Предговор

Више пута сам од различитих људи који се, на свом нивоу компетенције, озбиљно баве електротехником и/или електроником чуо да *извори струје* не постоје, да их не треба предавати студентима и сл. Некако сам увијек скептичан и „палим се“ кад исту или сличну причу чујем из различитих, неповезаних извора. Одмах помислим на популарне теорије завјере и тајни свјетски центар који се завјерио против сиротих *извора струје* и осјетим жељу да се супротставим.

Са првом практичном примјеном *извора струје*, које сам био свјестан, срео сам се радећи у Енергоинвесту, отприлике 1988. год. Био је то *линеарни извор* са ***PNP*** *транзистором*. Напајао је „*флајбек трансформатор*“ којим су *окидани серијски повезани снажни тиристори* (касније је замијењен једноставнијим *изворoм струје* – серијском отпорношћу). То рјешење (смислио га је мој пријатељ Младен Иванковић) имало је неколико пута боље карактеристике од „*руских*“ захтијеваних, које ни они сами нису знали задовољити (радили смо тада на чоперу за тролејбус, са више фирми из бившег СССР). Наравно да сам био фасциниран једноставношћу и функционисањем рјешења („*Руси*“ су предлагали да се патентира). Сљедећи пут сам, опет од колеге Иванковића, видио напајање електронског склопа са ***AC*** мреже, са прилагођавањем напона помоћу *кондензатора*. И оно ме одушевило, мада тада нисам имао појма да се ради о *извору струје*. Када сам на исто рјешење наишао у рату, у пуњачу, опет „*руске*“, ручне свјетиљке са аку-бат, обрадовао сам му се као старом пријатељу. Касније сам, у великом броју уређаја напајаних са ***AC*** мреже користио тај тип *извора струје* и не размишљајући, као ни многи, шта он, у ствари, представља. Правио сам различите *пуњаче* са *линеарним изворима струје* (од **10 mA** до **4 A**), склоп за претварање ***AC*** сигнала у струју ради преноса на даљину, а гдје су тек *претварачи енергетске електронике* у режиму ограничења струје и *пуњачи*, који у основном режиму раде као *извора струје*. Морам признати да својевремено чак ни о *пуњачима* нисам размишљао као о *изворима струје*.

Послије тог лијепог периода, професионална каријера ме одвела на странпутицу, нисам више правио уређаје него сам се као бавио науком, пројектима, писао радове и сл. Стицајем необичних околности (као и код свега другог битног у мом животу) и у магистарском раду и у докторској дистертацији сам описао *струјно управљање* које претвара *инвертор* (може и било који други *претварач*) у *напоном управљан извор струје* са изузетним карактеристикама. Почео сам помало да повезујем ствари и уочавам многобројне примјере коришћења *извора струје* у практично свим областима електротехнике//електронике. Ако по узору на Мешу „*Узимам за свједока Нортонову теорему и оно што у њој пише, да се сваки извор напона може замијенити изворoм струје*“ и примјењујући правило из једног од *Марфијевих закона*, отприлике, „*Ако имате само чекић, све вам личи на експер*“, можете у свему да видите *изворе струје*. Готово да сам, што и није далеко од истине, почео да тврдим да, у ствари, *извори напона не постоје*, да су *сви извори добри или* (*јако*) *лоши извори струје*. Поготово откако су се масовно почели користити ***PV*** *извори*, прави природни *извори струје* према старом моделу са *паралелном унутрашњом отпорношћу*, и све већи број потрошача (***LED***, *мотори*, *аку-бат*) који личе на *изворе напона*, односно веома су погодни за напајање *изворима струје*.

У сваком случају, ова књига представља скроман покушај аутора да исправи вишедеценијску неправду и политику двоструких стандарда и дискриминације која се (смишљено) води према *изворима струје* и да покаже да *извори струје* не само постоје, већ да су у одличној форми и да полако, али сигурно, преузимају примат од размажених и извиканих *извора напона*, те да будућност припада њима и ***DC*** системима напајања.

Захваљујем се свима који су ми својим чињењем или нечињењем помогли да ова књига постане боља.

За читаоце који су очекивали више и боље парафразираћу Кањоша Мацедоновића: „*Виши и бољи написаше више и боље …*“.

