

Václav Zemánek

# ELEKTRINA V KOSTCE

Praha 2013



---

Václav Zemánek

## **Elektřina v kostce**

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© Václav Zemánek, 2013

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Václav Zemánek: Elektřina v kostce

BEN – technická literatura, Praha 2013

1. vydání

**ISBN 978-80-7300-500-9 (tištěná kniha)**

**ISBN 978-80-7300-501-6 (elektronická kniha v PDF)**

Obsah :

Značení latinkou

<i>A</i>	přenos, zesílení, práce
<i>B</i>	magnetická indukce
<i>B<sub>C</sub></i>	kapacitní vodivost
<i>B<sub>L</sub></i>	induktivní vodivost
<i>C</i>	kapacita
<i>D</i>	elektrická indukce
<i>E</i>	energie, osvětlení
<i>E</i>	elektromotorické napětí
<i>E</i>	vnitřní elektrické napětí
<i>F</i>	síla
<i>F<sub>m</sub></i>	magnetoelektrické napětí
<i>G</i>	elektrická vodivost
<i>H</i>	intenzita magnetického pole
<i>I</i>	elektrický proud
<i>J</i>	hustota elektrického proudu
<i>K</i>	intenzita elektrického pole
<i>K</i>	intenzita proudového pole
<i>L</i>	vlastní indukčnost
<i>M</i>	vzájemná indukčnost
<i>M</i>	silový moment
<i>N</i>	počet závitů cívky
<i>P</i>	elektrický výkon
<i>Q</i>	elektrický náboj
<i>Q</i>	induktivní výkon
<i>Q</i>	kapacitní výkon
<i>Q</i>	činitel jakosti cívky
<i>Q<sub>g</sub></i>	teplo
<i>R</i>	elektrický odpor – rezistance
<i>S</i>	plošný obsah
<i>S</i>	zdánlivý výkon
<i>T</i>	doba kmitu
<i>U</i>	elektrické napětí
<i>U<sub>m</sub></i>	magnetické napětí
<i>V</i>	elektrický potenciál
<i>W</i>	energie elektrického pole
<i>W</i>	práce elektrického proudu
<i>W<sub>e</sub></i>	energie elektronu
<i>W<sub>k</sub></i>	kinetická – pohybová energie
<i>W<sub>m</sub></i>	energie magnetického pole
<i>X<sub>C</sub></i>	kapacitní odpor
<i>X<sub>L</sub></i>	induktivní odpor
<i>Y</i>	zdánlivá vodivost
<i>Z</i>	zdánlivý odpor – impedance

Síla

Elektrický náboj	7
Zdroj elektřiny	8
Elektrické napětí	8
Elektrický obvod	9
Elektrická energie	9
Kapacita	9
Elektrický proud	10
Elektrická vodivost a nevodivost	10
Vodič	11
Elektrický proudový obvod	11
Výkon a práce elektrického proudu	12
Ohmův zákon	12
Magnetický tok	13
Magnetické účinky elektrického proudu	13
Magnetomotorické napětí	14
Magnetická vodivost a nevodivost	14
Magnetická polarizace	14
Magnetický obvod	15
Magnetická hystereze	15
Vlastní a nevlastní vodivost	16
Polovodiče s přechodem P-N	17
Vedení elektrického proudu ve vakuu a plynech	18
Tepelné účinky elektrického proudu	18
Emise elektronů	19
Elektronková dioda	19
Charakteristika elektronkové diody	19
Termoelektrický článek	20
Termoelektrický chladicí článek	20
Světelné účinky elektrického proudu	20
Fotonka	21
Fotodioda	21
Fotoelektrický článek	22
Vedení elektrického proudu v kapalinách	22
Chemické účinky elektrického proudu	23
Galvanický článek	23
Akumulační článek	24
Akumulátor	24
<b>Dílo</b>	
Silové pole	25
Elektrické pole	25
Homogenní elektrické pole	26
Kapacita kondenzátoru	26
Energie elektrického pole	27
Spojení kondenzátorů	27
Proudové elektrické pole vodiče	28
Měrný odpor a měrná vodivost	28
Sériové spojení rezistorů	29
Paralelní spojení rezistorů	29
Magnetické pole	29
Magnetické a nemagnetické látky	30
Magnetické obvody	30
Cívka	31
Magnetické pole cívky	32
Elektromagnet	32
Čtyřpól	33
Tranzistor	34
Charakteristiky tranzistorů	35
Fototranzistor	36
Trioda	36
Vnitřní rezistance zdroje	37
Spojování zdrojů	37

