance, zvětší se chladičový povrch a usnadní montáž lehčími lany. Současně se zvětší také přenosová schopnost vedení.

Lana (vodiče) pro sítě vn, vvn a zvn jsou ocelohliníková. Mají ocelovou duši (ocelový drát nebo lano) na niž jsou šroubovitě navinuty hliníkové dráty i v několika vrstvách. Vytvářejí tak hliníkový plášť. Takovéto složení vodivých lan se nazývá AlFe lano.

Napětí 400 kV bylo získáno transformací z napětí 10 kV příp. 15 kV, která jsou výstupem z generátorů elektráren. Důvodem pro zvyšování generátorového napětí pro přenos až na 400 kV je snaha o zmenšování fázového proudu a tím zmenšování ztrát na vedení. Menší proudy umožňují použití menšího průřezu vodičů. To vede také k úsporám používaných materiálů a tím také ke zmenšování nákladů na stavbu sítí.

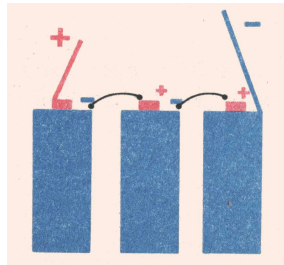
## Stejnoseměrné napětí

Stejnoseměrné napětí získáváme z elektrochemických zdrojů. V současné době se nejčastěji používají tzv. suché články (monočlánky) s výstupním napětím 1,5 V. Říkáme jim také primární zdroje, neboť jsou schopny dodávat energii ihned po sestavení článku. Sekundárními zdroji jsou například akumulátory, které musíme nejprve nabít, abychom je mohli použít jako zdroj elektrického napětí. V současné době používáme nepřeberné množství typů akumulátorů lithiových, niklmetalhydridových, niklkadmiových, olověných.



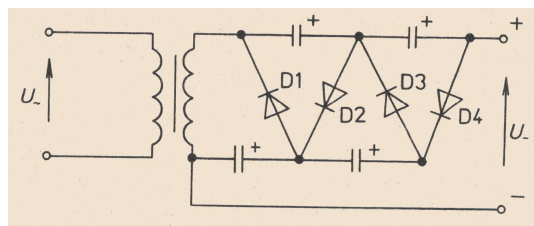
Změny stejnosměrného napětí:

Zvýšení lze dosáhnout sériovým spojením potřebného počtu článků. Jejich napětí se sčítají.



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

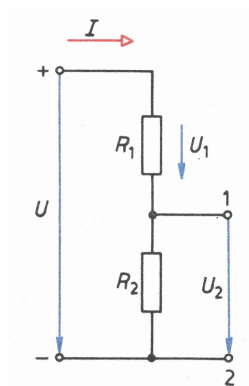
Při získání usměrněného napětí ze střídavého napětí lze k jeho změně použít kaskádní násobič:



V půlperiodách se napětí střídavého zdroje sečítá s napětím nabitého kondenzátoru a přes diodu se nabije další kondenzátor, avšak již s dvojnásobným napětím. Tak se napětí podle počtu členů násobiče zvyšuje až na několik tisíc voltů.

Snížení napětí lze provést několika způsoby. Vždy se však jedná o napěťový **dělič**:

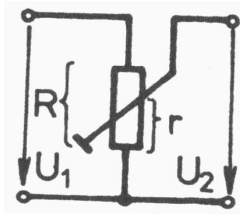
a) snížení pomocí děliče z pevných rezistorů



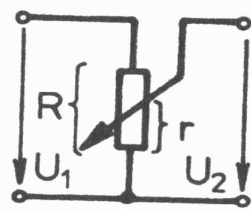
Požadované napětí  $U_2$  pak vypočítáme

