

ELEKTRIČNI KRUGOVI 1

1. Elementarni dinamički električni krugovi

Pojam električnog kruga nije moguće uniformno definisati. Stoga se u tehničkoj literaturi, i susreće više različito uobličenih definicija električnog kruga, koje suštinski gledano, ipak na analogan način, objedinjavaju dominantne karakteristike razmatranih električnih sistema (korisno je naglasiti da terminu električni krug, u alternativnoj jezičkoj formi, korespondira termin električno kolo).

U kontekstu prethodno rečenog, pod pojmom električni krug, može se podrazumjevati i svaka na pogodan način ostvarena veza elemenata, koja omogućava prenošenje električne energije od izvora električne energije, pa do potrošača električne energije, pri čemu se neizostavno prisutni elektromagnetni procesi, opisuju uz pomoć pojmova «napon» i «struja».

Element električnog kruga je obično idealizirani model, koji treba da zamjeni realan dio električnog kruga i to tako, da se prevashodno uvažava samo njegove glavne osobine. Pri makroskopskom gledanju predmetnih problema, analizirani procesi se i u idealizovanom modelu i u odgovarajućem realnom dijelu električnog kruga, odvijaju na dovoljno sličan način.

Razvrstavanje elemenata, koji su prisutni u električnim krugovima, može se provoditi po više kriterijuma, zbog čega i postoje podjele na:

- * izvore električne energije i potrošače električne energije,
- *aktivne elemente i pasivne elemente,
- *dvopolne elemente i višepolne elemente,
- *skoncentrisane elemente i raspodjeljene elemente,
- *linearne elemente i nelinearne elemente, Φ_1
- *stacionarne elemente i nestacionarne elemente,
- *statičke elemente i dinamičke elemente.

U kontekstu posljednje navedene podjele, kod statičkih električnih elemenata, odnosi između električnog napona i električne struje, analitički su opisani algebarskim jednačinama, dok su kod dinamičkih električnih elemenata ti isti odnosi opisani diferencijalnim jednačinama.

1.1 Idealizirana električna zavojnica induktivnosti L: energija i početno stanje

Tokom proučavanja odnosa između magnetnog fluksa i stalne jednosmjerne električne struje, koja je stvorila taj magnetni fluks, kao koeficijent proporcionalnosti između prethodno pomenutih veličina, uveden je pojam električne induktivnosti i to u formi električne samoinduktivnosti L (odnos magnetnog fluksa i struje koja je stvorila taj magnetni fluks) i električne međui induktivnosti M_{12} (odnos dijela fluksa Φ_1 , dakle fluksa Φ_{12} ($\Phi_{12} < \Phi_1$) koji dopire do neke konture C_2 , i struje I_1 koja je prolazeći kroz konturu C_1 stvorila upravo magnetni fluks Φ_1).

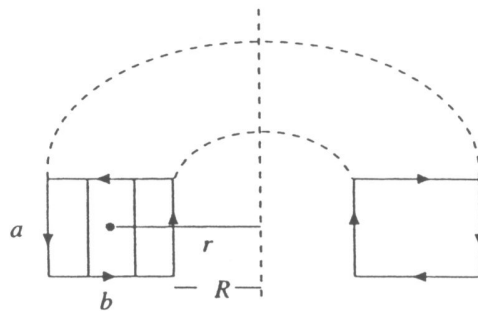
Pri tome je korišten najjednostavniji slučaj spomenute u veze, u kojem se induktivnost tretira kao konstantna veličina, određena samo vlastitim geometrijskim karakteristikama i karakteristikama sredine, kojoj se pripisuje.

