
Uvod

Udžbenik *Osnove elektrotehnike 1* pisan je po aktualnom programu i sadrži fizikalne osnove elektrotehnike. Ovaj priručnik treba shvatiti kao sastavni dio tog udžbenika i treba ga tako primjenjivati.

U predgovoru udžbenika *Osnove elektrotehnike 1* za 1. razred elektrotehničkih škola dani su osnovni principi i postavke prema kojima je napisan. Udžbenik je pisan tako da vrijedan učenik normalnog predznanja može samostalno svladati gradivo. Stoga predlažem da učenici pripremaju i izlažu pojedine teme. Prije daljnje obradbe ove građe preporučujem da pročitate spomenuti predgovor.

U vrijeme pisanja udžbenika nije bilo govora o pisanju dodatnog metodičkog uputstva. Zbog toga sam pri pisanju udžbenika vodio računa o metodičkom pristupu. Osnovni pojmovi i zakoni su uvođeni postupno, a cjeline su međusobno povezane tako da ne bi bilo promišljeno mijenjati redosljed gradiva. Uz svaku nastavnu jedinicu i cjelinu izrađeni su karakteristični primjeri za bolje razumijevanje i dano je mnoštvo pitanja i numeričkih zadataka za samostalni rad učenika. Zbog toga **uz ovaj udžbenik nije potrebna dodatna zbirka zadataka**.

Svaku nastavnu jedinicu treba prilagoditi mogućnostima učenika. Tako npr. učenici ne znaju što je vektor. Zbog toga ne treba računati polje više točkastih naboja već je dovoljno objasniti kako se polja, kao vektori, zbrajaju geometrijski. Na taj način možete objasniti kako se dobije polje linijskog naboja i naelektrizirane ravnine. U tom smislu su dana metodička uputstva i za ostale nastavne jedinice. Ako se tako pristupi onda se ovaj udžbenik može primijeniti i u trogodišnjem školovanju. U svakom slučaju treba naglasiti fizikalnu sliku problema, a teoretske izvode pokazati onim učenicima koji to mogu prihvatiti. U suprotnom je nakon fizikalnog objašnjenja dovoljno dati konačnu formulu.

Sate za pojedine aktivnosti prema sadržaju ovog udžbenika predložile su vrloiskusne profesorice Tatjana Guščić dipl. inž. i Mladenka Maltarić, dipl. inž. iz Tehničke škole Ruđera Boškovića u Zagrebu. Predloženi sati nisu obvezni jer će svaki nastavnik odrediti sate po svom nahođenju. Isto tako će svaki nastavnik razraditi izvedbeni plan nastave u skladu s cjelokupnim aktivnostima škole.

Konzultirao sam spomenute profesorice o vrednovanju i ocjenjivanju učenika pa im ovim putem na svemu iskreno zahvaljujem u želji da ćemo nastaviti započetu suradnju. Pozivam zainteresirane profesore da mi se obrate ako imaju određene primjedbe i prijedloge u vezi s udžbenikom.

Predlažem da nastavnici u izvedbi nastave koriste demonstracijske pokuse ako

za to postoje materijalne mogućnosti. Isto tako bilo bi dobro da se koriste nastavni filmovi za pojedine teme.

Svaki je nastavnik stvaralačka osobnost, a svaki razred iziskuje drugačiji pristup ovisno o svojem sastavu, predznanju i situaciji u kojoj se nalazi, pa ove upute treba shvatiti samo kao prijedlog mogućih načina rada. Nastavnik će sam odlučiti o načinu izvedbe pojedine nastavne jedinice, a objašnjenja i savjete iz priručnika iskoristit će kao podsjetnik i pomoć.

Nastavnik treba učenike uputiti u način učenja jer veliki broj učenika još nije naučio učiti s razumijevanjem. Stoga učenike treba stalno uključivati u rad i objašnjenja te ih ohrabrivati i nagrađivati. Nastavnik će ispuniti nastavnička i učenička očekivanja ako učenik bude aktivno sudjelovao u nastavnom procesu i osjećao da sve naučeno razumije i može primjenjivati u rješavanju odgovarajućih zadataka i eksperimenata.

