

Stanislav Paulovič – Bohumír Brachtýr – Vladimír Cviklovič

Základy elektrotechniky

Nitra 2025

Názov: Základy elektrotechniky

Autori: Ing. Stanislav Paulovič, PhD. (3,17 AH)

Ing. Bohumír Brachtýr, PhD. (3,08 AH)

doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD. (3,08 AH)

Recenzenti: prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD.

doc. Ing. Ján Krčula, CSc.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 27. 2. 2025
ako vysokoškolskú učebnicu pre študentov SPU v Nitre.

ISBN 978-80-552-2845-7

OBSAH

ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK	7
ÚVOD	15
1 ELEKTROSTATICKÉ POLE	17
1.1 Coulombov zákon, intenzita elektrostatického poľa	17
1.1.1 Coulombov zákon.....	17
1.1.2 Intenzita elektrostatického poľa	17
1.2 Elektrické napätie, elektrický potenciál	19
1.3 Energia elektrostatického poľa	22
1.4 Kondenzátor	23
1.4.1 Princíp kondenzátora	23
1.4.2 Spájanie kondenzátorov.....	26
1.4.3 Vlastnosti a označovanie kondenzátorov.....	28
2 ELEKTRICKÝ PRÚD	30
2.1 Základné pojmy.....	30
2.2 Ohmov zákon	34
2.3 Voltampérová charakteristika	35
2.4 Rezistor	36
2.5 Elektrické obvody.....	37
2.6 Riešenie elektrických obvodov	43
2.6.1 Základné pojmy, terminológia	43
2.6.2 Kirchhoffove zákony.....	44
2.6.3 Spájanie prvkov	46
2.6.4 Zapojovanie odporov	46
2.6.5 Zapájanie zdrojov	49
2.6.6 Riešenie elektrických obvodov s jedným zdrojom	51
2.6.7 Riešenie elektrických obvodov s viacerými zdrojmi	52
2.7 Výkon a práca jednosmerného prúdu	53
3 MAGNETICKÉ POLE	55
3.1 Úvod, základné pojmy	55
3.2 Rozdelenie magnetických materiálov	56

3.3 Zdroje magnetického poľa.....	58
3.3.1 Permanentný magnet	58
3.3.2 Prúdovodič	58
3.3.3 Cievka	59
3.4 Veličiny magnetického poľa	61
3.4.1 Magnetické napätie	61
3.4.2 Intenzita magnetického poľa	61
3.4.3 Magnetická indukcia, magnetický tok.....	62
3.5 Magnetizačné krivky	63
3.6 Magnetické obvody.....	66
3.7 Silové pôsobenie magnetického poľa	68
3.7.1 Pôsobenie homogénneho magnetického poľa na prúdovodič	68
3.7.2 Vzájomné pôsobenie dvoch rovnobežných prúdovodičov	69
3.8 Elektromagnetická indukcia	71
3.8.1 Faradayov indukčný zákon	71
3.8.2 Transformačná forma indukčného zákona	71
3.8.3 Pohybová forma indukčného zákona	72
3.8.4 Vlastná indukčnosť	73
3.8.5 Vzájomná indukčnosť	75
3.8.6 Vírivé prúdy	76
4 STRIEDAVÝ PRÚD	78
4.1 Kategorizácia striedavých veličín	78
4.2 Jednofázový prúd	80
4.3 Riešenie obvodov striedavého prúdu	86
4.3.1 Symbolicko-komplexná metóda.....	86
4.3.2 Základné matematické operácie s komplexnými číslami	89
4.3.3 Základné matematické operácie s fázormi	91
4.3.4 Základné stavebné prvky striedavých obvodov	92
4.3.5 Jednoduché obvody striedavého prúdu.....	95
4.3.6 Reálna cievka.....	98
4.3.7 Reálny kondenzátor	99
4.3.8 Rezonančné obvody	100
4.4 Výkon a práca striedavého prúdu.....	104
5 TROJFÁZOVÁ SÚSTAVA	108
5.1 Vznik trojfázovej sústavy napätí	108
5.2 Výkon trojfázovej sústavy prúdov	114
5.3 Meranie výkonu trojfázového prúdu	115