Завршавам (непотребни) предговор слоганом: „**И ИЗВОРИ СТРУЈЕ СУ ВАЖНИ**!“

Источно Сарајево, децембар 2020. год. Аутор

Садржај

Увод 1

1. Извори електричне енергије 7

1.1 Извори напона 8
1.1.1 Идеални извори напона 8
1.1.2 Реални извори напона 10
1.1.2.1 Модел реалног извора напона 10

1.2 Извори струје 19
1.2.1 Идеални извори струје 19
1.2.2 Реални извори струје 22
1.2.2.1 Модели реалног извора струје 22

1.3 Дуалност и еквивалентност реалних извора напона и струје 43
1.3.1 Извор струје као извор напона 44
1.3.2 Извор напона као извор струје 46

1.4 Повезивање реалних извора струје 54
1.4.1 Паралелно повезивање реалних извора струје 54
1.4.2 Серијско повезивање реалних извора струје 55

2. Пасивни реални извори струје 58

2.1 Пасивне компоненте као привремени реални извори струје 58
2.1.1 Пригушница *DC-XC* претварача као извор струје 58
2.1.2 Струјни трансформатор као извор струје 59

2.2 Серијска веза извора напона и константне импедансе 61
2.2.1 Напајање импулсних оптерећења 61
2.2.1.1 Хибридно *DC* напајање импулсног оптерећења 61
2.2.1.2 Напајање импулсног оптерећења са *AC* извора 63
2.2.2 Извори струје и функционисање склопова са ОП 65
2.2.3 Специфична напајања са *AC* мреже 66
2.2.3.1 Пасивно поправљање фактора снаге 67
2.2.3.2 Реални *AC-DC* извори импулсне струје 69

3. Активни реални извори регулисане струје – регулатори струје 92

3.1 Модел регулатора струје 92

4. Линеарни регулатори струје 98

4.1 Транзисторски линеарни регулатори струје 98
4.1.1 Регулатори струје са референтним напоном 98
4.1.2 Регулатори-ограничавачи струје 110
4.1.2.1 Примјена регулатора-ограничавача струје 111
4.1.3 Струјна огледала 119
4.1.3.1 Вајетов (*Wyatt*) извор струје//огледало 119

4.1.3.2 Видларово струјно огледало са емитерским отпорницима .. 121
4.1.3.3 Напајање паралелних *LED* стрингова помоћу струјног огледала ……. 123
4.1.3.4 Мјерење струје *LED* стринга помоћу струјног огледала ….. 125

4.2 Регулатори струје на бази операционих појачавача ……. 126
4.2.1 1*Q* регулатори струје …… 127
4.2.1.1 Електронска оптерећења …….. 129
4.2.1.2 Дијељење струје паралелних *LED* стрингова струјним огледалом са ОП ……... 131
4.2.1.3 Регулатор веома мале струје …… 132
4.2.1.4 Регулатори струје [4-20] mA …… 133
4.2.1.5 Мјерење струје регулатором струје на бази ОП …… 135
4.2.2 2*Q* регулатори струје …… 138
4.2.2.1 Холендова струјна пумпа ……. 139
4.2.2.2 Побољшана Холендова струјна пумпа ……... 143

4.3 Линеарни регулатори напона као регулатори струје ……... 149

4.4 Хибридни *AC LED* драјвери ……... 151

4.5 Интегрисани регулатори константне струје – *CCR* …….. 153
4.5.1 Напајање *LED* стринга помоћу *CCR* …… 156
4.5.1.1 *LED* драјвер са *CCR* и 1*f AC-DC CS* …… 159
4.5.1.2 *LED* драјвер са *CCR* и промјењивом структуром ……..... 160
4.5.1.3 Пуњач аку-батерија са *CCR* ……. 166

5. Прекидачки извори//регулатори струје …….. 168

5.1 Моделовање претварача са *DC* улазом …… 168
5.1.1 ШИМ модел основних типова претварача …….. 169
5.1.2 ШИМ модел DC-XC претварача …….. 171
5.1.3 ШИМ модел претварача са двије пригушнице и спрежним кондензатором ……...……. 174
5.1.4 Опште особине претварача представљених ШИМ моделом …… 175