Za detaljnije objašnjenje pojedinih tema preporučujem knjige za elektrotehničke fakultete: B. Kuzmanović, *Osnove elektrotehnike I*, Element, Zagreb, 2000. i *Osnove elektrotehnike II*, Element, Zagreb, 2002.

I.

Ciljevi i zadaci

Cilj predmeta Osnove elektrotehnike I je upoznavanje i usvajanje osnovnih zakona i pojava na kojima se temelji elektrotehnika. Usvojena znanja potrebna su učenicima u izučavanju predmeta struke, a isto tako stručna znanja mogu se već primijeniti u nekim praktičnim slučajevima i rješavanju numeričkih zadataka. U laboratoriju se samostalno dokazuju određene zakonitosti.

II.

Nastavne cjeline

Tjedni broj sati: 4.

Godišnji broj sati: 140.

R.b.	Nastavna cjelina	Broj sati	Od toga (tip sata)			
			A	B	C	D
1.	Osnovni pojmovi o elektricitetu	18	8	4	2	4
2.	Vodič u električnom polju. Električna struja	11	5	2	2	2
3.	Električni otpor	13	4	3	1	2
4.	Izvori električne energije. EMS	3	1	–	–	2
5.	Strujni krug istosmjerne struje	24	8	6	4	6
6.	Električni kapacitet	7	4	2	1	–
7.	Elektromagnetizam	16	8	3	1	2
8.	Elektromagnetska indukcija	18	8	3	3	2
9.	Sinusne struje i naponi	30	11	5	4	14
Ukupno:		140	57	28	18	34

Legenda:

A — Obrada nove građe;

B — ponavljanje;

C — ispitivanje – usmeno (pismeno);

D — laboratorijske vježbe.

III.

Nastavne jedinice

<i>Mjesec</i>	<i>R.b.</i>	<i>Nastavna jedinica – broj sati</i>	<i>Tip sata</i>
		1. Osnovni pojmovi o elektricitetu – 18 sati 1.0. Uvod 1.1. Električni naboj 1.2. Izolatori, vodiči i poluvodiči 1.3. Mjerne jedinice 1.4. Coulombov zakon 1.5. Električno polje 1.5.1. Definicija električnog polja 1.5.2. Električno polje točkastog naboja 1.5.3. Računanje električnog polja 1.5.4. Električno polje raspodijeljenog naboja 1.5.5. Električno polje duge naelektrizirane linije 1.5.6. Električno polje ravne ravnomjerno naelektrizirane plohe 1.6. Električni potencijal. Napon 1.6.1. Rad električnog polja 1.6.2. Električni potencijal točkastog naboja. Napon 1.6.3. Potencijalna energija i napon u homogenom električnom polju 2. Vodič u električnom polju. Električna struja – 11 sati 2.1. Naelektrizirani vodič 2.2. Elektrostatska influencija 2.3. Mjerenje elektrostatskog potencijala i napona 2.4. Električna struja 2.4.1. Strujni krug 2.4.2. Smjer i jakost struje 2.4.3. Gustoća struje 2.4.4. Učinci električne struje 2.4.5. Ampermetar i voltmetar i njihovo spajanje 3. Električni otpor – 13 sati 3.1. Ohmov zakon 3.1.1. Otpor žice 3.2. Nelinearni ili neomski otpor 3.3. Ovisnost otpora o temperaturi 3.4. Jouleov zakon	