6 POLOVODIČOVÉ MATERIÁLY	119
6.1 Vlastné polovodiče.....	119
6.2 Nevlastné polovodiče.....	121
6.3 PN prechod	122
7 POLOVODIČOVÉ SÚČIASTKY	124
7.1 Polovodičové diódy.....	124
7.1.1 Usmerňovacia dióda.....	124
7.1.2 Zenerova dióda	126
7.1.3 Inverzná dióda.....	127
7.1.4 Tunelová dióda.....	128
7.1.5 Fotodióda	129
7.1.6 Elektroluminiscenčná dióda	130
7.2 Tranzistory	131
7.2.1 Bipolárny tranzistor.....	131
7.2.2 Unipolárny tranzistor	135
7.3 Viacvrstvé polovodičové spínacie súčiastky	141
7.3.1 Tyristor	141
7.3.2 Triak.....	144
7.3.3 Diak	145
8 ELEKTRICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZARIADENIA	147
8.1 Napájací zdroj	147
8.1.1 Transformátor	147
8.1.2 Usmerňovač	148
8.1.3 Filter	153
8.1.4 Stabilizátor	157
8.2 Zosilňovač.....	160
8.2.1 Základné pojmy a charakteristiky	160
8.2.2 Jednostupňový zosilňovač s bipolárnym tranzistorom v zapojení so spoločným emitorom	163
8.2.3 Viacstupňový zosilňovač	166
8.2.4 Operačný zosilňovač	168
8.2.5 Spätná väzba	169
9 LITERATÚRA.....	173

ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK

1. KZ	- prvý Kirchhoffov zákon (prúdový)
2. KZ	- druhý Kirchhoffov zákon (napäťový)
A	- anóda
A	- zosilňovač (funkčný blok)
AC	- striedavá veličina (<i>Alternate Current</i>)
B	- vývod tranzistora - báza
C	- vývod tranzistora - kolektor (<i>Collector</i>)
CGS	- medzinárodná sústava jednotiek (platná do r. 1960)
D	- vývod tranzistora (<i>Drain</i>)
DC	- jednosmerná veličina (<i>Direct Current</i>)
E	- vývod tranzistora - emitor
E12, E24	- rad menovitých hodnôt
F	- filter (funkčný blok)
FET	- typ tranzistora (<i>Field Effect Transistor</i>)
G	- vývod tranzistora - hradlo (<i>Gate</i>)
IGBT	- typ tranzistora (<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>)
IOZ	- ideálny operačný zosilňovač
IZN	- ideálny zdroj napätia
IZP	- ideálny zdroj prúdu
J	- južný pól cievky
JFET	- typ tranzistora (<i>Junction Field Effect Transistor</i>)
K	- katóda
LED	- elektroluminiscenčná dióda (<i>Light Emiting Diode</i>)
MIE	- kov - izolant - elektrolyt (<i>Metal Insulator Electrolyte</i>)
MIM	- kov - izolant - kov (<i>Metal Insulator Metal</i>)
MISFET	- typ tranzistora (<i>Metal Insulator Seminoconductor</i>)
MOSFET	- typ tranzistora (<i>Metal Oxid Seminoconductor</i>)
NPN	- typ tranzistora
NTC	- odpor so záporným teplotným koeficientom (<i>Negative Thermal Coeficient</i>)
OZ	- operačný zosilňovač
PE	- ochranný vodič
PEN	- kombinovaný ochranný a neutrálny vodič