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

b) snížení pomocí odporového trimru

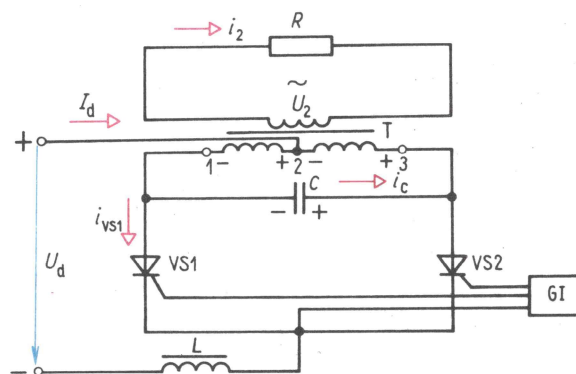


c) snížení pomocí potenciometru



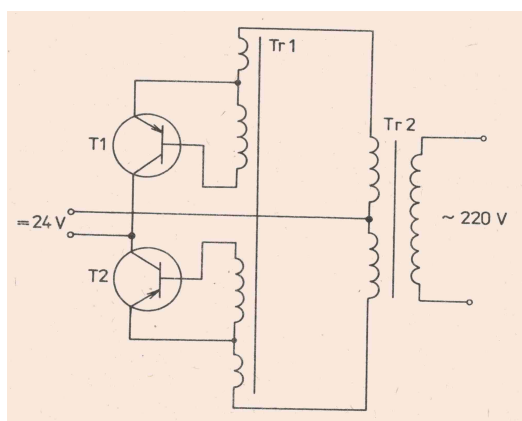
Ze stejnosměrného napětí lze vytvořit střídavé napětí pomocí měničů zvaných **střídače**:

a) střídač s tyristory



Hlavními částmi tohoto střídače jsou transformátor T, dva tyristory VS1 a VS2, komutační obvod s kondenzátorem C a zdroj řídicích impulzů GI s neměnným nebo proměnlivým kmitočtem. Střídač je napájen stejnosměrným napětím  $U_d$ . Tyristorové střídače se používají pro vyšší výkony.

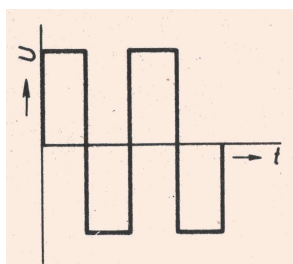
b) střídač s tranzistory



Tranzistorové měniče se používají pro menší výkony. Jsou to v podstatě klopné obvody. Základem klopného obvodu jsou dva tranzistory, které v obvodu vyvolávají trvalé oscilace. Ze střídačů lze odebrat střídavé napětí i několik tisíc voltů.

V praxi se využívají střídače zejména pro napájení výbojek ze stejnosměrných zdrojů - napájení zářivkových trubec v autobusech a vlacích. U fotoblesků potřebujeme napětí pro výbojku o velikosti několik set až tisíc voltů. Toto napětí dodává střídač napájený několika tužkovými monočládky. Střídače se také používají v případech, kdy potřebujeme napájet síťový spotřebič z automobilového stejnosměrného akumulátoru.

Průběh napětí z klopných obvodů ani tyristorových střídačů není sinusový, ale obdélníkový:



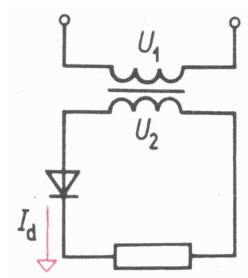
Pokud by některým spotřebičům vadil takovýto průběh, lze jej pomocí elektronických filtrů upravit na sinusový.

Stojnosměrné napětí můžeme získat pomocí měničů také ze střídavého napětí. Tyto měniče nazýváme **usměrňovače**.

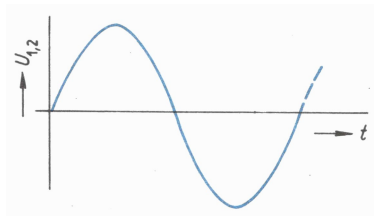
a) neřízené usměrňovače:

Je to nejběžnější typ usměrňovače. Neumožňuje řízení výstupního napětí v samotné usměrňovací součástce, kterou bývá polovodičová dioda s přechodem PN. Chceme-li měnit napětí na výstupu z usměrňovače, musíme změnit vstupní střídavé napětí před usměrňovačem.