5.2 Индиректни претварачи ……. 176
5.2.1 Подизач ……... 177
5.2.2 Инвертујући и неинвертујући спуштач-подизач …… 178
5.2.3 Индиректни претварачи са двије пригушнице и спрежним кондензатором …… 180
5.2.4 Типови и примјене индиректних претварача ……. 184
5.2.4.1 Индиректни претварачи као извори струје за напајање *LED* 184
5.2.4.2 Суперподизач …… 188
5.2.4.3 Изоловани спуштач-подизач (флајбек) ……... 190
5.2.5 *SIMO* претварачи ……... 192
5.2.5.1 *SIMO* подизач …… 193
5.2.5.2 *SIMO* спуштач ……...…… 197
5.2.5.3 *SIMO* спуштач-подизач ……...……. 202
5.2.5.4 Универзални *SIMO* претварач ….……...……. 212
5.2.5.5 Флај-бак претварач ……...…… 216

5.3 Директни претварачи 218
5.3.1 Директни претварачи напајани извором напона (*VF*) 218
5.3.1.1 Спуштач 207
5.3.1.2 Изоловани форверд претварач 221
5.3.1.3 Директни 4*Q* претварач без галванске изолације 223
5.3.1.4 Директни 4*Q* претварач са галванском изолацијом 225
5.3.2 Директни претварачи напајани извором струје (*CSF*) 225
5.3.2.1 *CSF* пуш-пул претварач напајан *PV* извором 226
5.3.2.2 *CSF* полумосни претварачи у системима напајања са горивим ћелијама 227
5.3.2.3 *CSF* директни мосни претварачи са *DC* излазом 228

5.4 Претварачи са струјним управљањем као извори струје 230
5.4.1 Хистерезно струјно управљање (*HCMC*) 230
5.4.2 Струјно управљање средњом вриједношћу струје (*ACMC*) 232
5.4.3 Струјно управљање минимумом струје (*VCMC*) 233
5.4.4 Струјно управљање максимумом струје (*PCMC*) 234
5.4.5 *DCMC* (*Dual-Current Mode Control*) 237
5.4.5.1 Анализа стабилности *DCMC* 239
5.4.6 Елиминисање системске грешке средње вриједности струје 243
5.4.6.1 *ADCMC* (*Adaptive Dual Current-Mode Control*) 244
5.4.6.2 I^2 метода 246
5.4.7 Претварачи са активним ограничењем струје 248
5.4.8 Претварачи за поправљање квалитета електричне енергије 249
5.4.8.1 Активни *PFC* као *AC* извор струје 249
5.4.8.2 Паралелни активни филтер 257

5.5 *CSF* струјни инвертори 259
5.5.1 *CSF* струјни инвертори са стандардним излазом 259
5.5.1.1 Директни *CSF* транзисторски инвертори 259
5.5.1.2 Директни *CSF* тиристорски инвертори 260
5.5.1.3 Директни *CSF* инвертори за индукционо гријање//топљење//… 264
5.5.1.4 Индиректни 3*f CSF* струјни инвертор 265
5.5.1.5 *Dyna-C* бидирекциони *SST* 267
5.5.2 Струјни инвертори са излазом са више нивоа 270
5.5.2.1 Таласни облик излазне струје *MLCSI* и елиминисање виших фармоника 271
5.5.2.2 Директни *CF-MLCSI* 272
5.5.2.3 Индиректни *CF-MLCSI* 290
5.5.2.4 Примјена *CF-MLCSI* 292

5.7 Извори струје за напајање *CSF* претварача 295
5.7.1 Специфични спуштач као *CS* претварач 296
5.7.2 Спуштач са вишефазним управљањем као извор струје 296

6. *PV* реални извори//генератори струје 301

6.1 *PV* извори 301
6.1.1 Типови *PV* извора 301
6.1.2 Једнодиодни модел *PV* ћелије//извора 302
6.1.3 Симулатори *PV* извора 306

6.2 *PV* системи напајања 308
6.2.1 *PV* системи спојени на *AC* мрежу 309
6.2.2 *PV* инвертори 310
6.2.2.1 Захтјеви на *PV* инверторе 310
6.2.2.2 Класификација инверторских топологија 312
6.2.2.3 Управљање инвертором у *PV* систему напајања 320
6.2.3 *PV* системи напајања са изворима на крову 323
6.2.3.1 Стринг инвертор 324
6.2.3.2 *AC* модул 325
6.2.3.3 *DC* модул 327

6.3 Дефинисање и мјерење ефикасности претварача у *PV* системима 329
6.3.1 Ефикасност *MPPT* алгоритма 329
6.3.1.1 Статичка ефикасност *MPPT* алгоритма 329
6.3.1.2 Динамичка ефикасност *MPPT* алгоритма 331
6.3.2 Ефикасност претварача 332
6.3.2.1 Статичка ефикасност претварача 332
6.3.2.2 Укупна ефикасност претварача 333