PNP	- typ tranzistora	
PTC	- odpor s kladným teplotným koeficientom (<i>Positive Thermal Coefficient</i>)	
RGB	- základné farebné spektrum (<i>Red Green Blue</i>)	
RZN	- reálny zdroj napätia	
S	- severný pól cievky	
S	- vývod tranzistora (<i>Source</i>)	
S	- stabilizátor (funkčný blok)	
SB	- zapojenie tranzistora so spoločnou bázou	
SC	- zapojenie tranzistora so spoločným kolektorom	
SE	- zapojenie tranzistora so spoločným emitorom	
SI	- Medzinárodná sústava jednotiek (<i>Système International d'Unités</i>)	
SV	- spätná väzba	
TN-C-S	- typ rozvodnej elektrickej siete (<i>Terre Neutre Combiné Separé</i>)	
Tr	- transformátor (funkčný blok)	
U	- usmerňovač (funkčný blok)	
VACH	- voltampérová charakteristika	
ZD	- Zenerova dióda	
a	- polomer vonkajšieho valca (elektrody)	m
a	- reálna zložka (časť) komplexného čísla; $a = \operatorname{Re} \{ \bar{Z} \}$	
b	- imaginárna zložka (časť) komplexného čísla; $b = \operatorname{Im} \{ \bar{Z} \}$	
b	- polomer vnútorného valca (elektrody)	m
cos φ	- účinník	-
d	- vzájomná vzdialenosť elektród od seba	m
dr	- elementárna vzdialenosť	m
dt	- elementárny časový interval	s
dΦ	- elementárna zmena magnetického indukčného toku	Wb
f	- frekvencia	Hz
f _D	- dolná hraničná frekvencia	Hz
f _H	- horná hraničná frekvencia	Hz
f _r	- rezonančná frekvencia	Hz
i	- veľkosť elektrického prúdu v meniacom sa čase	A
i(t)	- okamžitá hodnota elektrického prúdu v danom okamihu	A
j	- imaginárna jednotka, $j = \sqrt{-1}$	

k	- konštanta	
k	- činiteľ väzby	-
l	- dĺžka vodiča	m
l	- dĺžka siločiar	m
p	- prevod transformátora	-
p(t)	- okamžitý výkon striedavého prúdu	W
r	- vzájomná vzdialenosť medzi elektrickými nábojmi	m
r	- polomer otáčajúceho sa závit	m
r _d	- dynamický odpor	Ω
s	- dráha telesa	m
t	- čas	s
tg φ	- stratový činiteľ kondenzátora	-
u(t)	- okamžitá hodnota elektrického napätia	V
u _i (t)	- okamžitá hodnota indukovaného napätia	V
u _{iz}	- indukované napätie v závit	V
v	- rýchlosť otáčania sa závit v magnetickom poli	m.s ⁻¹
w	- činiteľ zvlňenia	-
x(t)	- všeobecná harmonická veličina	
A	- elektrická práca	J
A _I	- prúdové zosilnenie zosilňovača	-
A _{IdB}	- prúdový zisk zosilňovača	dB
A _P	- výkonové zosilnenie zosilňovača	-
A _{PdB}	- výkonový zisk zosilňovača	dB
A _{SP}	- zosilnenie zosilňovača so spätnou väzbou	-
A _U	- napäťové zosilnenie zosilňovača	-
A _{UdB}	- napäťový zisk zosilňovača	dB
B	- magnetická indukcia	T
B ₀	- magnetická indukcia vo vákuu, konštanta = $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$	H.m ⁻¹
B _R	- remanentný (zvyškový) magnetizmus	H.m ⁻¹
C	- elektrická kapacita	F
C _s	- elektrická kapacita sériovo spojených kondenzátorov	F
C _p	- elektrická kapacita paralelne spojených kondenzátorov	F
C ₉	- kapacita kondenzátora pri vzťažnej teplote (zvyčajne 20 °C)	F

E	- intenzita elektrostatického poľa	$V.m^{-1}$
E_p	- elektrická prieražná pevnosť	$V.m^{-1}$
F	- sila	N
G	- elektrická vodivosť	S
G	- činiteľ vyhladenia	-
H	- intenzita magnetického poľa	$A.m^{-1}$
H_C	- koercitívna sila	$A.m^{-1}$
H_v	- intenzita magnetického toku vo vzduchovej medzere	$A.m^{-1}$
H_Σ	- intenzita magnetického poľa v železe (feromagnetiku)	$A.m^{-1}$
I	- elektrický prúd	A
I_B	- prúd tečúci bázou	A
I_C	- prúd tečúci kolektorom	A
I_Σ	- činná zložka striedavého prúdu	A
I_E	- prúd tečúci emitorom	A
I_{ef}	- efektívna hodnota harmonického prúdu	A
I_F	- elektrický prúd v priepustnom smere	A
I_{FAV}	- prípustný trvalý prúd diódou v priepustnom smere	A
I_{FMAX}	- maximálny prúd v priepustnom smere	A
I_H	- prídržný (vratný) prúd tyristora	A
I_j	- jalová zložka striedavého prúdu	A
I_k	- elektrický prúd nakrátko	A
I_m	- maximálna hodnota harmonického prúdu	A
I_S	- stredná hodnota elektrického prúdu	A
I_P	- pracovný prúd stabilizačnej diódy	A
I_{PEN}	- prúd tečúci kombinovaným ochranným vodičom	A
I_R	- elektrický prúd v závernom smere	A
I_{ZMIN}	- minimálny záverný prúd	A
I_{ZMAX}	- maximálny záverný prúd	A
K	- činiteľ stabilizácie	-
M	- vzájomná indukčnosť medzi cievkami	H
N	- počet závitov	-
L	- indukčnosť cievky	H
P	- činný výkon	W
P_1	- vstupný výkon transformátora	W
P_{1f}	- činný jednofázový výkon	W