Saglasno takvom pristupu samoinduktivnost solenoida L_S , formiranog od N ravnomjerno i gusto raspoređenih zavojaka, postavljenih na paramagnetno torusno jezgro pravougaonog poprečnog presjeka, stranica a i b , te unutrašnjeg poluprečnika R (jezgro je grafički prikazano na slici 1.1), iznosi:

$$L_S = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot a \cdot \ln((R+a)/R)}{2 \cdot \pi} \quad (1.1)$$

Ukoliko električna struja nije funkcija vremena, što uz pretpostavku da je induktivnost L_S konstantna, omogućava da se odredi elektromotorna sila samoindukcije E_S (koja se pojavljuje između krajeva solenoida), posredstvom izraza:

$$E_S = - \frac{d\Phi}{dt} = - L_S \frac{di}{dt} \quad (1.2)$$



Slika 1.1 Geometrijske karakteristike torusnog jezgra pravougaonog poprečnog presjeka

Pri opštijem tretiranju odnosa između električne struje $i(t)$ i magnetnog fluksa $\Phi(t)$, stvorenog tom istom strujom, induktivnost L se predočava pomoću idealizirane zavojnice. Idealizirana zavojnica je element električnog kruga sa dva kraja, kod kojeg je odnos između magnetnog fluksa $\Phi(t)$ i električne struje $i(t)$, u svakom trenutku vremena jednoznačno definisan relacijom oblika $\Phi(t) = f(i(t), t)$, koju u literaturi često nazivaju (Φ, i) karakteristikom.

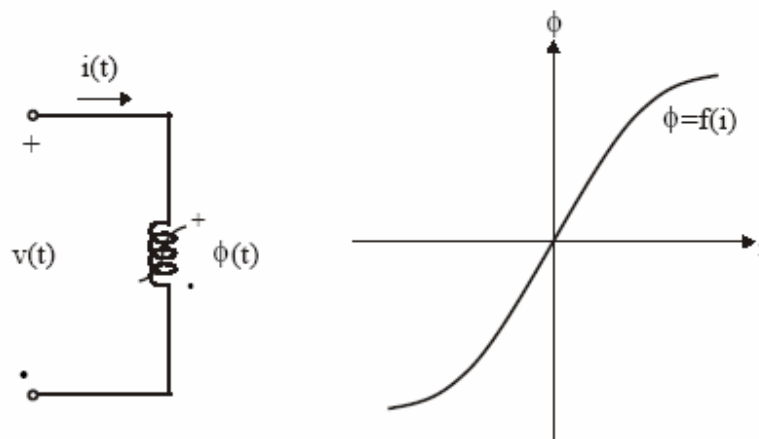
Termin idealna zavojnica, jasno naglašava da se u odabranom pristupu, u obzir uzima samo induktivni karakter zavojnice, kao njen dominirajući parametar, iako sve realne zavojnice, pored tog parametra, imaju i vlastiti električni kapacitet C_L i vlastiti aktivni električni otpor R_L .

Na slici 1.2 prikazani su: (a) grafički simbol i (b) (Φ, i) karakteristika nelinearne idealizirane zavojnice.

Zavisno o vlastitom obliku (Φ, i) karakteristike, idealizirana zavojnica može biti i preciznije određena klasifikacijom kao: linearna (LL), nelinearna (NL), vremenski nepromjenljiva (VNL), ili pak vremenski promjenljiva (VPL) zavojnica.

U ovakvim - poopštenim uslovima, induktivnost L se često definiše kao kvantitativna mjera induktiviteta, u trenutku t , pri poznatoj struji $i(t)$ i poznatom fluksu $\Phi(t)$, odnosno izračunava iz relacije (1.3)

$$L(i, \Phi, t) = \frac{\delta \Phi}{\delta i} \quad (1.3)$$



Slika 1.2 a) Grafički simbol, b) (Φ, i) karakteristika nelinearne zavojnice

Napon $v(t)$, koji je usaglašen sa smjerom struje $i(t)$, može se dovesti u vezu sa ukupnim magnetnim fluksom $\Phi(t)$ (pod pojmom ukupni magnetni fluks, podrazumjeva se ulančeni magnetni fluks, odnosno magnetni fluks koji se obuhvata sa svim zavojcima razmatranog svitka) na osnovu relacije (1.4), koja je direktna posljedica Faradayovog zakona elektromagnetne indukcije:

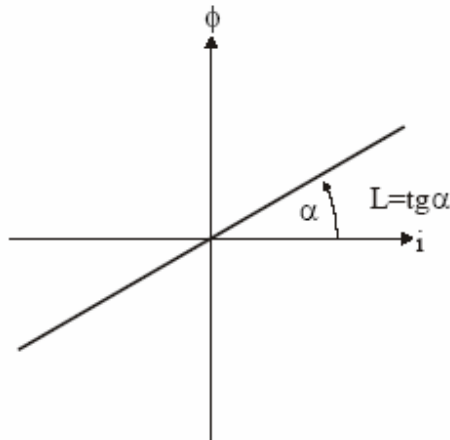
$$v(t) = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.4)$$

U teoriji električnih krugova, najčešće se susreću idealizirane zavojnice, kojima je pridružen linearni, stacionarni induktivitet, određen relacijom (1.5)

$$\Phi(t) = L \cdot i(t), \quad (1.5)$$

pri čemu je $L = \text{konst.}$

Na slici 1.3 prikazana je (Φ, i) karakteristike, idealizirane linearne zavojnice



Slika 1.3 a) (Φ , i) karakteristika idealizirane linearne zavojnice

Za linearnu vremenski nepromjenljivu idealiziranu zavojnicu (LVNL), odnos između magnetnog fluksa i i struje, koja je stvorila taj fluks, iskazan je relacijom (1.5). Odnos između električnog napona $v(t)$, koji se pojavljuje između krajeva takve zavojnice i električne struje koja prolazi kroz istu tu zavojnicu definisan je relacijom (1.6):

$$v(t) = \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1.6)$$

Integracijom jednačine (1.6), moguće je doći do izraza koja definiše električnu struju $i(t)$,

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{t_0} v(\tau) d\tau + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau \\ &= i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau \end{aligned}$$

Prema posljednjoj relaciji, energetska stanje razmatrane zavojnice, za vremenski interval definisan relacijom: $t \geq t_0$, jednoznačno je određen početnom vrijednošću struje $i(t_0)$, što potvrđuje da zavojnice (kao i električni kondenzatori) imaju sposobnost «memorisanja», odnosno akumulacije električne energije, zbog čega se i električni kondenzatori i električne zavojnice svrstavaju u dinamičke električne elemente. Za dinamičke električne elemente, karakteristično je da se odnosi između električne struje i električnog napona opisuju diferencijalnim jednačinama prvog reda.

U opisanim uslovima, početna vrijednost magnetnog fluksa u trenutku $t = t_0$, iskazana je relacijom

$$\Phi_0 = \phi(t_0) = \int_{-\infty}^{t_0} v(\tau) d\tau$$

može se koristiti za definisanje početnog energetskog stanja zavojnice induktivnosti L . Saglasno tome energija koja je akumulirana u idealiziranoj linearnoj vremenski nepromjenljivoj zavojnici vlastite induktivnosti L do trenutka $t = t_0$ iznosi:

$$W_{m0} = w_m(t_0) = \frac{1}{2} \frac{\Phi_0^2}{L} = \frac{1}{2} LI_0^2$$

S druge strane može se pokazati da električnu energiju, koja se predaje razmatranoj zavojnici do trenutka t_0 iz vanjskih energetskih izvora, određuje izraz:

$$\begin{aligned} w(t_0) &= \int_{-\infty}^{t_0} v(t)i(t) dt = \int_{i(-\infty)}^{i(t_0)} Li(t) di \\ &= \frac{1}{2} \frac{\Phi_0^2}{L} = \frac{1}{2} LI_0^2 \end{aligned}$$

što omogućava izvođenje važnog zaključka da je idealizirana linearna vremenski nepromjenljiva zavojnica element električnog kruga kod kojeg se sva električna energija preuzeta iz vanjskih energetskih izvora do trenutka t_0 , dakle energija $w(t_0)$, pretvara u akumuliranu energiju unutar elementa $w_m(t_0)$.