Složené obvody . . . . .	38
Děliče napětí . . . . .	39
Můstek . . . . .	39
Můstkové zapojení . . . . .	39
Transfigurace . . . . .	40
Grafické řešení součtu rezistancí . . . . .	40
<b>Pohyb</b>	
Pohyb elektronu v elektrickém poli . . . . .	41
Pohyb elektronu v magnetickém poli . . . . .	41
Síla vodiče v magnetickém poli . . . . .	42
Princip elektromotoru . . . . .	42
Pohyb vodiče v magnetickém poli . . . . .	43
Princip alternátoru . . . . .	44
Střídavé napětí . . . . .	44
Efektivní hodnota . . . . .	45
Střední hodnota . . . . .	45
Střídavý obvod s rezistorem . . . . .	45
Střídavý obvod s cívkou . . . . .	46
Střídavý obvod s kondenzátorem . . . . .	46
Dynamo . . . . .	47
Usměrnění střídavého proudu . . . . .	47
Tyristor . . . . .	48
Triak . . . . .	49
Vlastní a vzájemná indukčnost . . . . .	50
Indukční vazba cívek . . . . .	50
Transformátor . . . . .	51
Třířázová soustava . . . . .	51
Třířázový generátor a transformátor . . . . .	52
Spojení vinutí transformátoru . . . . .	53
Třířázový usměrňovač . . . . .	53
Třířázový indukční elektromotor kroužkový . . . . .	54
Asynchronní motor nakrátko . . . . .	54
<b>Změna</b>	
Závislost rezistance na teplotě . . . . .	55
Závislost kapacity na oteplení . . . . .	55
Závislost indukčnosti na oteplení . . . . .	55
Připojení a odpojení rezistoru . . . . .	56
Relé . . . . .	56
Záznam průběhu proudu . . . . .	57
Elektronické čtení . . . . .	57
Připojení a odpojení cívky . . . . .	58
Nabíjení a vybíjení kondenzátoru . . . . .	59
Vybíjení kondenzátoru přes cívku . . . . .	60
Střídavý obvod s prvky R,L,C . . . . .	61
Rezonance . . . . .	62
Piezoelektrický jev . . . . .	62
Otočný kondenzátor . . . . .	62
Varikap . . . . .	63
Cívka s feritovým jádrem . . . . .	63
Potenciometr . . . . .	63
Složený obvod . . . . .	64
Mikrofon . . . . .	64
Sluchátko . . . . .	65
Reproduktor . . . . .	65
Zesilovač napětí . . . . .	65
Nastavení pracovního bodu tranzistoru . . . . .	66
Tepelná závislost tranzistoru . . . . .	66
Zesilovač proudu . . . . .	67
Zpětná vazba . . . . .	67
Oscilátor . . . . .	68
Povrchový jev (skinefekt) . . . . .	69
Frekvenční propusti . . . . .	69
Zenerova dioda . . . . .	69