<i>Mjesec</i>	<i>R.b.</i>	<i>Nastavna jedinica – broj sati</i>	<i>Tip sata</i>
		3.5. Otpornici 3.6. Djelovanje električne struje na čovjeka 4. Izvori električne energije. EMS – 3 sata 4.1. Kemijski izvor električne energije 5. Strujni krug istosmjerne struje – 24 sata 5.1. Elementi i shema strujnog kruga 5.2. Analiza jednostavnog strujnog kruga. Maksimalna snaga trošila 5.3. Kirchhoffovi zakoni 5.4. Spajanje otpora 5.4.1. Serijski spoj otpora 5.4.2. Paralelni spoj otpora 5.4.3. Mješoviti spoj otpora 5.5. Opterećeno naponsko djelilo 5.6. Spajanje izvora 5.6.1. Pretvorba realnog naponskog u ekvivalentni realni strujni izvor 5.6.2. Serijski spoj izvora 5.6.3. Paralelni spoj izvora 5.7. Proširenje mjernog područja voltmetra i ampermetra 6. Električni kapacitet – 7 sati 6.1. Dielektrik u električnom polju 6.2. Električni kapacitet. Kondenzator 6.3. Vrste kondenzatora 6.4. Spojevi kapaciteta 6.4.1. Serijski spoj kapaciteta 6.4.2. Paralelni spoj kapaciteta 6.4.3. Mješovito spajanje kapaciteta 7. Elektromagnetizam – 16 sati 7.1. Magnetsko polje i njegove manifestacije 7.2. Djelovanje magnetskog polja na električnu struju i naboj u gibanju. Magnetska indukcija 7.3. Magnetske sile na strujnu petlju 7.4. Magnetsko polje električne struje 7.4.1. Ravni vodič 7.4.2. Kružni zavoj 7.4.3. Ravni jednoslojni cilindrični svitak 7.4.4. Torusni svitak 7.5. Sila između dvaju paralelnih dugih ravnih strujnih vodiča. Definicija ampera (A) 7.6. Magnetski tok 7.7. Magnetsko polje u tvarima. Jakost magnetskog polja polja	

<i>Mjesec</i>	<i>R.b.</i>	<i>Nastavna jedinica – broj sati</i>	<i>Tip sata</i>
		7.8. Magnetski krug 7.9. Elektromagnet 8. Elektromagnetska indukcija – 18 sati 8.1. Inducirana EMS i napon u gibajućem metalnom štapu 8.2. Inducirana EMS u metalnoj konturi po kojoj se giba metalni štap kroz magnetsko polje. Lentzovo pravilo 8.3. Faradayev zakon 8.4. Faradayev disk 8.5. Generiranje izmjeničnog napona 8.6. Samoindukcija i induktivitet 8.7. Međuindukcija i međuinduktivitet 8.8. Vrtložne struje 8.9. Magnetska energija 9. Sinusne struje i naponi – 30 sati 9.1. Osnove trigonometrije 9.1.1. Kut i luk 9.1.2. Definicija trigonometrijskih funkcija 9.2. Generiranje sinusne EMS 9.3. Karakteristične vrijednosti sinusnih veličina 9.4. Otpor, induktivitet i kapacitet u krugu sinusne struje 9.4.1. Otpor R 9.4.2. Induktivitet 9.4.3. Kapacitet C 9.5. Serijski RLC spoj. Impedancija 9.6. Paralelni RLC spoj. Admitancija 9.7. Snaga u RLC spojevima kroz koje teče sinusna struja 9.8. Transformator	

IV.

Vježbe

Ciljevi i zadaci

- Shvatiti značenje eksperimentalne provjere;
- naučiti koristiti instrumente;
- shvatiti opasnost od elektrike.

Metodička razrada

U laboratoriju treba izmjeriti određene efekte i zakonitosti. Točnost mjerenja uči se u predmetu *Električna mjerenja*.

Sadržaj (prijedlog):

1. Uvodni sat
2. Elektrostatski naboj i napon
3. Električna enflucija
4. Instrumenti za mjerenje napona i struje (upoznati i primijeniti)
5. Snimanje $U-I$ karakteristike
6. Mjerenje otpora
7. Određivanje parametara realnog naponskog izvora
8. Provjera I. Kirchhoffovog zakona
9. Provjera II. Kirchhoffovog zakona
10. Magnetska sila i moment
11. Magnetsko polje električne struje
12. Elektromagnetska indukcija (gibanje i promjena toka)
13. Međuindukcija
14. Serijski RLC spoj
15. Paralelni RLC spoj
16. Mjerenje snage

U Tehničkoj školi Ruđera Boškovića izvode se sljedeće laboratorijske vježbe:

1. Uvod: način rada, izvori, opasnosti
2. Mjerenje napona – očitavanje na raznim skalama
3. Mjerenje struje
4. Ohmov zakon
5. Paralelni i serijski spojevi
6. Mješoviti spoj otpora
7. Unutranji otpor baterije

-
8. Elektromagneti
 9. Mjerenje izmjeničnog napona i struje
 10. Svitak u krugu izmjenične struje
 11. Kondenzator u krugu izmjenične struje
 12. RC i CR
 13. Serija RLC
 14. Paralela RLC
 15. Transformator
 16. Završna vježba

V.