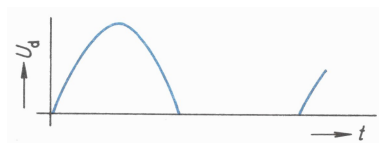
Nejjednodušším zapojením je jednofázový jednocestný usměrňovač s jednou diodou:



Jednocestný usměrňovač změni původní střídavé napětí

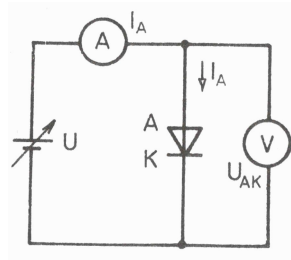


na usměrněné

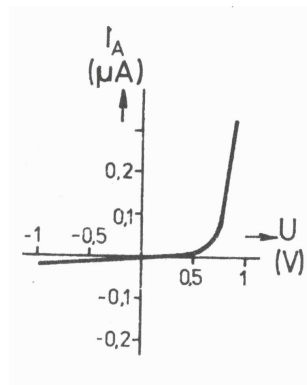


Tento časový průběh napětí vznikne činností PN přechodu diody, který propouští jen kladné půlvlny střídavého sinusového průběhu, záporné nepropouští.

Velikost propuštěné hodnoty proudu a napětí pro určitý typ diody (přechodu PN) můžeme proměřit při následném zkušebním zapojení:

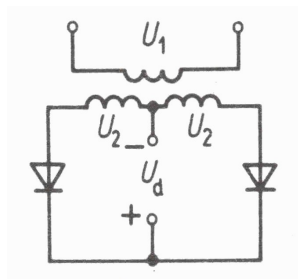


Výsledkem je voltampérová charakteristika diody:

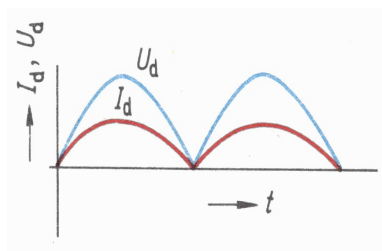


Zde průběh charakteristiky a naměřené hodnoty odpovídají vlastnostem křemíkové diody.

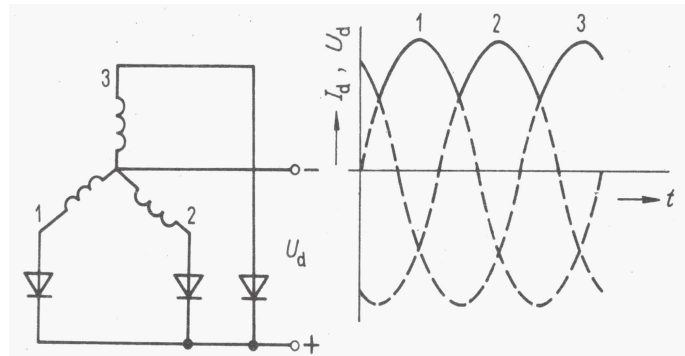
Přidáním další diody vznikne dvoucestný usměrňovač:



Tento usměrňovač potřebuje sice jen dvě diody, avšak používá nákladnější transformátor s vyvedeným středem sekundární cívky, což může být nevýhodou. Druhá polovina vinutí spolu s druhou diodou způsobí převrácení druhé (záporné) půlvlny do kladné části charakteristiky:

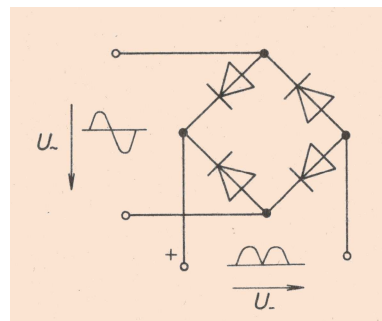
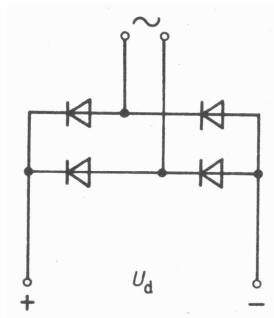


V trojfázovém provedení vypadá usměrňovač v takovémto uzlovém zapojení a jeho pracovní charakteristika následovně:



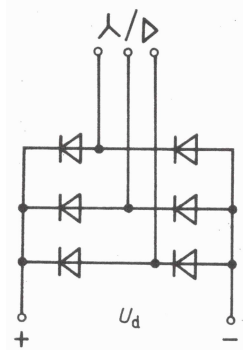
Výsledné napětí je součtem částí usměrněných fází, a proto neklesá k nule (průběh 1,2,3).