### Pokračování:

<b>b</b>	útlum
<b>c</b>	rychlost světla
<b>d</b>	tloušťka
<b>d</b>	průměr
<b>e</b>	elektron
<b>e</b>	elektromotorické napětí
<b>e</b>	vnitřní elektrické napětí
<b>f</b>	kmitočet – frekvence
<b>f</b>	kmitoměr, funkce
<b>h</b>	hloubka vniku
<b>i</b>	okamžitý elektrický proud
<b>k</b>	zkreslení
<b>l</b>	délka – vzdálenost
<b>m</b>	hmotnost
<b>n</b>	otáčení – otáčky, počet
<b>p</b>	okamžitý elektrický výkon
<b>p</b>	převod transformátoru
<b>p</b>	počet pólových dvojic
<b>q</b>	elementární elektrický náboj
<b>r</b>	poloměr
<b>s</b>	krátká vzdálenost
<b>t</b>	čas – doba
<b>u</b>	okamžité elektrické napětí
<b>v</b>	rychlost
<b>w</b>	hustota energie
<b>x</b>	vodorovná souřadnice
<b>x</b>	vstupní proměnná veličina
<b>y</b>	svislá souřadnice
<b>y</b>	výstupní proměnná veličina
<b>z</b>	výstupní proměnná veličina
<b>A</b>	ampérmetr
<b>C</b>	kondenzátor
<b>G</b>	galvanometr
<b>H</b>	vysoká úroveň $U$
<b>K</b>	konstanta
<b>L</b>	nízká úroveň $U$
<b>L</b>	cívka, fáze
<b>N</b>	nulový vodič
<b>O</b>	osciloskop
<b>Q</b>	měřič činitele $Q$
<b>R</b>	rezistor
<b>V</b>	voltmetr
<b>W</b>	wattmetr
<b>A</b>	bod, svorka
<b>B</b>	bod, svorka
<b>C</b>	bod, svorka
<b>a</b>	svorka nižšího $U$
<b>b</b>	svorka nižšího $U$
<b>c</b>	svorka nižšího $U$
<b>n</b>	nulová svorka

## Jednotky fyzikálních a elektrických veličin

Veličina je pojem, kterého se používá k popisu jevů, stavů a těles. Veličina je měřitelná tehdy, lze-li ji kvalitativně a kvantitativně určit.

Je-li veličina povahy fyzikální, nazývá se proto fyzikální veličina. Měření nějaké veličiny je určení její velikosti – hodnoty ve zvolené jednotce.

V soustavě SI je čas  $t$ , délka  $l$ , hmotnost  $m$ , elektrický proud  $i$ , také termodynamická teplota  $\mathcal{G}$ , látkové množství  $n$  a svítivost  $I$ , veličinou **základní**.

Rovinný úhel  $\alpha$  a prostorový úhel  $\omega$  jsou veličiny **doplňkové**.

Veličiny **odvozené** jsou pak zejména plošný obsah  $S$ , objem  $V$ , síla  $F$ , práce  $W$ , energie  $E$ , vlnová délka  $\lambda$ , kmitočet  $f$ , i elektrický náboj  $Q$ , také elektrické napětí  $U$ , kapacita  $C$ , odpor  $R$ , a elektrická vodivost  $G$ , výkon  $P$  elektrického proudu, též práce  $W$  elektrického proudu, atd..

Jednotka veličiny  $X$  se označuje značkou této veličiny v lomených závorkách  $[X]$ . Jednotky se dělí na **hlavní, násobné a vedlejší**.

**Hlavní jednotky základních veličin** jsou:

délka  $[l] = 1 \text{ metr} = 1 \text{ m}$ ,  
hmotnost  $[m] = 1 \text{ kilogram} = 1 \text{ kg}$ ,  
čas  $[t] = 1 \text{ sekunda} = 1 \text{ s}$ ,  
elektrický proud  $[i] = 1 \text{ ampér} = 1 \text{ A}$ ,  
látkové množství  $[n] = 1 \text{ mol} = 1 \text{ mol}$ ,  
svítivost  $[I] = 1 \text{ kandela} = 1 \text{ cd}$ ,  
termodynamická teplota  
 $[\mathcal{G}] = 1 \text{ kelvin} = 1 \text{ K}$ .