Ciljevi, zadaci i metodička razrada nastavnih jedinica

1. Osnovni pojmovi o elektricitetu

1.0. Uvod

Ciljevi i zadaci

- Upoznati učenike s planom i programom predmeta Osnove elektrotehnike;
- ukazati na značenje električnog naboja u elektrotehnici pomoću kojega se objašnjavaju sve pojave;
- usvojiti osnovne pojmove o građi atoma i postojanju pozitivnog i negativnog električnog elementarnog naboja;
- ukazati na dimenzije i mase atoma, jezgre, protona i elektrona;
- ukazati na ogromnu energiju koja se javlja na mjestu gdje ima viška jedne vrste naboja.

Metodička razrada

U uvodnom satu treba istaknuti značenje elektrotehnike u svakodnevnom životu modernog čovjeka. Navedite gdje se sve elektrotehnika primjenjuje: rasvjeta, grijanje, vuča, razni upravljajući strojevi, telekomunikacije, radiokomunikacije, TV, informatika, automatika, upravljanje na daljinu, u medicini (dijagnoze, liječenje i razni zahvati, npr. pomoću lasera). Zatim treba istaknuti ulogu i značenje predmeta Osnove elektrotehnike u sagledavanju i razumijevanju navedenih primjena elektrotehnike. Nakon toga treba učenike upoznati s planom i programom predmeta.

Također je potrebno ukratko opisati povijet elektrotehnike i sam naziv te grane znanosti. Istaknite da je električni naboj temelj elektrotehnike. Naglasite da postoje pozitivni i negativni električni elementarni naboji. Tijelo je naelektrizirano ako postoji višak jedne vrste naboja, a to se postiže npr. mehaničkim putem. To ćete pokazati pomoću staklenog i ebonitnog štapa koji treba trljati. Napometite učenicima da se s tom pojavom često susrećemo u životu, npr. pri izlasku iz automobila sa sintetičkim sjedalima. Zatim navedite naelektriziranost oblaka koji se kreću veli-

kom brzinom pri čemu se stvara velika količina jedne vrste naboja, posljedica čega je razorna munja. Zaključite da razdvojeni naboj ima veliku energiju i silu što je osnovno svojstvo naelektriziranog naboja. Zbog toga je zadatak elektrotehnike da nađe načine za razdvajanje i gomilanje električnog naboja i njegovo usmjeravanje u korisne primjene u životu. To je razlog što ćemo se najprije baviti svojstvima električnog naboja, a postupno primjenama tih svojstava. Prvo treba uvesti jedinicu za mjerenje količine naboja kulon (C) i reći da je njegova dimenzija ampersekunda ($1\text{ C} = 1\text{ As}$). Na tim mjerama ne treba se zadržavati jer će se pojmovi kasnije shvatiti. Ako postoji mogućnost da se odgovarajućim pokusima s nabojem impresioniraju učenici, pokažite pražnjenje lajdenske boce ili samo naelektriziranog kondenzatora kao što je tinjalica u fotoaparatu itd.

1.1. Električni naboj

Ciljevi i zadaci

- Naučiti osnovna svojstva električnog naboja koji miruje;
- prihvatiti da naboj elektrona u atomu predstavlja mirni naboj za vanjskog promatrača iako kruži velikom brzinom oko jezgre;
- smatrati da je naboj točkast ako je smješten na maloj kuglici;
- shvatiti da naboj može biti raspoređen po liniji, površini i u prostoru s odgovarajućom gustoćom raspodjele.