6.4 Моделовање и оптимизација ефикасности претварача у *PV* системима 334
6.4.1 Модел ефикасности претварача 334
6.4.2 Поступци и методе за повећање ефикасности претварача 335
6.4.2.1 Избор коефицијената 335
6.4.2.2 Избор топологије претварача 335
6.4.2.3 Избор алгоритма управљања 336
6.4.2.4 Повећање ефикасности претварача при малим снагама 336

Скраћенице 341

Литература 347

УВОД

▪▪ ***Задатак система напајања је да потрошаче напаја идеалним извором електричне енергије***.

▪▫ Основни елементи система напајања су *извори напона//струје*. Уобичајене дефиниције *извора напона//струје* кажу да се ради о: „***активним елементима*** електричног кола способним да ***трајно напајају коло електричном енегијом на основу неке друге енергије***, ***да им напон//струја не зависе од потрошача***, ***те да су способни и да прихватају енергију - раде као потрошачи***“.
Ова дефиниција се провлачи већ деценијама (можда и више од вијека) и њена тачност, у основи, није упитна. Настала је у доба када се електротехника сводила на једноставну (електро)енергетику и добро је служила код описивања тадашњих простих система, за задавање лијепих задатака ђацима//студентима, те доказивање теорема из теорије електричних кола. Ситуација се, у међувремену промијенила из коријена, а дата дефиниција се и даље, упорно, користи.

▪▫ Бурни развој енергетске и дигиталне електронике и њихова примјена у осталим областима електротехнике, прије свега у електроенергетици, те појава тзв. *обновљивих извора*, драстично су промијенили све елементе електричних кола, па и *изворе*. Због тога је неопходно прилагођавање дате дефиниције новим приликама.
▪▫▫ Прво, у „***неке друге енергије***“ треба укључити и електричну, због електронских *извора*, прије свега *претварача енергетске електронике*. То је апсолутно оправдано јер се огроман проценат потрошача напаја, или ће се ускоро напајати преко *претварача*. Потрошачи виде *претварач* као *извор*, и није им важно да ли се он напаја са дистрибутивне мреже, *обновљивог извора*, дизел-агрегата, *аку-бат*, гориве ћелије, ... Фразу „***неке друге енергије***“ једноставно треба избацити.
▪▫▫ Појам „***трајно***“ означавао је довољно велики временски период са људског становишта, нпр. дане, мјесеце, године. Модерни *претварачи* који се користе као *извори* имају прекидачке феквенцијаме чак и у **MHz** подручју, а оптерећења су већином *импулсног* карактера и драстично мијењају импедансу//отпорност у кратком времену (нпр. код *микропроцесора* су то **ns**). Осим тога, рад *претварача* се одвија у дефинисаним регуларним режимима који се правилно смјењују и чије трајање зависи од прекидачке фреквенције, а мјери се у **μs**. Потрошач се, обично, у појединим дијеловима прекидачког периода напаја на потпуно различите начине и из различитих *извора*. У том смислу појам „***трајно***“ постаје проблематичан и треба га избацити из дефиниције.
▪▫▫ Ако се у *изворе* уврсте и *претварачи*, тада и појам „***активни***“ треба озбиљно анализирати. Наиме, већина *претварача* користи *пригушнице* за *конверзију* и преношење енергије са *улаза* на *излаз*. У одређеним дијеловима прекидачког перида оне напајају потрошаче претходно акумулисаном енергијом. Код *индиректних претварача* потрошач се *искључиво* напаја енергијом *пригушнице* и она је за њега једини *извор*. То се, свакако, мора узети у обзир и појам „***активни***“ такође избацити из дефиниције. У даљем тексту се *активним* сматрају *извори* који су засновани на *активним електронским компонентама* (*транзистори*) и имају способност *регулисања излазне величине*.
▪▫▫ „***Независност напона//струје од потрошача***“ и није толико проблематична. У изведби *извора* помоћу *претварача енергетске електронике* то се једноставно постиже одговарајућом *регулацијом* и важи у дефинисаном подручју промјене оптерећења.