Dalším typem jednofázového dvoucestného usměrňovače je můstkový (Gretzův) usměrňovač. Znázorňuje se dvojím způsobem:

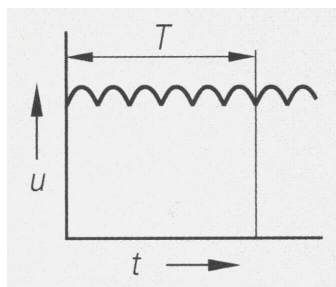


Můstkové zapojení je nejpoužívanější. Sice obsahuje navíc dvě diody oproti předchozímu zapojení, nepotřebuje však speciální transformátor. Nevýhodou je, že proud vždy prochází dvěma diodami současně a je tedy na nich dvojnásobný úbytek napětí, než u předchozích zapojení. Výsledné usměrněné napětí má tvar stejný jako je uvedeno na obrázku u předchozího jednofázového usměrňovače.

Můstek v trojfázovém provedení:

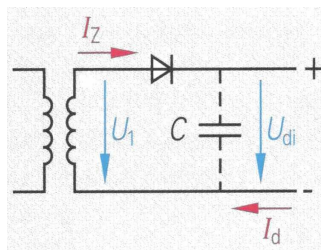


Usměrněná hodnota napětí se více blíží napětí stejnosměrnému:

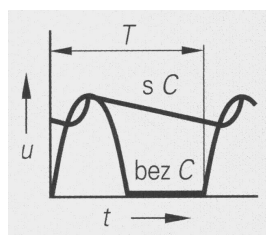


Aby se usměrněné napětí ještě více blížilo svým časovým průběhem napětí stejnosměrnému, zapojují se za usměřňovač vyhlazovací kondenzátory a filtry.

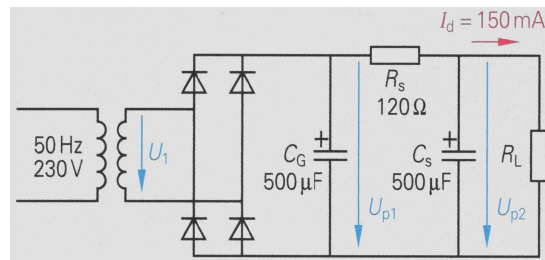
Usměřňovač s vyhlazovacím kondenzátorem:



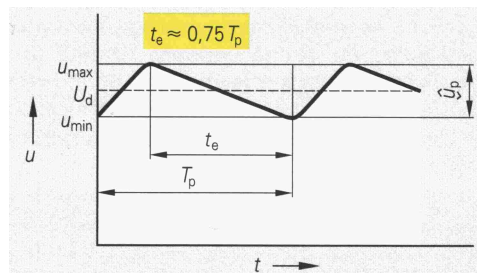
Průběh U na výstupu:



Kondenzátor připojený na výstup usměrňovače zvyšuje výstupní napětí směrem ke špičkové hodnotě a vyhlazuje jeho průběh – zmenšuje rozkmit střídavé složky zvlněného výstupního napětí. Jak je vidět z obrázku, i tak je u jednocestného provedení kolísání výsledného napětí dosti velké. Proto se častěji používají usměrňovače v můstkovém zapojení, které mimo vyhlazovacího kondenzátoru používají navíc filtrační člen. Ten bývá složen z prvků R,L,C.