Fizikalna priroda električnog napona $v(t)$ određuje ovu veličinu kao ograničenu veličinu, što nadalje znači da i struja koja se usmjerava kroz analiziranu zavojnicu, mora biti neprekidna funkcija vremena, te se početno stanje električne struje u trenutku t_0 definiše vrijednošću $i(t_0) = I_0$.

Uočena neprekidnost električne struje kroz idealiziranu linearnu vremenski nepromjenljivu zavojnicu i uspostavljena veza između te struje i akumulirane električne energije u magnetnom polju iste zavojnice, omogućava da se konstatuje kako se ta energija ne može skokovito mjenjati, što je jedna od osnovnih karakteristika dinamičkih elemenata električnih krugova.

Kod linearnih, vremenski zavisnih, idealiziranih zavojnica (Φ, i) karakteristika, je ponovo pravac (kao i na slici 1.3) koji prolazi kroz koordinatni početak, pri čemu nagib tog pravca sada zavisi od fiksnog trenutka t . Drugim riječima pripadajuća vlastita induktivnost L je funkcija vremena, dakle važi $L = L(t)$.

U tom kontekstu jednačine stanja takve zavojnice transformišu se u oblik:

$$\begin{aligned}\phi(t) &= L(t)i(t) \\ v(t) &= \frac{d\phi(t)}{dt} = L(t)\frac{di}{dt} + \frac{dL}{dt} i(t)\end{aligned}$$

dok energiju, akumuliranu u trenutku t , unutar takve zavojnice, određuje relacija:

$$w_m(t) = \frac{1}{2} L(t)i^2(t)$$

Nije teško pokazati da brzina promjene akumulirane energije u ovakvoj zavojnici iznosi:

$$p_e(t) = \frac{dw_m(t)}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dL(t)}{dt} i^2(t) + L(t)i(t) \frac{di(t)}{dt}$$

S druge strane trenutna električna snaga $p(t)$, koja se u svakom trenutku t , na račun vanjskih energetske resursa, predaje analiziranoj zavojnici, iznosi:

$$\begin{aligned}p(t) &= v(t)i(t) = i(t)\frac{d}{dt}[L(t)i(t)] = i(t)\left[L(t)\frac{di(t)}{dt} + \frac{dL(t)}{dt}i(t)\right] \\ &= L(t)i(t)\frac{di(t)}{dt} + \frac{dL(t)}{dt}i^2(t)\end{aligned}$$

Razlika između brzine angažovanja električne energije iz vanjskih resursa i brzine akumuliranja električne energije unutar vlastite materijalne strukture, u slučaju linearnih, vremenski zavisnih, idealiziranih zavojnica očigledno je različita od nule, jer je

$$p(t) - p_e(t) = p_m(t) = \frac{1}{2} \frac{dL(t)}{dt} i^2(t)$$

Električna snaga $p_m(t)$ izražava rad mehaničkih sila koje uzrokuju promjenu vlastite induktivnosti $L(t)$.

1.2 Vezivanje idealiziranih električnih zavojnica

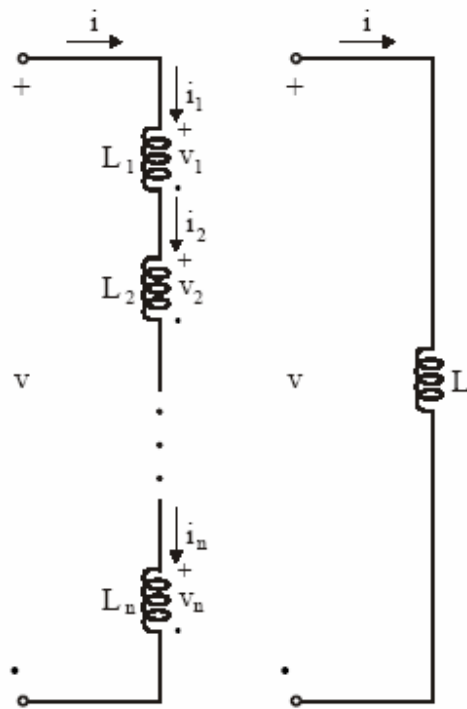
U ovom odjeljku će se opisati osnovne karakteristike serijske (ili redne) i paralelne (ili otočne) veze idealiziranih zavojnica.