P_2	- výstupný výkon transformátora	W
P_{3f}	- činný trojfázový výkon	W
P_Y	- výkon motora v zapojení do hviezdy	W
P_Δ	- výkon motora v zapojení do trojuholníka	W
R	- elektrický odpor (rezistencia)	Ω
R_m	- magnetický odpor	Ω
R_P	- elektrický odpor paralelne radených prvkov	Ω
R_S	- elektrický odpor sériovo radených prvkov	Ω
R_v	- vnútorný elektrický odpor	Ω
R_{VST}	- vstupný elektrický odpor	Ω
R_{VYST}	- výstupný elektrický odpor	Ω
Q	- elektrický náboj	C
Q	- elektrické teplo	J
Q	- jalový (reaktančný) výkon	VAr
Q_{1f}	- jednofázový jalový výkon	VAr
Q_{3f}	- trojfázový jalový výkon	VAr
S	- plocha elektród kondenzátora	m^2
S	- plocha prierezu jadra vodiča	m^2
S	- zdanlivý výkon	VA
S	- činiteľ filtrácie	-
S_{1f}	- jednofázový zdanlivý výkon	VA
S_{3f}	- trojfázový zdanlivý výkon	VA
T	- perióda	s
T_{KC}	- teplotný súčiniteľ kapacity	K^{-1}
U	- elektrické napätie	V
$\bar{U}$	- fázor elektrického napätia	V
U_0	- napätie naprázdno	V
U_B	- brumové napätie - šum	V
U_{B0}	- blokované napätie tyristora	V
U_{BE}	- napätie na prechode báza - emitor	V
U_{CC}	- napájacie napätie	V
U_d	- difúzne napätie	V
U_f	- fázové napätie	V
U_F	- napätie v priepustnom smere	V

U_m	- magnetické napätie	A
U_{max}	- maximálna hodnota napätia	V
U_S	- združené napätie	V
U_S	- stredná hodnota elektrického napätia	V
U_p	- prierné napätie	V
U_R	- elektrické napätie v závernom smere	V
U_{RM}	- maximálne napätie na dióde v závernom smere	V
$U_{RM_{MAX}}$	- maximálne napätie v závernom smere	V
U_V	- vnútorné napätie	V
U_Z	- Zenerovo napätie	V
W_P	- činná práca striedavého prúdu	J
W_Q	- tepelná práca	J
X	- reaktancia	Ω
X_C	- kapacitancia	Ω
X_L	- induktancia	Ω
Y	- admitancia	S
Z	- impedancia	Ω
$\bar{Z}$	- fázor impedancie	Ω
α	- lineárny teplotný súčiniteľ odporu daného materiálu	$\Omega.K^{-1}$
α	- uhol medzi prúdovodičom a indukčnými čiarami magnetického poľa	$^\circ$
β	- prúdové zosilnenie	-
β	- zosilnenie spätnej väzby - spätnoväzobný činiteľ	-
γ	- konduktivita (merná vodivosť) daného materiálu	$S.m^{-1}$
ε	- permitivita prostredia (absolútna)	$F.m^{-1}$
ε_0	- permitivita vákua, konštanta $\varepsilon_0 = 8,854 F m^{-1}$	$F.m^{-1}$
ε_r	- relatívna permitivita prostredia	-
μ	- permeabilita magnetického prostredia	$H.m^{-1}$
μ_0	- permeabilita vákua, konštanta $= 4 \pi 10^{-7} H.m^{-1}$	$H.m^{-1}$
μ_r	- relatívna permeabilita daného prostredia	-
ρ	- rezistivita daného materiálu - vodiča	$\Omega.m$
υ	- teplota	K
υ_1	- vzťahná teplota (zvyčajne 20 °C - uvádzané v tabuľkách)	K
υ_2	- aktuálna teplota	K