**Násobné a dílčí jednotky veličin** jsou:

1 kilo = 1 k = 1000 =  $10^3$   
1 mega = 1 M = 1000 k =  $10^6$   
1 giga = 1 G = 1000 M =  $10^9$   
1 tera = 1 T = 1000 G =  $10^{12}$   
  
1 mili = 1 m = 1/1000 =  $10^{-3}$   
1 mikro = 1  $\mu$  = 1/1000 m =  $10^{-6}$   
1 nano = 1 n = 1/1000  $\mu$  =  $10^{-9}$   
1 piko = 1 p = 1/1000 n =  $10^{-12}$

Vedení vysokofrekvenční energie . . . . .	70
Vysokofrekvenční obvod . . . . .	70
Otevřený oscilační obvod . . . . .	71
Skládání kmitočtů . . . . .	72
Kombinovaný obvod . . . . .	72
Modulátor . . . . .	72
Fotorezistor . . . . .	73
Tranzistor řízený elektrickým polem . . . . .	73
Tranzistorový spínač . . . . .	73
Vysílač a přijímač . . . . .	74
<b>Míra</b>	
Měření elektřiny . . . . .	75
Měření proudu . . . . .	76
Měření napětí . . . . .	77
Měření rezistancí . . . . .	78
Měření kapacity a indukčnosti . . . . .	79
Chyby měření . . . . .	79
Normály . . . . .	80
Proměnné normály . . . . .	80
Kompenzační metoda nulová . . . . .	81
Měření výkonu . . . . .	82
Měření práce střídavého proudu . . . . .	83
Měření účinníku . . . . .	84
Měření kmitočtu . . . . .	85
Elektronické měření napětí . . . . .	86
Měření kmitočtu rezonanční metodou . . . . .	87
Měření rezonance . . . . .	88
Měřicí vedení . . . . .	88
Měření činitele jakosti . . . . .	89
Měření elektrického náboje . . . . .	90
Měření magnetického toku . . . . .	90
Zobrazení hodnot napětí . . . . .	91
Zobrazení fázového posunu . . . . .	92
Měření osciloskopem . . . . .	93
Snímání hysterezní smyčky . . . . .	93
Měření poruchy na vedení . . . . .	94
<b>Věda</b>	
Přenos informací . . . . .	95
Útlum signálu . . . . .	95
Přenos zpráv . . . . .	96
Přenos zvuku . . . . .	97
Radiový přenos . . . . .	98
Televizní přenos . . . . .	99
Černobílý přenos . . . . .	100
Barevný přenos . . . . .	101
Optický přenos . . . . .	102
Záznam informací . . . . .	103
Optický záznam . . . . .	104
Magnetický záznam . . . . .	105
Zesílení signálu . . . . .	105
Zesilovače . . . . .	106
Integrace obvodů . . . . .	107
Ovládání v obvodech . . . . .	108
Funkce v obvodech . . . . .	109
Logické funkce . . . . .	110
Paměťové prvky . . . . .	111
Maticový systém . . . . .	112
Logické systémy . . . . .	112
Spojovací systém . . . . .	113
Kódovací systém . . . . .	113
Zobrazovací systémy . . . . .	114
Řídicí systém . . . . .	114
Doslov . . . . .	115

## Úvod:

Odedávna si lidé kladou otázku:

„Z čeho se skládá všechno to, co nás obklopuje“, a pokoušeli se to zjistit. Postupně při tom dělili vše na menší a menší části i částičky, a též částice, zkoumali jejich vlastnosti, až z toho vznikla teorie o složení hmoty.

Hmota se rozlišuje podle stavu, v jakém se nachází na Zemi v přirozených podmínkách. Pevná hmota má pevné seskupení částí, čili pevné skupenství. V něm tělesa nemohou měnit svůj tvar bez působení určité velikosti síly. Dají se však tlakem drolit na malé částičky mající tvar okem neviditelných kuliček, z nichž se zcela nejmenší nazývají molekuly.

Jiné částičky hmoty mohou naopak běžně měnit svůj tvar nebo také odkapávat. Zde se jedná o kapalné skupenství látky. V něm se molekuly mohou už vlivem zcela malé síly po sobě převalovat. Objem kapalin však nelze tlakem měnit.