U tom smislu se, za rednu vezu n idealiziranih linearnih vremenski nepromjenljivih zavojnica (LVNL), osnovne osobine ovakvog načina njihovog povezivanja iskazuju slijedećim relacijama:

$$v_k(t) = L_k \frac{di_k(t)}{dt}$$

$$i_k(t) = i_k(0) + \frac{1}{L_k} \int_0^t v_k(\tau) d\tau$$

koje su grafički ilustrovane na slici 1.4.



Slika 1.4 Redna veza n LVNL zavojnica

Ovakva veza, može se definisati samo u slučajevima kada su početne vrijednosti električnih struja $i_k(0)$, ($k = 1, 2, \dots, n$), koje se usmjeravaju kroz analizirane zavojnice sa slike 1.4 u svim tim zavojnicama jednake

Tada se prema Kirchhoffovim zakonima za spoj kao na slici 1.4 može pisati da je:

$$i_k(t) = i(t) \quad \text{za } k = 1, 2, \dots, n \quad \text{odakle za } t = 0 \text{ vrijedi:}$$

$$i(0) = i_1(0) = \dots = i_k(0) = \dots = i_n(0)$$

$$v(t) = \sum_{k=1}^n v_k(t)$$

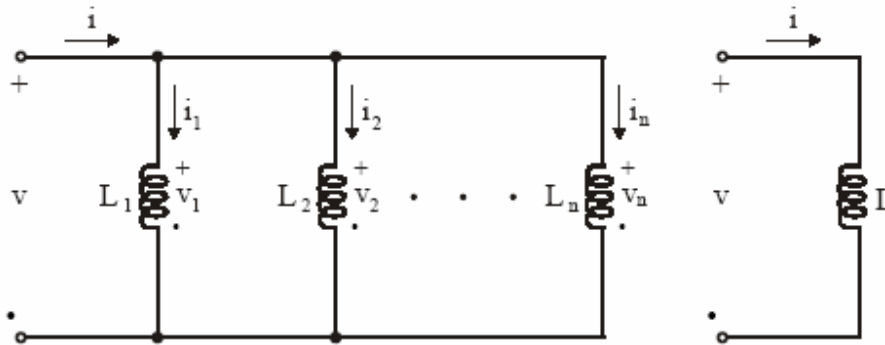
Objedinjavanjem prethodnih relacija dolazi se do slijedeće jednačine

$$\begin{aligned}
 v(t) &= \sum_{k=1}^n v_k(t) = \sum_{k=1}^n L_k \frac{di_k(t)}{dt} = \sum_{k=1}^n L_k \frac{di(t)}{dt} \\
 &= \frac{di(t)}{dt} \sum_{k=1}^n L_k = L \frac{di(t)}{dt}
 \end{aligned}$$

$$L = \sum_{k=1}^n L_k$$

uz koju je uvijek korisno naglasiti i da je $i(0) = i_k(0)$ za $k = 1, 2, \dots, n$.

Na sličan način se može razmatrati i paralelna veza n idealiziranih linearnih vremenski nepromjenljivih zavojnica (LVNL). Električna šema za ovakvu vrstu veze, prikazana je na slici 1.5.



Slika 1.5 Paralelna veza n LVNL zavojnica

Osnovne osobine ovakvog načina njihovog povezivanja opisane su slijedećim relacijama:

$$\begin{aligned}
 i(t) &= \sum_{k=1}^n i_k(t) = \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{L_k} \int_{-\infty}^t v_k(\tau) d\tau \right] \\
 &= \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{L_k} \int_{-\infty}^{t_0} v_k(\tau) d\tau + \frac{1}{L_k} \int_{t_0}^t v_k(\tau) d\tau \right] \\
 &= \sum_{k=1}^n i_k(0) + \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{L_k} \int_0^t v(\tau) d\tau \right] \\
 &= i(0) + \int_0^t v(\tau) d\tau \left[\sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k} \right] = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t v(\tau) d\tau
 \end{aligned}$$

koje su formirane uz uvažavanje Kirchhoffovih zakona i navedenih početnih uslova.