Průběh  $U$  na výstupu:



### b) řízené usměrňovače

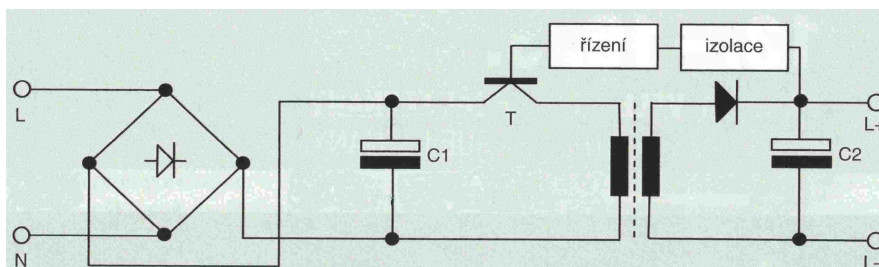
Umožňují řízení usměrněného výstupního proudu přímo v usměrňovací součástce. Řízenými součástkami jsou tyristory, jejichž činnost ovládáme pomocí řídicích obvodů prostřednictvím řídicí elektrody. O těchto usměrňovačích je pojednáno v článku o elektrickém proudu.

### Spínané zdroje stejnosměrného napětí

Používají se zejména tam, kde je potřeba dodržet vyšší úroveň bezpečnosti zařízení proti úrazům elektrickým napětím. Především jde o zdroje, které ze síťového napětí na vstupní straně vyrobí požadované napětí na výstupní straně. Zdroj je spínán na primární straně transformátoru, což umožňuje použití i stejnosměrného vstupního napětí a použití podstatně menšího a lehčího transformátoru s feritovým jádrem.



Blokové schéma zdroje spínaného na primární straně:



Ze schématu vyplývá, že místo vstupního usměrňovače může být použito přímo stejnosměrné napětí. Po jeho rozsekání elektronickým obvodem na pulzní napětí a následném převodu na požadovanou úroveň dojde k jeho usměrnění. Zdroj je odolný proti zkratu na výstupu a proti náhlému odpojení zátěže.

## Střídavé napětí

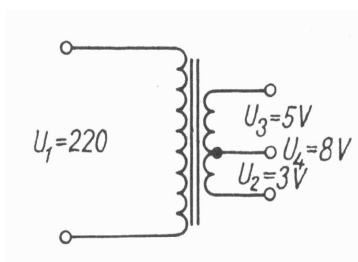
Vyrábí se pomocí generátorů (alternátorů), ve kterých dochází prostřednictvím elektromagnetické indukce k přeměně mechanické energie na elektrickou. Alternátory v elektrárnách vyrábí napětí 10 kV (resp. 15 kV), které se transformuje v transformačních stanicích nejprve na vyšší hodnoty pro dálkové přenosy ( 110 kV, 220 kV, 400 kV) a v blízkosti spotřeby na hodnoty 22 kV a 230/400V.

Změny střídavého napětí:

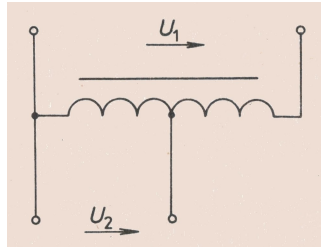
a) změna velikosti napětí

Změny se provádí především pomocí transformátorů, které pomocí elektromagnetické indukce převedou střídavé napětí o vyšší hodnotě na nižší nebo naopak, avšak kmitočet zůstává stejný (50 Hz). Změny mohou být skokové nebo spojitě.

Příklad transformátoru se skokovými změnami (podle počtu závitů cívek):



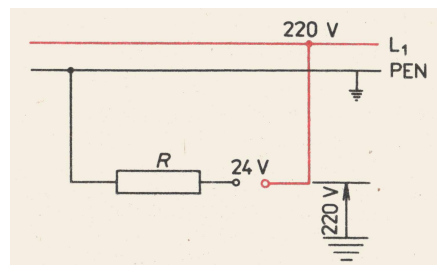
Transformátor pro spojitě změny napětí se nazývá autotransformátor:



Velikost napětí  $U_2$  se tvoří spojitým posouváním jezdce po závitech cívky. Použití autotransformátoru však nemusí být vždy bezpečné. V případě přerušení vinutí v části s napětím  $U_2$  by se nebezpečné vstupní napětí  $U_1$  dostalo na výstupní svorky.

