Өтпелі процестердің пайда болуы және коммутация заңдары. Өтпелі, еріксіз және еркін процестер. R-L және R-C тізбектерін тұрақты кернеуге қосу. Тармақталмаған R-L-C тізбегіндегі өтпелі процестер. Өтпелі процестерді классикалық әдіспен есептеудегі жалпы жағдайлар.

Электр тізбектерінде пассивті немесе активті тармақтардың қосылуы және ажыратылуы, жеке тізбек бөліктерінің қысқа тұйықталуы, оларды әртүрлі аустырып қосу, сондай-ақ тізбек параметрлерінің тосыннан өзгеруінің болуы мүмкін. Осындай өзгерістердің салдарынан тізбекте өтпелі процестер пайда болады. **Өтпелі процесс дегеніміз,** ол электр тізбегіндегі жұмыс тәртіптерінің бір режімнен басқа режімге ауысуы деп білеміз, өтпелі процестер коммутациялау арқылы болады. Коммутацияның екі заңы бар.
Коммутацияның бірінші заңы: индуктивті тармақтағы ток және магнит ағыны коммутациялау кезінде тікелей коммутацияға дейінгі мәніне тең болады және одан ары тек сол мәннен бастап өзгере бастайды: $i_L(0_-) = i_L(0_+)$

мұндағы $i_L(0_-)$ -коммутацияға дейінгі ток, $i_L(0_+)$ -коммутациядан кейінгі ток.

Коммутацияның екінші заңы: Сыйымдылығы бар кез келген тармақтағы кернеу және сыйымдылықтағы заряд коммутациялау кезінде тікелей коммутацияға дейінгі мәніне тең де, бұдан былай тек осы мәнінен бастап өзгереді: $u_C(0_-)=u_C(0_+)$ мұндағы $u_C(0_-)$ -коммутацияға дейінгі кернеу, $u_C(0_+)$ -коммутациядан кейінгі кернеу. Коммутацияның басталу уақытын $t(0_+)$ деп қабылдаймыз.

R, L тізбегін тұрақты кернеуге қосу. R, L тізбегін тұрақты кернеуге қосқан кезде, ток алғашқы мезгілде нольге тең, себебі индуктивтіктегі ток секірмелі өзгермейді: $i_L(0_-)=i_L(0_+)$ Орауыштағы токтың өзгеру заңын анықтау керек. Кирхгофтың заңын коммутациядан кейінгі уақыт үшін жазамыз:

$$u_R+u_L=E,\quad R\cdot i+L\frac{di}{dt}=E.$$

Бұл біртекті емес бірінші ретті дифференциалдық теңдеу. Өтпелі процесс кезіндегі ток еріксіз және еркін режімдердегі процесс болып жіктеледі, олардың қосындысына тең болады: $i=i_{еркз}+i_{ерк}$

Еркін ток, біртектес дифференциалдық теңдеудің жалпы шешімі болып есептеледі, яғни оның шешімі көрсеткіш функция болып саналады $i_{ерк}=Ae^{pt}$

Еріксіз ток, біртектес емес дифференциалдық теңдеуінің жеке шешімі болып есептеледі, сонда i өтпелі ток $i_{еркз}$ және $i_{ерк}$ токтарының қосындысынан тұрады, яғни ол біртектес емес дифференциалдық теңдеудің жалпы шешімі болып саналады. $Ri_{ерк} + L\frac{di_{ерк}}{dt} = 0$, оның жалпы шешімі: $i_{ерк} = Ae^{pt}$

мұндағы A интегралдық тұрақты, p сипаттамалық теңдеудің түбірі. Түбірді табу үшін $\frac{d}{dt} = p$ деп қабылдап аламыз да теңдеуден $pL + R = 0$ түбір табамыз $p = -\frac{R}{L}$. Еріксіз ток: $i_{еркз} = \frac{E}{R}$

Сонда өтпелі ток: $i = Ae^{pt} + \frac{E}{R}$. Белгісіз интегралдау тұрақтысын анықтау үшін бастапқы шартарды пайдаланамыз, яғни $t = 0$ кезіндегі ток:

$$i(0_+) = A + \frac{E}{R},\ A = -\frac{E}{R},\ \ i(0_+) = i(0_-) = 0$$

Сондықтан өтпелі процестегі ток: $i = Ae^{pt} + \frac{E}{R} = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right),\quad \tau = \frac{1}{p} = \frac{L}{R}.$

Индуктивтіктегі кернеу: $u = L\frac{di}{dt} = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$

R,L тізбектерін қысқа тұйықтау. Онда өтпелі ток еркін токқа тең болады:

Еріксіз ток нольге тең.