$$i(t) = \sum_{k=1}^n i_k(t), \quad \text{odnosno za } t=0: \quad i(0) = \sum_{k=1}^n i_k(0)$$

$$v(t) = v_k(t), \quad \text{za } k=1, 2, \dots, n$$

Nije teško uočiti da je odnos između, s jedne strane n paralelno spojenih idealiziranih linearnih vremenski nepromjenljivih zavojnica (LVNL) i s druge strane njima ekvivalentne idealizirane linearne vremenski nepromjenljive zavojnice vlastite induktivnosti L , određen slijedećom relacijom:

$$\frac{1}{L} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k}$$

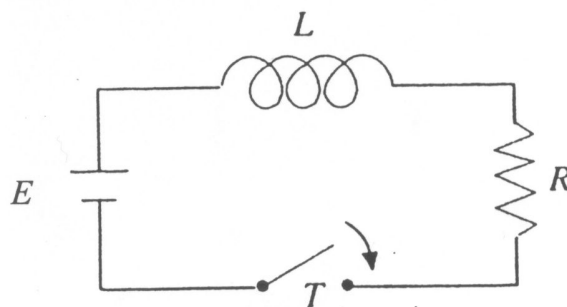
U svim induktivnim električnim krugovima, dakle bez obzira na prirodu spoja pojedinih induktivnih elemenata, važi zakon o očuvanju ukupnog magnetnog fluksa Φ , zbog čega je recimo u slučaju n paralelno spojenih idealiziranih linearnih vremenski nepromjenljivih zavojnica (LVNL) u važnosti relacija:

$$\Phi = Li = \sum_{k=1}^n L_k i_k = \sum_{k=1}^n \Phi_k$$

1.3 Priključenje i isključenje idealizirane linearne vremenski nepromjenljive zavojnice na naponski izvor stalnog jednosmjernog napona

U okviru Osnova elektrotehnike, pokazano je da idealizirana zavojnica vlastite induktivnosti L , u stacionarnim uslovima rada, predstavlja kratak spoj za stalnu jednosmjernu struju. Isto tako su i ogledi Oersteda i Faradaya pokazali da u uslovima uspostavljanja stalne električne struje, kao i u uslovima njenog iščezavanja, nastaje promjenljivi magnetni fluks, što odmah implicira zaključak da je u tim kratkotrajnim trenucima i električna struja, koja stvara taj magnetni fluks, promjenljiva.

Da bi se preciznije istražile zakonomjernosti navedenih promjena električne struje, korisno je analizirati jednostavni električni krug sa slike 1.6



Slika 1.6 Uključenje zavojnice induktivnosti L na jednosmjerni naponski izvor

Pod pretpostavkom da je jednosmjerni naponski izvor, upotrebljen u električnoj šemi sa slike 1.6, idealni naponski izvor stalnog jednosmjernog napona, tada njegov unutrašnji aktivni otpor R_E mora biti jednak nuli. Slično tome, ukoliko pretpostavimo da je i upotrebljena zavojnica takva da ima karakteristike idealne linearne vremenski nepromjenljive zavojnice (LVNL), tada je i ona kao element razmatranog električnog kruga potpuno opisana samo induktivnošću L (za realnu, linearnu vremenski nepromjenljivu zavojnicu, pri njenom ekvivalentnom električnom predstavljanju, neophodno je pored induktivnosti L toj induktivnosti pridružiti i aktivni otpor R_L , serijski vezan sa tom induktivnošću).

Pri ovakvim ograničenjima, aktivni otpor R u električnoj šemi sa slike 1.6, mora biti jednak nuli, jer je on određen sa relacijom $R = R_L + R_E$.