▪▫▫ Можда је најпроблематичнији дио класичне дефиниције везан за способност *извора да* „***прихвата***“ *енергију*, тј. ради као потрошач. То, у принципу, значи да би ***AC*** *извори* морали бити **4*Q***, а ***DC*** **2*Q***. Тај дио дефиниције обавезно треба кориговати јер се, у пракси, ради о карактеристици која не зависи само од *извора* него од тренутног стања кола у коме се *извор*

налази. Посебно је компликована ситуација са ***DC*** *изворима*. Истински **2*Q*** ***DC*** *извор* је *аку-батерија*, али са ограниченом могућношћу примања и давања струје и промјењивим напоном на прикључцима. Добар дио *претварача* са ***DC*** *излазом* су **1*Q*** (као и *фотонапонски*, ***PV*** *извори*), у посебним случајевима су **2*Q***, а у специјалним могу бити и **4*Q***.
Тврдња да су ***AC*** *извори* **4*Q*** је настала из потреба првобитне електроенергетике и основа електротехнике. Наиме, појединачним потрошачима//*изворима* моћна ***AC*** мрежа заиста изгледа као **4*Q***. Међутим, мора се узети у обзир да ни један појединачни елемент мреже нема ту особину, већ се она појави тек ако се електрична мрежа посматра као систем *извора* и потрошача који су, захваљујући *регулацији*, увијек у *равнотежи*. Потрошачи могу да узимају енергију из мреже до граница њене могућности (*минимална* дозвољена вриједност напона, одређена локалном *серијском* импедансом и струјом потрошача), а *извори* да испоручују енергију у мрежу само ако то неће нарушити *равнотежу*, подићи напон *изнад максималне* дозвољене вриједности, одређене струјом која тече у мрежу и еквивалентном импедансом оптерећења. То значи да, ако неки *извор* испоручује енергију у мрежу (са његовог становишта мрежа је оптерећење), морају постојати и потрошачи који ту енергију могу прихватити. Проблеми су нарочито изражени ако постоје значајни *извори* на бази Сунца или вјетра, чије понашање није потпуно предвидиво, када није лако одржавати *равнотежу* система, односно постићи да се мрежа понаша као квалитетан *извор*. Због тога се електроенергетски системи обједињују на глобалном нивоу, да би били што мање осјетљиви на поремећаје од стране потрошача или *извора*, или се додају *складишта електричне енергије*, способна и да апсорбују вишак и да надокнаде мањак енергије, чиме знатно *поправљају квалитет електричне мреже као извора*. Управљање мрежом је изузетно комликовано, засновано да предвиђањима потрошње и производње, а могуће га је остварити само ако постоје *извори* чијим се *укључењем*//*искључењем*, односно уравњањем, постиже *уравнотежавање система извора и потрошача* са задовољавајућом динамиком.
Потпуно исто важи и за ***DC*** системе напајања, гдје **2*Q*//4*Q*** карактер *претварача*//*извора* не значи много ако нема потрошача способних да прихвате генерисану енергију. Чак је код ***DC*** напајања ситуација повољнија ако у систему постоје (најчешћи случај) *аку-бат*, природно способне да *дају*//*праихватају* енергију.

▪▫ Поједностављена и прилагођена дефиниција *извора* (*напона*//*струје*) би могла да гласи:

▪▪ ***Извор* (*напона*//*струје*) *је елемент који* (*углавном*) *снабдијева коло електричном енергијом.***

▪▫ Анализа *модела реалног извора напона*//*струје као серијске везе идеалног извора напона и импедансе*//*отпорности доводи до закључка да суштинске разлике између та два основна типа нема*, *да постоје само извори електричне енергије*, *односно да сваки конкретни извор има карактеристике блиске идеализованим типовима у одређеним подручјима промјене оптерећења*. Ако се говори о „постојању//непостојању“ неког од идеализованих типова *извора*, онда се прије може рећи да не постоје *извори напона* јер је њихово присуство могуће утврдити тек кад из њих потекне струја, а од тог трена се већ могу посматрати као *извори струје*.