Metodička razrada

Opišite učenicima načine naelektriziranja tijela tj. razdvajanja naboja pri čemu jedno tijelo postaje pozitivno, a drugo negativno naelektrizirano. Naglasite da ne znamo što je električni naboj ali znamo njegova svojstva koja treba navesti i objasniti. Napomenite da se naboj na tijelu malih dimenzija smatra točkastim, te da naboj može biti raspoređen po liniji i površini i u prostoru. Zatim izračunajte gustoće navedenih raspodjela, pri čemu treba naglasiti odgovarajuće jedinice. Pokažite i naučite učenike kako se prelazi iz milimetara u centimetre i metre i obratno.

1.2. Vodiči, izolatori i poluvodiči

Ciljevi i zadaci

- Shvatiti pojam slobodnog naboja;
- shvatiti efekt polarizacije atoma;
- razumjeti razliku između vodiča i dielektrika.

Metodička razrada

Naglasite da slobodni naboj nastaje napuštanjem jednog elektrona iz valentne ljuske. To je moguće kod onih elemenata kojima je potrebna mala energija da bi elektron napustio valentnu ljusku. Takvi materijali su svi metali i oni predstavljaju vodiče. Kod dielektrika ta je izlazna energija puno veća, te se pod utjecajem

vanjske električne sile naboja razmaknu pa se takav atom ponaša kao dva točkasta razmaknuta naboja. Treba istaknuti da poluvodiči spadaju u dielektrike, a specijalni dielektrici su izolatori koji ne provode električnu struju jer imaju mali broj slobodnih elektrona.

1.3. Mjerne jedinice

Ciljevi i zadaci

- Shvatiti da postoje osnovne i izvedene jedinice;
- naučiti koje su osnovne jedinice;
- shvatiti kako se puno veće i puno manje jedinice mogu kraće izraziti;
- naučiti sve navedene prefikse.

Metodička razrada

Treba spomenuti da se u elektrotehnici koristi tzv. MKSA sustav osnovnih jedinica koji je dio međunarodnog sustava jedinica (SI). Četvrta jedinica je amper koja će kasnije biti definirana. Izvedene jedinice definirati ćemo kad budemo došli do odgovarajuće spoznaje. Svakako treba reći da je kulon izvedena jedinica. Za numeričke primjere treba izraditi zadatke s gustoćom naboja.

1.4. Coulombov zakon

Ciljevi i zadaci

- Shvatiti da između dvaju naboja djeluju sile koje su jednake i suprotne;
- smjer sile ovisi o predznaku naboja;
- sila je proporcionalna produktu naboja, a obrnuto proporcionalna kvadratu razmaka;
- sila je vektorska veličina.

Metodička razrada

Zakovitost sile između dvaju naboja može se provjeriti samo uz vrlo precizne instrumente i naprave. Naglasite da je ta zakovitost sile puno puta provjerena. Istaknite da konstanta k kao i konstante ϵ_0 i ϵ_r proizlaze iz racionalizacije mjernog sustava jedinica. Naglasite sličnost i razliku Coulombove sile s gravitacijskom silom. Za mjerenje naboja koristi se elektrometar, danas vrlo precizni instrument.

1.5. Električno polje

Ciljevi i zadaci

- Razumjeti definiciju električnog polja;
- shvatiti da je električno polje vektorska veličina;
- zapamtiti da jakost električnog polja točkastog naboja opada s kvadratom udaljenosti od izvora;

-
- prikaz električnog polja pomoću silnica koje izviru iz pozitivnog naboja a poniru u negativni naboj i imaju radijalnu raspodjelu u prostoru;
 - električno polje više točkastih naboja dobije se vektorskim zbrajanjem pojedinačnih polja;
 - električno polje ravnomjerno naelektrizirane ploče je homogeno kao i između dviju naelektriziranih ravnina.