φ	- elektrický potenciál	V
φ	- fázový posun	rad (°)
$\varphi _{r=r_1}$	- elektrický potenciál v mieste r_1	V
ω	- uhlová rýchlosť otáčania	rad.s ⁻¹
ΔB	- veľkosť zmeny magnetickej indukcie	T
ΔC	- rozdiel kapacít pri konkrétnej teplote a vzťažnej teplote	F
ΔI	- veľkosť zmeny prúdu	A
ΔP_{VED}	- stratový výkon vedenia	W
ΔU	- rozdiel napätí	V
ΔU_Z	- rozptyl Zenerovho napätia	V
ΔW_{SI}	- šírka zakázaného pásma kremíka	eV
$\Delta \vartheta$	- rozdiel teplôt (konkrétna teplota - vzťažná teplota)	K
Φ	- magnetický indukčný tok	Wb
$ \bar{Z} $	- veľkosť komplexného čísla	
$\angle$	- verzor (komplexné číslo)	
$\text{Re}\{\bar{Z}\}$	- reálna zložka komplexného čísla	
$\text{Im}\{\bar{Z}\}$	- imaginárna zložka komplexného čísla	
$\star$	- zapojenie do hviezdy	
Δ	- zapojenie do trojuholníka	

ÚVOD

Za začiatok vývoja elektrotechniky možno považovať pozorovania gréckeho filozofa *Thalesa*, ktorý si približne 600 rokov pred n. l. všimol, že jantár sa trením s inými látkami dostáva do stavu, v ktorom priťahuje rôzne ľahké telieska. Tento jav dostal názov podľa **jantáru (grécky elektrón)** elektrický. Silové účinky boli vysvetlené existenciou hmotného priestoru v okolí jantáru - poľom. Neskôr bol vysvetlený aj pôvod poľa okolo jantáru. Trením jantáru sa na ňom hromadili elementárne častice, ktoré sa nazvali **elektróny** a pole po nich dostalo názov **elektrické pole**. Nahromadené elektróny na uvažovanom telese dostali pomenovanie elektrický náboj a dohodou mu bolo priradené záporné znamienko (-). **Elektrický náboj** sa podľa medzinárodnej sústavy jednotiek SI označuje symbolom **Q** a jeho hlavnou jednotkou je **1 coulomb C**. Elementárny elektrický náboj je náboj jedného elektrónu $e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Bez trenia jantár nevytvára žiadne silové účinky, čo elektrónová teória vysvetľuje prítomnosťou častíc, ktoré majú opačné silové účinky a teda aj polaritu (+). Elementárne častice s kladným nábojom sa nazývajú protóny. Protóny tvoria jadrá, ktoré sú pevne viazané v tzv. kryštálovej mriežke materiálu. Nahromadením elektrónov na nejakom telese na ňom vzniká záporný elektrický náboj a pri ich nedostatku vzniká elektrický náboj kladný.

Zákon zachovania elektrického náboja: **Elektrický náboj nemôže vzniknúť ani zaniknúť, môže sa iba premiestniť.**

Ako už bolo spomenuté, v okolí elektrického náboja je hmotný priestor – pole. Pokiaľ je pole vytvorené v okolí stojaceho nepohyblivého elektrického náboja, ide o pole **elektrostatické**. V okolí náboja však musí byť prostredie (materiál), v ktorom sa nenachádzajú voľné elektrické náboje.

Základy elektrotechniky

Stanislav Paulovič – Bohumír Brachtýr – Vladimír Cviklovič

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vydanie: šieste nezmenené

Náklad: 50 ks

Rok: 2025

AH – VH: 9,33 – 9,59

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

ISBN 978-80-552-2845-7