▪▫ Уобичајено вредновање *извора* електричне енергије само на основу њихове *унутрашње импедансе*//*отпорности* није потпуно исправно. За правилно оцјењивање и употребу *извора* неопходно је узети у обзир и оптерећење, тј. *однос унутрашње* и *импедансе*//*отпорности* оптерећења. Такав приступ показује да се исти *извор* може употријебити за напајање одређених потрошача као квалитетан *извор напона* (*веома мала вриједност односа унутрашње и импедансе*//*отпорности оптерећења*), а других као квалитетан *извор струје* (*велика вриједност односа унутрашње и импедансе*//*отпорности оптерећења*). Јасно да *извор са веома малом вриједношћу унутрашње импедансе*//*отпорности* има *широко* подручје

промјене оптерећења у коме се понаша као квалитетан *реални извор напона*, а веома *уско* (често и потпуно непрактично) у коме је употребљив као *реални извор струје*. У случају *велике унутрашње импедансе//отпорности* важи потпуно обрнуто.

▪▪ ***Реални извори електричне енергије се моделују серијском везом извора напона и унутрашње импедансе.***

▪▪ ***Потрошач, који „види“ само излазни напон и струју извора који га напаја, не може да утврди да ли се ради о реалном извору напона или реалном извору струје.***

▪▪ ***Сви извори електричне енергије су добри или (јако) лоши извори струје.***

▪▪ ***Идеални AC извор има унутрашњу импедансу једнаку 0//∞, а даје напон//струју чисто синусоидалног таласног облика, амплитуде и фреквенције прилагођене потребама потрошача.***

▪▪ ***Идеални DC извор има унутрашњу отпорност једнаку 0//∞, а даје напон//струју без хармонијских компоненти, чија је вриједност прилагођена потребама потрошача.***

▪▫ *Извори напона* су веома погодни за системе напајања са (локално) централизованим *изворима* од којих се енергија, преко сабирница, дистрибуира многобројним потрошачима. Та прва фаза развоја електротехнике (електрификација), која је припала *изворима напона* и ***AC*** напајањима, је била неминовна, јер је омогућила масовно и свима доступно коришћење електричне енергије, због чињенице да се потрошачи веома једноставно *паралелно укључују//искључују* на систем напајања, потпуно независно од других потрошача, па и *извора*. Буран развој и масовна примјена електронике и енергетске електронике довели су, као што то увијек бива, до рушења старих принципа и потребе за увођењем нових. Одједном су доминанти постали електронски потрошачи, неприлагођени постојећој ***AC*** мрежи, коју у великој мјери „*прљају*“, а и сама мрежа углавном није предвиђена за такве типове потрошача. Осим тога, сви битни модерни потрошачи захтијевају појединачно напајање прилагођено њиховим потребама, без кога или не могу да функционишу, или им оно даје нову функционалност, побољшава ефикасност, смањује негативни утицај на (***AC***) мрежу итд. Појединачно напајање се реализује помоћу *претварача енергетске електронике* који користе постојећу мрежу (све чешће ***DC*** карактера) као *сирови извор енергије*, и у сваком конкретном случају га прилагођавају потрошачу, покушавајући да обезбиједе *оптимално напајање*. На први поглед то изгледа као усложњавање, али, узимајући у обзир да све више потрошача садржи *претварач* као свој интегрални дио, у ствари најчешће представља поједностављење и даје напајању нови квалитет, чак помаже сировој ***AC*** мрежи да постане паметнија и способнија да одговори на нове и старе изазове.

▪▫ Са концепцијом *оптималног* напајања полако, али сигурно, на своје долазе *извори струје*, изванредни за напајање појединачних потрошача који не морају бити прилагођени унапријед одређеном напону, већ им се у сваком тренутку даје оптимална струја. *Извори струје* нису раније могли бити масовно примјењени због једноставне чињенице да њихови потрошачи, када их има више, морају бити повезани *серијски*, што је потпуно непрактично. Наиме, тада је веома тешко независно *прикључивати нове* или *искључити постојеће* потрошаче. Осим тога, пошто се *извори струје* и даље (осим ***PV***) граде као *серијска* веза *извора напона* и (*велике*) *импедансе//отпорности*, то су они, у принципу, *неефикасни*. *Извори струје* постају *ефикасни* и почињу се масовно примјењивати тек са развојем *струјно управљаних претварача енергетске електронике*, када се функција *велике серијске импедансе//отпорности* постиже управљањем *претварачем* који приликом конверзије не користи дисипативне компоненте и има веома велику ефикасност.