U obou typů transformátorů můžeme transformovat na vyšší výstupní napětí záměnou výstupní cívky za vstupní.

Střídavé napětí lze snižovat také pomocí rezistorů, podobně jako u stejnosměrného napětí:



Tento způsob je však nebezpečný, neboť na jedné svorce zůstává proti zemi nebezpečné napětí.

b) změna střídavého napětí na stejnosměrné

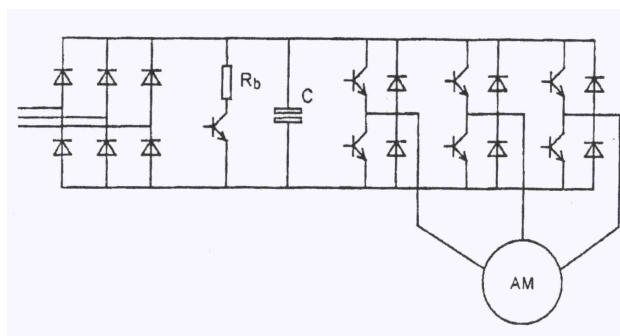
Tato změna se provádí pomocí usměrňovačů. Druhy usměrňovačů a způsoby usměrnění jsou popsány v kapitole o stejnosměrném (usměrněném) napětí.

c) změna kmitočtu napětí

Pomocí měničů kmitočtu se provádí změna střídavého napětí o určitém kmitočtu (nejčastěji

průmyslovém 50 Hz) na střídavé napětí jiného kmitočtu, přičemž počet vstupních a výstupních fází může být stejný nebo různý.

Změna se v měničích provádí buď přímo nebo nepřímo s určitým mezistupněm. Přímé měniče jsou méně časté, používají se pro spotřebiče velkých výkonů. Častější nepřímé měniče pracují na principu rezonančního, proudového nebo napětového měniče. Právě napětový měnič frekvence je nejpoužívanější z nich:



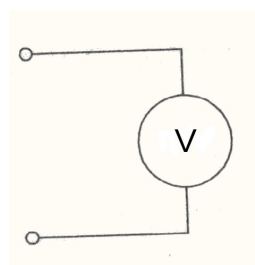
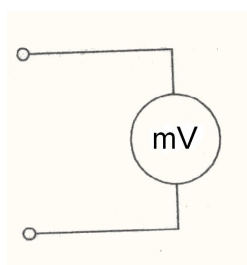
Zde se nejprve střídavá elektrická energie usměrní a pak prochází stejnosměrným elektronickým meziobvodem, který je typický velkým elektrolytickým kondenzátorem. Poslední částí obvodu je střídač, kterým vytvoříme střídavé napětí o kmitočtu 0 Hz až několik stovek hertzů.

Měniče kmitočtů se používají k regulaci otáček asynchronních motorů. Tento způsob regulace je nejvýhodnější, protože při ní nevznikají další ztráty a je velmi jednoduchý a pohodlný.