Ukoliko, pri otvorenom prekidaču T , u zavojnici vlastite induktivnosti L nije bilo akumulirane magnetne energije, tada će se promjena struje od trenutka t_0 , kada se zatvori prekidač T , mijenjati u skladu sa dinamikom opisanom slijedećom jednačinom:

$$E = L \frac{di}{dt} \quad (1.7)$$

U relaciji (1.7), pored elektromotorne sile svojstvene idealnom naponskom izvoru, prisutna je samo još elektromotorna sila samoindukcije koja u ovom slučaju nastoji spriječiti uspostavljanje struje $i(t)$ u analiziranom kolu.

Lako se pokazuje da struja definisana relacijom (1.7), ima tok promjene opisan relacijom:

$$i(t) = \frac{E}{L} t + C \quad (1.8)$$

Integraciona konstanta C , pri početnim uslovima $i(0) = 0$, ima vrijednost nula, tako da važi $C = 0$.

Na osnovu relacije (1.8) proizilazi da bi idealni naponski izvor stalnog jednosmjernog napona, u dovoljno dugom intervalu vremena, mogao uspostaviti izuzetno veliku vrijednost struje, koja bi uz to i nakon toga imala tendenciju rasta, jer je opisana monotono rastućom funkcijom.

Međutim u realnim fizičkim sistemima nije moguće realizovati takvo stanje, zbog čega je onda neophodno modificirati odnose iskazane jednačinom (1.7). Za prvi korak u pravcu neophodne modifikacije, pokazuje se sasvim dovoljnim da se uzme u obzir samo realnost konfiguracije naponskog izvora stalnog jednosmjernog napona, dakle da je $R_E > 0$. Nije teško uočiti da je tada $R = R_L + R_E > 0$, pa su u novouspostavljenim uslovima, odnosi unutar električne šeme sa slike 1.6 opisani slijedećom jednačinom dinamičke ravnoteže:

$$E = L \cdot \frac{di}{dt} + R_E \cdot i \quad (1.9)$$

Jednačina (1.9) se u matematičkoj teoriji klasificira kao linearna diferencijalna jednačina I reda i ima rješenje u obliku:

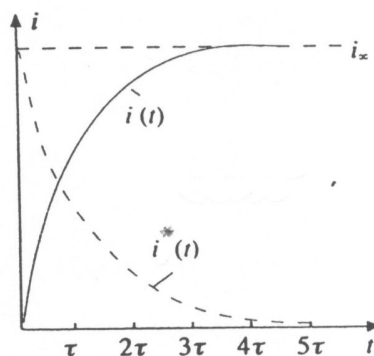
$$i(t) = \frac{E}{R_E} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1.10)$$

Simbol $\tau = L / R$, označava vremensku konstantu analiziranog kola (U teoriji automatskog upravljanja relacija oblika (1.10), naziva se aperiodskim blokom I reda. Vremenska konstanta aperiodskog bloka prvog reda τ , određuje se kao vrijeme koje je potrebno da odskočni odziv analizirane koordinate – dakle u ovom slučaju struja, dostigne 63% vrijednosti novog stacionarnog stanja – za predmetnu električnu šemu to je 63 % vrijednosti struje (E / R_E)).

Na slici 1.7 dat je grafički prikaz toka uspostavljanja električne struje u električnoj šemi sa slike 1.6.

Uz pomoć slike 1.7 i relacije (1.10) može se zaključiti da pri konstantnoj vrijednosti induktivnosti L , povećanjem aktivnog otpora R , dolazi do smanjenja vremenske konstante, odnosno prelazni režim uspostavljanja električne struje $i(t)$, do svoje stacionarne vrijednosti $I = (E / R)$ traje kraće.

Nasuprot tome, smanjenjem vrijednosti aktivnog otpora R (približavanje karakteristika realnog naponskog izvora karakteristikama idealnog naponskog izvora i približavanje karakteristika realne linearne vremenski nepromjenljive zavojnice karakteristikama idealne linearne vremenski nepromjenljive zavojnice), vrijeme potrebno da se dostigne stacionarna vrijednost električne struje I se produžava, a električna struja $i(t)$ svoje promjene, tokom vlastitog uspostavljanja, ostvaruje na način koji je vrlo sličan zakonitosti iskazanoj sa relacijom (1.8).