▫▫ Основни проблеми ***AC*** система напајања су: (**1**) ***AC*** *извори* иоле веће снаге су углавном **3*f*** (*неопходно симетрирање и извора и потрошача*, сложена реализација *претварача*//*извора*), сви *извори* морају бити *синхронизовани*, а повезивање, све значајнијих и у будућности преовлађујућих, *обновљивих извора* у постојећи систем напајања није једноставно, због карактера који је *далеко од идеалног* ***AC***; (**2**) *пренос електричне енергије од извора до потрошача* се обавља водовима који се понашају као сложене *серијске* и *паралелне* импедансе што доводи до *губитака и неугодних резонанција*, ефективни пресјек проводника је смањен због *скин ефекта*, велики број проводника (**3*f***) и потреба да се остваре *изолациони* напони према *максималним*, а не *ефективним* вриједностима напона, (**3**) *сви потрошачи*, осим, све рјеђих, чисто отпорничких, *на неки начин кваре квалитет извора* (фазни помјерај струје и напона, виши хармоници), (**4**) поправак квалитета *извора* и све значајније *складиштење енергије у аку-бат* захтијева употребу сложених *претварача*.

▫▫ Системи ***DC*** *напајања*, због своје природе, немају већину проблема који се јављају код ***AC*** система, а проблеми који постоје се лако рјешавају употребом једноставнијих *претварача*. Зато је много лакше и јефтиније помоћу ***DC*** *извора* реализовати напајање чије су карактеристике блиске *идеалним*. С обзиром на то и ***DC*** карактер практично свих важних потрошача, за очекивати је да будућност припадне ***DC*** системима *напајања*. ***DC*** *напајања*, са више *независних извора и потрошача*, већ се користе у ТЕЛЕКОМ-у, портабл уређајима, ***HVDC*** преносу, електричним возилима, напајањима дејта центара (*data center*) и сл., а питање је времена када ће се почети примјењивати умјесто класичних ***AC*** дистрибутивних мрежа. Када се овоме дода и: (**1**) растући тренд коришћења *обновљивих извора* чије непредвидиво понашање *претварачи* прилагођавају захтјевима система напајања у коме се користе и (**2**) потреба готово свих најважнијих потрошача за *појединачним оптимизованим напајањем преко претварача*, јасно се отвара огроман простор за *реалне изворе струје*, било да су реализовани као *претварачи енергетске електронике* или на неки други начин. Дистрибутивна мрежа (***AC***//***DC***) за њих представља *извор довољно високог напона* са кога се *потрошачи могу напајати одговарајућом* (*оптималном*) *струјом*, *прилагођавањем серијске импедансе*//*отпорности претварача*//*склопа за напајање*. То се већ одавно користи код *пуњења аку-бат*, а у посљедње вријеме и код других потрошача који на себи имају (релативно) *константан* напон (***LED*** расвјета, мотори). Такве потрошачеи најбоље је напајати *изворoм струје*.

▫ У сврху доказивања постављених хипотеза у тексту су дати примјери великог броја реализација *реалних извора струје*, од оних чија је *излазна* струја реда **μA**, па до система напајања снага око **100-MW**. Готово све подјеле *реалних извора струје* су условне, зависне од критеријума вредновања њиховог понашања и карактеристика, па се исти типови, према једној подјели, могу наћи у различитим категоријама према некој другој. Најчешће подјеле су на: *независне*//*зависне*, *управљане*//*неуправљане*, *пасивне*//*активне* итд. Овдје су *реални извори струје* изложени према начину реализације, сљедећим редослиједом: (**1**) *пасивне* компоненте које се у одређеним режимима рада понашају као *реални извори струје*, (**2**) *реални извори струје* реализовани као *серијска* веза *извора напона* и *велике импедансе*, (**3**) ***PV*** *извори струје*. При томе су *извори* типа (**2**) раздвојени на оне код којих је *серијска импеданса константна* (*пасивни*, *неуправљиви*) и *изворе* са *промјењивом серијском импедансом* (*активни*, *управљиви*; *транзистори у линеарном режиму* и *претварачи енергетске електронике*). Поштујући наведени редослијед, прво су описани *пасивни*, а затим *активни реални извори струје*.

Књига је организована на сљедећи начин.

- У првом поглављу су описани *идеални* и *реални извори напона//струје* и изведени параметри којима се оцјењује њихов квалитет у функцији односа *унутрашње импедансе//отпорности* и *импедансе//отпорности* оптерећења, као и *модели* карактеристичних типова *реалних извора струје* који се срећу у пракси. И овим приступом је показана *дуалност* и *еквивалентност реалних извора напона и струје* па су у даљем тексту, осим у поглављу које описује ***PV*** системе напајања, описане реализације *реалних извора струје као серијске везе извора* (*високог*) *напона и велике импедансе//отпорности*. Дати су примјери формирања *извора напона* помоћу *извора струје* и обрнуто, као и анализа случајева који се могу појавити приликом *паралелног* и *серијског* повезивања *реалних извора струје*.