$$i = i_{ерк} = Ae^{pt} = \frac{E}{R}e^{-\frac{R}{L}}$$

R,C тізбегін тұрақты кернеуге қосу.   Кирхгофтың заңы бойынша коммутациядан кейінгі тендеу:

$$u_R + u_C = E, iR + u_C = E, C\frac{du_C}{dt}R + u_C = E,$$

$$u_C = u_{C_{ерк}} + u_{C_{еркз}}, u_{C_{ерк}} = Ae^{pt}, u_{C_{еркз}} = E,$$

$$u_C = Ae^{pt} + E, \quad u_C(0_+) = A + E, u_C(0_+) = u_C(0_-) = 0, A = -E,$$

$$u_C = E - Ee^{pt} = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad \tau = RC.$$

R,C тізбегін қысқа тұйықтау. Сыйымдылықтағы еріксіз кернеу және тізбектегі еріксіз ток нольге тең. Еркін құраушы токтар мен кернеуді табайық. Сыйымдылықтағы кернеу бағытын, ток бағытымен бағыттас етіп қабылдап аламыз. Еркін процеске Кирхгофтың екінші заңын пайдаланып теңдеу құрамыз: $Ri_{ерк} + u_{ерк} = 0$ Еркін кернеу үшін біртекті дифференциалдық

теңдеу құрамыз: $RC\frac{du_{C_{ерк}}}{dt} + u_{C_{ерк}} \quad 0.$ Соңғы теңдеудің шешімі: $u_{C_{ерк}} = u = Ae^{-\frac{t}{RC}}$

мұндағы. $u_{C_{ерк}}(0_+) = E$ Конденсатордағы кернеу: $u_C = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$

Ток: $i = C\frac{du}{dt} = -\frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$

Тармақталмаған R,L,C тізбегіндегі өтпелі процестер. Кедергі R, индуктивтік L, сыйымдылық C бір-бірімен бірізді жалғанған. Контур тұрақты кернеуге қосылады. Кирхгофтың екінші заңы бойынша коммутациядан кейін теңдеулер құрамыз:

$$u_R + u_L + u_C = E,$$

$$Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i dt = E, \quad i = C\frac{du_C}{dt}, \quad R\frac{di}{dt} + L\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{C}i = 0, \quad \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{di}{dt} + \frac{1}{LC}i = 0.$$

Бұл дифференциалдық теңдеу үшін сипаттамалық теңдеу құрамыз,
ол үшін $\frac{d}{dt} = p$ теңейміз $\quad p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC} = 0.$

Еркін процесінің сипаты тек R,L,C параметрлерін ғана тәуелді, яғни басқаша айтқанда сипаттамалық теңдеудің түбір түріне тәуелді. Сондықтан бұл түбірлер келесі теңдіктен анықталады:

$$p_{1,2} = -\frac{R}{L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}.$$

Еркін процес сипаты, түбір астындағы өрнек таңбасына тәуелді, ол түбірлер нақты немесе комплексті болуларына қарай анықталады.

Сипаттамалық теңдеу түбірінің келесі түрлері болады: 1) Нақты және әртүрлі, 2) нақты және бір-біріне тең, немесе еселі, 3) комплексті және түйіндес болып келеді. Бұл түбір түрлеріне байланысты еркін процесс түрлері де анықталады.

$\frac{R}{2L} = \alpha$ - өшу коэффициенті,

$\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$ - контурдың меншікті тербелістерінің бұрыштық жиілігі.

Сонда теңдеудің түрі:

$$p^2 + 2\alpha p + \omega_0^2 = 0,$$

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}.$$

1. $\alpha > \omega_0, \alpha^2 > \omega_0^2$ - осы шарт орындалса, тізбектегі процестер **апериодты деп** аталады;
2. $\alpha = \omega_0, \alpha^2 = \omega_0^2$ - осы шарт орындалса, тізбектегі процесс **апериодты шекті** деп аталады;

3. $\alpha < \omega_0, \alpha^2 < \omega_0^2$ - осы шарт орындалса, тізбектегі процесс **периодты не тербелмелі деп** аталады.

Апериодты процесс. Сипаттамалық теңдеудің түбірлері нақты әртүрлі және теріс таңбамен болады $p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$. Осы жағдайда еркін ток пен еркін кернеу мына түрде жазылады: $i_{ерк} = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$, мұндағы тұрақты A_1, A_2 коэффициенттер.

Бұл жағдайда $i_{еркз} = 0$. Орныққан режимдегі ток нольге тең, себебі конденсатор тұрақты токты өткізбейді. Демек, өтпелі ток:

$$i = i_{ерк} = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}, \frac{di}{dt} = A_1 p_1 e^{p_1 t} + A_2 p_2 e^{p_2 t}$$

Бастапқы шарттарды пайдаланамыз:

$$i(0_+) = 0 = A_1 + A_2,$$
$$i'(0_+) = A_1 p_1 + A_2 p_2$$

$$Ri(0_+) + L\frac{di(0_+)}{dt} + u_C(0_+) = E, i'(0_+) = E, \quad A_1 = A_2 = \frac{E}{L(p_1 - p_2)}.$$