Jsou však látky, které mění svůj objem – plynou, aniž by se změnila jejich hmotnost. Molekuly plynného skupenství mají tedy mezi sebou natolik volnou vazbu, že se mohou od sebe vzdalovat, a působením zcela nepatrné síly zvětšovat nebo zmenšovat svůj objem. Stlačování a rozpínání plynů je vždy doprovázeno změnou objemu a teploty. Oteplením nebo zmrazením, nebo-li přivedením nebo odvedením tepla, se dá změnit objem a skupenství u všech látek.

Tělesa se dále projevují pevností, pružností, křehkostí, tvárností a jinými fyzikálními vlastnostmi, které určuje skladba jejich molekul a vazby mezi nimi. Látky, ze kterých jsou tělesa, kapaliny a plyny složeny, se vyznačují ještě také hořlavostí, netečností, výbušností, rozpustností, okysličováním a jinými chemickými vlastnostmi, protože molekuly se skládají z ještě menších částic, jímž se říká atomy. Atomy jsou pak v molekule mezi sebou vzájemně vázány rotujícími částicemi – elektrony, které obíhají nejen kolem jádra atomu, ale také mezi atomy a molekulami.

Kolem nás se v převážné většině vyskytují látky mající molekuly složené z různých atomů nazvané chemické sloučeniny. V přírodě lze najít i čisté látky, které mají molekuly složené ze stejného druhu atomů, tedy chemické prvky s odlišnými vazbami vlivem rozdílu v počtu elektronů.

Odlišné vazby jsou pak příčinou vzniku potenciálních rozdílů jak mezi atomy a molekulami, tak i mezi hmotnými tělesy, jsou-li tyto vytvořeny z odlišných látek.

Přenos a přeměny tepla, magnetismu nebo elektřiny a jevy s tím spojené, se vysvětlují pomocí pohybu a přesunu elektronů, které vytváří slupku atomů. Šíření a přeměny světla se zde zase opírají o energetické změny u elektronů, které způsobují jejich menší částice – fotony. Uvnitř jádra atomu je ukrytá energie zvaná atomová nebo také jaderná, která se uvolňuje při rozložení atomového jádra na další částice protony a neutrony.

A tak to v naší teorii o stavbě hmoty při zkoumání fyzikálních a chemických vlastností postupuje stále dále k menším a menším částicím a jejich variantám.

## Řecká abeceda

A α	alfa	N ν	ní
B β	beta	Ξ ξ	ksí
Γ γ	gama	Ο ο	omikron
Δ δ	delta	Π π	pí
E ε	epsilon	Ρ ρ	ró
Z ζ	dzéta	Σ σ	sigma
H η	éta	Τ τ	tau
Θ θ	théta	Υ υ	ypsilon
I ι	jota	Φ φ	fi
K κ	kappa	Χ χ	chí
Λ λ	lamda	Ψ ψ	psi
M μ	mí	Ω ω	omega

## Symbols

Δ	rozdíl
Λ	magnetická vodivost
Φ	magnetický tok, světelný tok
Ψ	elektrický indukční tok, spřažení magnetických toků
α	teplotní součinitel, úhel otočení, proudový zesilovací činitel
β	činitel přenosu, úhel vychýlení proudový zesilovací činitel
γ	měrná vodivost, konduktivita
δ	relativní chyba, úhel posunu
ε	permitivita prostředí
η	účinnost
θ	teplota
κ	koeficient vazby
λ	délka vlny
μ	permeabilita prostředí, zesilovací činitel
π	úhel 180°
ρ	rezistivita měrný odpor
Σ	součet, suma
τ	časová konstanta
φ	fázový posun
ψ	posun měření
ω	úhlová frekvence kmitočet

### Zobrazení veličin

Při popisu jevů, stavů a těles se veličiny označují písemnou značkou s indexem příslušnosti k symbolicky zobrazenému místu děje a i tělesa s případným udáním velikosti a směru působení veličiny šipkou.

Bod, přímka a rovina se nedefinují. Jejich vlastnosti se uvádějí v poučkách zvaných *axiómy*. Na základě axiómů lze potom odvodit vlastnosti dalších geometrických pojmů jako:

1. *Dvěma různými body prochází jediná přímka.*
2. *Na každé přímce leží alespoň dva různé body.*
3. *Daným bodem, který neleží na dané přímce, lze vést k této přímce jedinou rovnoběžku.*
4. *Třemi body, které neleží v téže přímce, prochází jediná rovina.*

Body se obvykle označují velkými latinskými písmeny A, B, C, . . . ; z nichž dva mohou být *totožné*  $A \equiv B$ , nebo *navzájem různé*  $C \neq D$ .