- *Пасивни реални извори струје* (реализовани искључиво *пасивним* компонентама - *отпорници*, *пригушнице* и *кондензатори*) су описани у другом поглављу. Осим *пасивних* компоненти које се повремено понашају као *извори струје*, приказане су и варијанте *пасивних реалних извора струје* састављених од *извора напона* и *константне серијске импедансе*. Прво су описана ***DC*** и ***AC*** напајања *импулсних* оптерећења (*серијски отпорник*), а затим је функционисање *операционих појачавача* (**ОП**) повезано са *изворима струје*. Послије тога су дата специфична напајања са ***AC*** мреже која се понашају као *пасивни реални извори струје*, и то кола за *пасивно поправљање фактора снаге* (*пригушница као серијска импеданса*) и *реални* ***AC-DC*** *извори импулсне струје* (*кондензатор као серијска импеданса*). *Реални* ***AC-DC*** *извори импулсне струје* су описани детаљно, укључујући прорачун елемената, начине регулације *излазног* напона и карактеристичне примјене.

- Принципи рализације и *модел активних реалних извора регулисане струје* (*регулатори струје*) су дати у трећем поглављу. *Модел* је примјењив како на *линеарне*, тако и на *прекидачке регулаторе струје*, на све који се могу представити *серијском везом извора напона и импедансе*.

- Четврто поглавље је посвећено *линеарним регулаторима струје*. Описани су основни типови и примјене *линеарних регулатора струје* реализованих *дискретним транзисторима* (са *референтним напоном*, *регулатори-ограничавачи*, специфична *струјна огледала*), **ОП** (**1*Q***, **2*Q*** – варијанте *Холендове струјне пумпе*) и *линеарним регулаторима напона*. Осим тога, дати су и примјери тзв. *хибридних* ***AC LED*** *драјвера*, као и детаљан приказ *интегрисаних регулатора константне струје* (***CCR***) и њиховог коришћења за напајање ***LED*** *стрингова* и *пуњење аку-бат* мањим струјама.

- *Прекидачки релни извори струје*, засновани на *претварачима енергетске електронике*, су описани у петом поглављу. Прво су дати *модели* и приказани основни типови *индиректних* и *директних претварача* са и без галванске изолације, као и њихове примјене када раде као *реални извори струје*. Детаљно су описани тзв. ***SIMO*** (***S****ingle* ***I****nductor* ***M****ultiple* ***O****utput*) *индиректни претварачи*. Након тога слиједи исцрпан приказ најпознатијих метода *струјног управљања претварачима* (*претварач* са *струјним управљањем* се понаша као изузетно квалитетан *управљани извор струје*), гдје је посебна пажња посвећена стабилности и елиминисању системске грешке средње вриједности струје. У наставку су изложени принципи активног ограничења *излазне* струје *претварача* и примјена *претварача* код поправљања квалитета електричне енргије. Слиједи детаљан приказ различитих типова *струјних инвертора* напајаних *изворoм струје* (***CSF*** – ***C****urrent* ***S****ource* ***F****ed*), са стандардним и *излазом* са више нивоа, као и њихових примјена. На крају поглавља су описани *претварачи* који раде као *извори струје* за напајање ***CSF*** *претварача*.

- ***PV*** *извори* су изложени у шестом поглављу. Приказани су типови ***PV*** *извора*, њихови *модели* и електронски *симулатори*. Осим тога, детаљно је описана проблематика повезивања ***PV*** *извора* са ***AC*** мрежом, са наглашеним захтјевима, типовима *претварача*, начинима управљања, *стандардима* које треба задовољити, као и примјери, како класичних, тако и најмодернијих рјешења која се примјењују у овој области. У наставку су дате *стандардима* прописане *дефиниције* и *процедуре за мјерење ефикасности претварача* у ***PV*** *системима*, док су на крају изложени *модели ефикасности претварача* и методе и поступци којима се може *оптимизовати ефикасност претварача* у ***PV*** *системима* напајања.

- У прилогу су дате многобројне скраћенице које се појављују и тексту, а на крају и списак коришћене литературе.