Metodička razrada

Nakon definicije električnog polja treba pokazati da je jakost polja točkastog naboja na površini zamišljene kugle polumjera r konstantna, a razlikuje se samo po smjeru. Ukažite na opadanje s kvadratom udaljenosti i ilustrirajte tu zavisnost s nekoliko numeričkih primjera da bi učenici bolje razumjeli. Objasnite kako se električno polje zorno predstavlja pomoću silnica i kako se (bez računanja) određuje polje dvaju i više točkastih naboja pomoću principa superpozicije i vektorskog zbrajanja. Prikažite silnice dvaju točkastih naboja (sl. 1.10), a zatim silnice linijskih naboja (sl. 1.12) kao zbroj niza točkastih naboja. Kod prikaza silnica dvaju linijskih naboja treba naglasiti da one predstavljaju električni vod. Taj prikaz je nužan da bi se kasnije shvatilo da vod ima kapacitet, koji oni za sada ne mogu računati, ali će ga moći mjeriti. Pomoću principa superpozicije polja objasnite homogeno polje naelektrizirane ravne ploče, a zatim polje između dviju ravnih ploča. Na osnovi tih spoznaja objasnit ćete u idućoj točki da je u prostoru gdje vlada polje smještena električna energija. Bilo bi dobro da svi učenici shvate osnovne pojmove o električnom polju. Poznavanje osnovnih svojstava o električnom polju potrebno je za objašnjenje potencijala, napona, energije, električnog polja, struje i kapaciteta. Za učenike koji žele više znati može se pokazati i na računalu ilustrirati kako se računa polje više točkastih naboja kao i polje raspodijeljenog naboja. Isto tako može se računati polje između više naelektriziranih ravnina.

1.6. Električni potencijal. Napon

Ciljevi i zadaci

- Usvojiti spoznaju da i električna sila može izvršiti rad;
- shvatiti da se rad električne sile odvija na račun smanjenja električne energije sustava;
- shvatiti da je električna energija smještena u električnom polju, gdje ima polja ima i energije;
- shvatiti da se električno polje može opisati veličinom koja se zove električni potencijal;
- shvatiti da se razlika električnog potencijala zove električni napon;
- shvatiti što su ekvipotencijalne linije (plohe).

Metodička razrada

Prvo objasnite da električna sila kao svaka druga sila može izvršiti rad, te je usporedite s gravitacijskom silom. Kao kod dizanja tereta savladava se gravitacijska sila a utrošeni rad prelazi u potencijalnu energiju podignutog tereta. Isto tako ako neka vanjska sila svladava električnu silu, tada utrošeni rad vanjske sile prelazi u električnu potencijalnu energiju sustava, npr. dvaju naboja. Zbog toga sustav dvaju naboja posjeduje potencijalnu energiju i ima sposobnost vršenja rada putem električne sile, a na račun smanjenja potencijalne energije. Sada se može objasniti potencijal i napon, kao i ekvipotencijalne plohe koje se susreću pri objašnjenju vodiča u elektrostatskom polju. Posebno obradite potencijalnu energiju i napon u homogenom električnom polju jer se tako može objasniti da je potencijalna energija smještena u električnom polju, tj. u prostoru gdje vlada to polje. Objasnite izraz za energiju sustava dvaju naelektriziranih ploča. Tu ne treba govoriti da je to kondenzator sve dok se ne definira što je kondenzator. Izradite više jednostavnih primjera i provjerite jesu li to učenici shvatili.

2. Vodič u električnom polju. Električna struja

2.1. Naelektrizirani vodič

Ciljevi i zadaci

- Shvatiti da se višak naboja raspoređuje po površini vodiča, a u vodiču nema polja;
- spoznati da su silnice električnog polja okomite na površinu vodiča, a cijeli vodič je na konstantnom potencijalu;
- znati da je gustoća naboja najveća na šiljcima pa je na tim mjestima najjače polje.

Metodička razrada

Treba naglasiti da se vodič lako naelektrizira dodiranjem s naelektriziranim tijelom. Zbog Coulombove sile i slobodnih elektrona naelektrizirani naboj se raspodijeli po površini vodljivog tijela. Pomoću naelektrizirane metalne kugle može se pokazati da je električno polje na površini kugle proporcionalno gustoći naboja. Spajanjem dvaju metalnih kugli različitih polumjera pomoću tanke žice može se pokazati da su gustoće naboja na kuglama različite. To se može provjeriti pokusom.