Přímky se označují malými písmeny latinky a, b, c, nebo dvojicí různých bodů, kterými daná přímka prochází  $a \equiv AB$ ,  $b \equiv MN$ .

Dané roviny se zpravidla označují malými řeckými písmeny  $\alpha$ ,  $\sigma$  . . . nebo trojicí bodů  $\alpha \equiv ABC$ ,  $\sigma \equiv KLM$ .

Přímky, procházející dvěma body z trojice bodů v rovině vymezují zde společnou část tří polorovin ABC, BCA, CAB, zvanou trojúhelník ABC, a také jeho plošný obsah S.

Body ABC trojúhelníka se nazvou *vrcholy*, úsečky  $AB \equiv c$ ,  $BC \equiv a$ ,  $AC \equiv b$  jsou tak k vrcholům *protější strany*.

Strany svírají mezi sebou *vnitřní úhly*  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , které jsou příslušné k protějším stranám a, b, c.

Dva trojúhelníky v rovině mající jedinou společnou stranu tvoří jeden čtyřúhelník.

### Doslov

Lidé používali elektrického proudu k pokovování předmětů již před více než dvěma tisíci lety. Ale k masivnímu využívání rozsáhlého poznání účinků elektřiny začalo docházet teprve až před sto lety. V dnešní době se už bez řady elektrických zařízení neobejdou žádná odvětví ani obory lidské činnosti.

V každém elektrickém zařízení jsou obsaženy ty základní elektrické a magnetické obvody v nejrozmanitějších variantách jejich propojení, navazující na sebe tak, aby vykonávaly námi požadované nejsložitější funkce. Značně pokročilá integrace elektrických obvodů umožňuje  $x$ -násobné kombinace různých funkcí a jejich variant, ať už elektronických prvků, jednotek, členů, bloků, nebo sestav.

Běžnou skutečností jsou v současné době digitální přenosy různých informací pozemními i satelitními sítěmi s promítáním i několika pohyblivých obrazů na displeji nebo obrazovce současně, s dokonalým rozlišováním, ovládáním i psaním též dotykem a pohybem v obrazovce, internet, laserové zaměřování, navigace, náročná zdravotnická a měřicí technika, počítačové programy s trojrozměrným zobrazováním a projektováním, radiolokace, supravodiče, urychlovače, kvantové zesilovače a řada dalších.

**Elektrina v kostce** shrnuje záměrně už historické poznatky z řady oblastí v oboru elektrotechniky, které jsou účelně uvedené na pokračování se zmíněním většiny závislostí mezi jednotlivými elektrickými veličinami, které mají základní vliv na vlastnosti a funkce elektrických obvodů.

Začíná ucelenými výtahy ze základů elektrotechniky, které pokračují popisem skládání elektrotechnických prvků, a vznikem střídavého proudu a jeho usměrňováním, a pokračují výkladem podstatných vlastností elektrických prvků v obvodech s měřením všech základních elektrických veličin s matematickými vztahy, fyzikálními zákony, definicemi a jednotkami v soustavě SI.

Popis elementárních projevů elektřiny a magnetismu zde s příkladným zobrazením podhaluje roušku současné technické dokonalosti a ukazuje návod, jak dospívat k pochopení principů elektrických zařízení a jejich složitých funkcí.

Podle dostupných materiálů zpracoval 21.11.2012

*Václav Zemánek*

Tato kniha je také k dispozici v menším formátu



240 stran A5 (na šířku)

obj. číslo: 121355

ISBN 978-80-7300-502-3 (tištěná kniha)

ISBN 978-80-7300-503-0 (elektronická kniha v PDF)

Adresa knihy na Internetu:

**<http://shop.ben.cz/121355>**