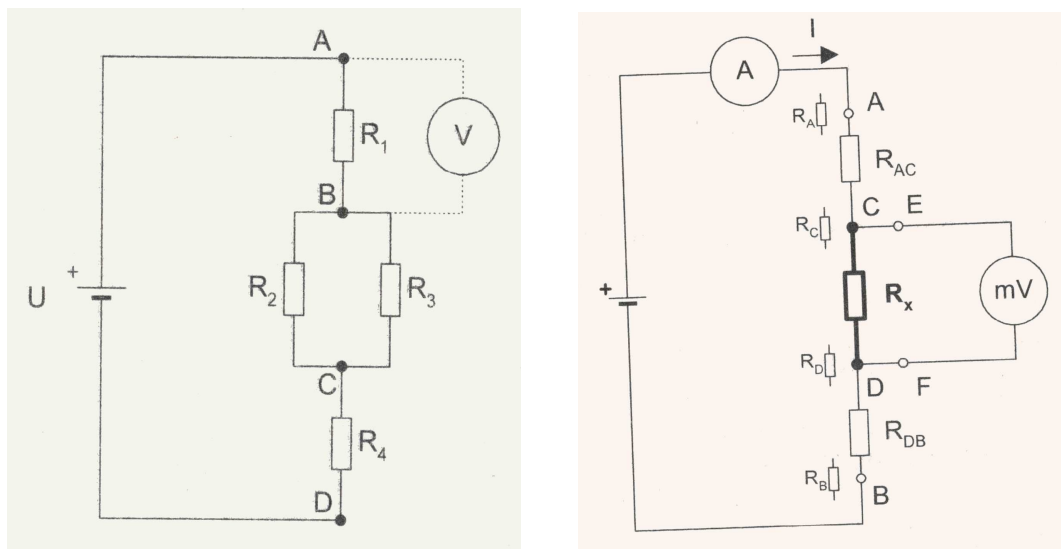
## Měření elektrického napětí

Elektrické napětí má jednotku volt [V]. Pro měření velmi malých napětí slouží galvanometry (asi do  $10^{-7}$  V). Pro vyšší napětí (cca do jednotek V) se používají milivoltmetry a voltmetry (cca do 1000 V).

Schématická značka milivoltmetru a voltmetru:



Voltmetry se připojují do obvodu paralelně:



Z tohoto důvodu musí mít voltmetry velký vnitřní odpor (malou spotřebu), aby nezatěžovaly měřený obvod.

a) ručkové (analogové) měřicí přístroje

Mohou být určeny jen pro měření napětí. Měřená jednotka je uvedena na číselníku se stupnicí a dalšími údaji:



Na tomto číselníku například najdeme zemi původu, logo výrobce (Metra), výrobní číslo, hodnotu vnitřního odporu, značku pracovní polohy přístroje (vodorovná), značku měřícího ústrojí (feromagnetické), třídu přesnosti (0,5) pro měření střídavého napětí a značku zkoušky elektrické pevnosti ( 2 kV).

Konkrétní příklad jednoúčelového přístroje (má dvě stupnice pro různé rozsahy měření napětí):

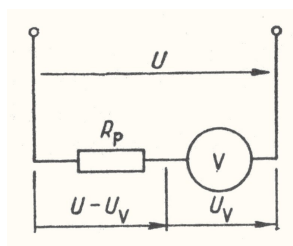


Tyto přístroje mívají často vyšší přesnost než tzv. multimetry, které jsou určeny i pro měření jiných veličin než je napětí. Obvykle bývá součástí multimetru také ampérmetr, ohmmetr, případně další měřiče:



Mimo stupnice je další důležitou částí multimetru přepínač, kterým se přepíná nejen měřená veličina, ale také měřicí rozsahy pro danou veličinu.

Pro každý rozsah měřeného napětí (pro dané rozpětí hodnot) se přepínačem rozsahů zařazuje do série k měřidlu rezistor (předřadník  $R_p$ ) určité hodnoty odporu:



S přihlédnutím ke vnitřnímu odporu voltmetru  $R_V$  pak určíme hodnotu odporu potřebného předřadníku:

$$\frac{R_p}{R_V} = \frac{U - U_V}{U_V}$$

Abychom zjistili hodnotu, kterou jsme naměřili ručkovým přístrojem, musíme si nejprve stanovit konstantu  $k$  pro dané měření. Konstanta je podíl hodnoty přepnutého rozsahu a celkové délky stupnice.