Slika 1.7 Grafički prikaz toka uspostavljanja električne struje u serijskom R-L kolu kada se ono priključuje na izvor stalnog jednosmjernog napona – puna linija i toka iščezavanja električne struje u serijskom R-L kolu kada se ono isključuje sa izvora stalnog jednosmjernog napona – crtkana linija.

Sa energetskeg stanovišta važno je naglasiti da u fazi uspostavljanja stalne jednosmjerne struje, upotrebljeni naponski izvor odaje električnu energiju koja se troši ne samo na savladavanje Jouleovih gubitaka na otporu R , već i na savladavanje elektromotorne sile samoindukcije. Može se dokazati da je električni rad generatora utrošen na savladavanje elektromotorne sile samoindukcije brojno jednak prirastu magnetne energije u analiziranoj zavojnici.

Ako se u uslovima uspostavljene stacionarne vrijednosti električne struje $I = (E / R)$, naglo otvori prekidač T, struja neće moći trenutno pasti na vrijednost nula, nego će se toj vrijednosti približavati kroz dinamički proces opisan jednačinom:

$$0 = L \cdot \frac{di}{dt} + R^* \cdot i \quad (1.11)$$

Treba naglasiti da je u posljednjoj jednačini aktivni električni otpor $R^* \gg R$ (pri otvaranju prekidača formira se električni luk, pa se energija nagomilana u zavojnici prazni putem tog električnog luka, kojeg karakteriše i vlastiti aktivni električni otpor $R_{\text{luka}} \gg R$, te je $R^* = R_{\text{luka}} + R$).

Tokom trajanja procesa iščezavanja električne struje, u razmatranom električnom krugu sa slike 1.6, zavojnica se praktično odvajala od upotrebljenog naponskog izvora, na što ona reaguje stvaranjem elektromotorne sile samoindukcije, koja nastoji da održi stalnu jednosmjernu struju. Energetski resursi za stvaranje elektromotorne sile samoindukcije nalaze se upravo u magnetnoj energiji, koja je akumulirana u zavojnici.

Spomenuta pojava električnog luka može dovesti do oštećenja prekidača, zbog čega se često, električni krugovi sa zavojnicama velikih induktivnosti, koje su samim time kadre da akumuliraju i značajne iznose magnetne energije, isključuju ne na prethodno opisani način (u kojem se akumulirana magnetna energija transformiše u Jouleove gubitke posredstvom električnog luka), nego tako da se praktično prekidač T dovede iz položaja uključeno u novi položaj, u kojem je zavojnica vlastite induktivnosti L odspojena od upotrebljenog naponskog izvora, ali istovremeno i kratkospojena.

Iščezavanje električne struje zbog, isključenja električne zavojnice uz pojavu električnog luka, s obzirom na relaciju $R^* = R_{\text{luka}} + R$, traje mnogo kraće, nego proces uspostavljanja te iste struje.

Nije teško uočiti da, ako sa τ^* označimo vremensku konstantu, koja karakteriše iščezavanje električne struje u analiziranom električnom krugu pri pojavi električnog luka, tada važi međusobni odnos prethodno upotrebljenih vremenskih konstanti: $\tau^* = (L / R^*) \ll \tau = (L / R)$.

Sama struja iščezavanja, može se odrediti na osnovu jednačine (1.11), u obliku

$$i^*(t) = \frac{E}{R} e^{-t/\tau^*} \quad (1.12)$$

Uz pomoć relacije (1.12), moguće je izračunati i elektromotornu silu samoindukcije, koja se pojavljuje pri pokušaju da se električna struja svede na nulti iznos. Ova indukovana elektromotorna sila ima vrijednost:

$$e_L = -L \frac{di(t)}{dt} = \frac{R^*}{R} E e^{-t/\tau^*} \quad (1.13)$$

i u prvom trenutku ona po amplitudi znatno premašuje elektromotornu silu naponskog izvora E (u trenutku $t=0$, ona je (R^* / R) puta veća od E).