Jestliže výchylku ručky označíme  $\alpha$ , pak naměřená hodnota napětí je

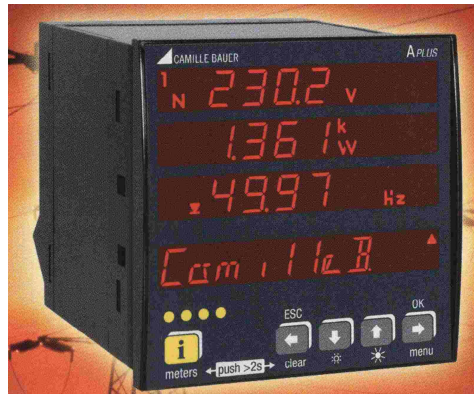
$$U = \alpha \cdot k \text{ [V]}$$

## b) číslicové (digitální) měřicí přístroje

Digitální voltmetry bývají součástí multimetrů. Mají velký vstupní odpor, který je zajištěn vstupními elektronickými obvody (obvykle FET tranzistory). Mívají i (poměrně k ceně) velkou přesnost. Jejich další výhodou je, že ukazují naměřenou hodnotu přímo bez přepočtu.

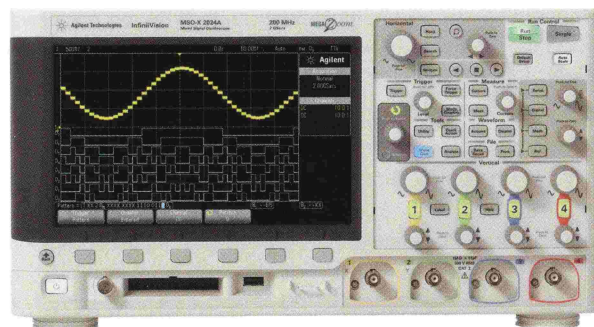


Profesionální a tedy i přesnější přístroje bývají robustnějších konstrukcí:



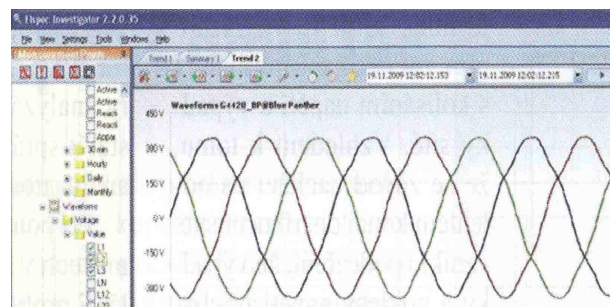
c) osciloscropy

Jsou to přístroje, které znázorní měřenou veličinu (napětí) dvojrozměrně na obrazovce.

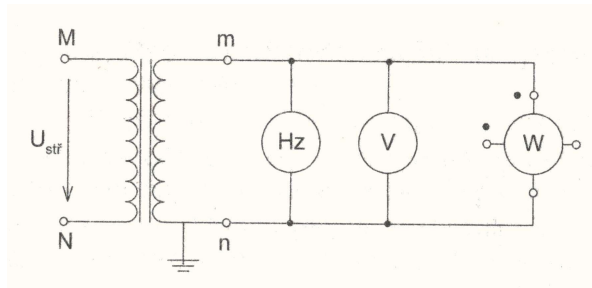


Osciloskopické obrazovky mohou být jak s elektrostatickým vychylováním elektronového paprsku (vakuové obrazovky), tak s LCD displejem.

Zobrazení průběhu napětí LCD displejem:



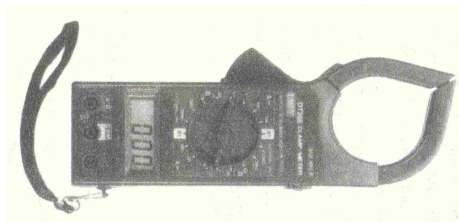
d) měřicí transformátory napětí



Měřicí transformátory napětí se používají pro měření střídavých vysokých napětí. Transformátor vysoké napětí snižuje na normalizovanou hodnotu (100 V). Na výstupní vinutí je pak připojen běžný voltmetr. Výstupní vinutí musí být vždy uzemněno, aby při poruše izolace vysokým napětím nebyla nebezpečně ohrožena obsluha.

e) další měřiče napětí

Klešťový měřicí přístroj:



Měří veličinu bezdotykově pomocí elektromagnetické indukce.

Měřič spotřeby energie:



Zapojuje se mezi zásuvku a spotřebič. Mimo napětí měří také proud, spotřebu energie a další.

Zpracoval: ing.Stoklasa František