

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

Когато устойчивостта и качеството не могат да бъдат осигурени чрез настройка на параметрите на системата, тогава се променя структурата и чрез добавяне на **коригиращи звена**.

“**Последователна**” е корекцията при която, коригиращото звено $W_k(p)$ е включено последователно към неизменната част $W_n(p)$ на системата.

Корекцията се нарича “**паралелна**”, когато коригиращото звено е включено като отрицателна обратна връзка към едно или няколко звена от неизменната част на отворената система.

Ще бъде разгледан методът на Честнат и Майер за синтез на коригиращи звена. При него чрез коригиращо звено се осигурява желана ЛАЧХ на отворената система, а оттам и желано качество на затворената система.

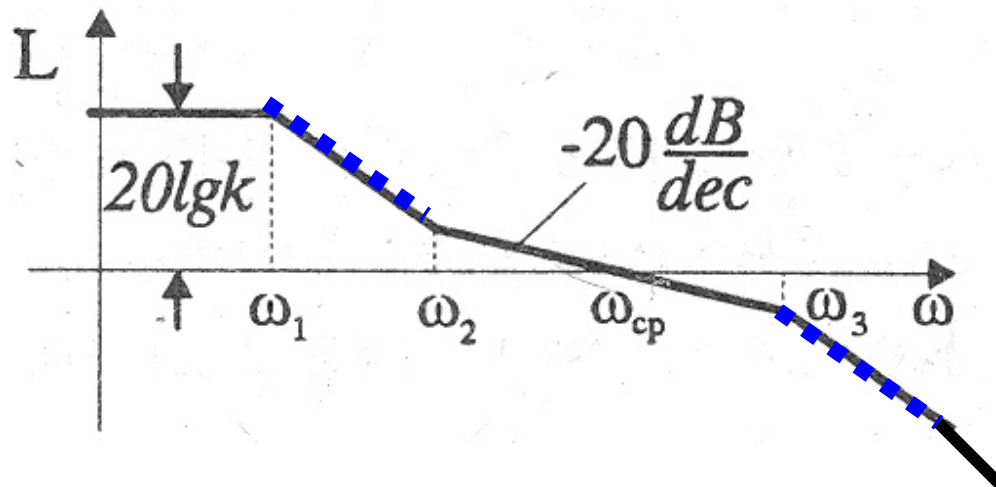
26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

1. Желана ЛАЧХ – типова ЛАЧХ с 3 участъка (НЧ, СЧ и ВЧ)

- **нискочестотен диапазон** – избира се по необходимата точност в установен режим (ред на астатизъм, коефициент на пропорционалност);
- **средночестотен диапазон** – избира се по зададени показатели на качеството на ПП (σ, t_p) .

Пререгулирането σ не надвишава $20 \div 30\%$, ако се изпълнява условието $\omega_3 / \omega_2 \geq 10$.

Тогава времетраенето на ПП е $t_p \approx \frac{3\pi}{\omega_{cp}}$.



ω_2 и ω_3 са ляв и десен край на НЧ диапазон;

ω_{cp} - срязваща честота.

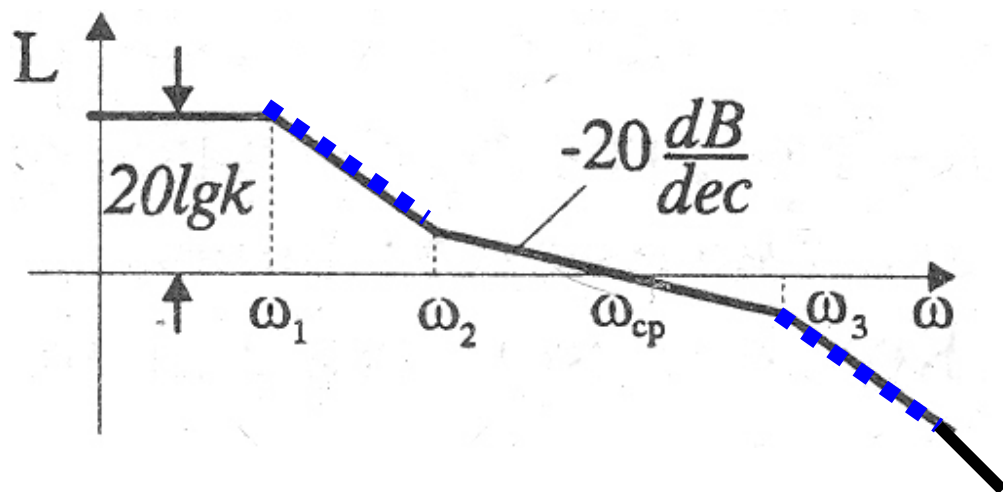
26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

Правата ($\overline{\omega_2 \omega_{cp} \omega_3}$) през ω_{cp} е с наклон $\frac{\Delta L}{\Delta \omega} = -20 \frac{dB}{dec}$.

Отсечката, която свързва $L(\omega_2)$ с НЧ диапазон и $L(\omega_3)$ с ВЧ диапазон може да е с наклон:

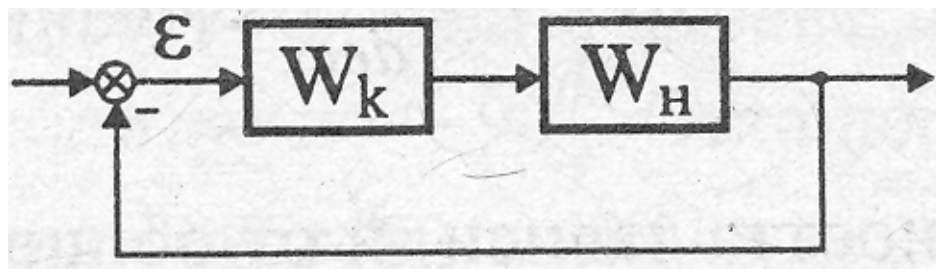
$$-20; -40; -60; -80 \frac{dB}{dec}.$$

- **високочестотен диапазон** – избира се от съображение за простота и физическа реализуемост на $W_k(p)$.



Той не влияе върху показателите на качеството на ПП, както и върху точността в установен режим.

2. Последователна корекция



ПФ на отворената система е:

$$W_{\text{ж}}(p) = W_{\text{н}}(p)W_{\text{к}}(p).$$

ЛАЧХ на отворената система е: $L_{\text{ж}}(\omega) = L_{\text{н}}(\omega) + L_{\text{к}}(\omega)$,

откъдето по известната $L_{\text{н}}$ и избраната $L_{\text{ж}}$ се определя $L_{\text{к}}$:

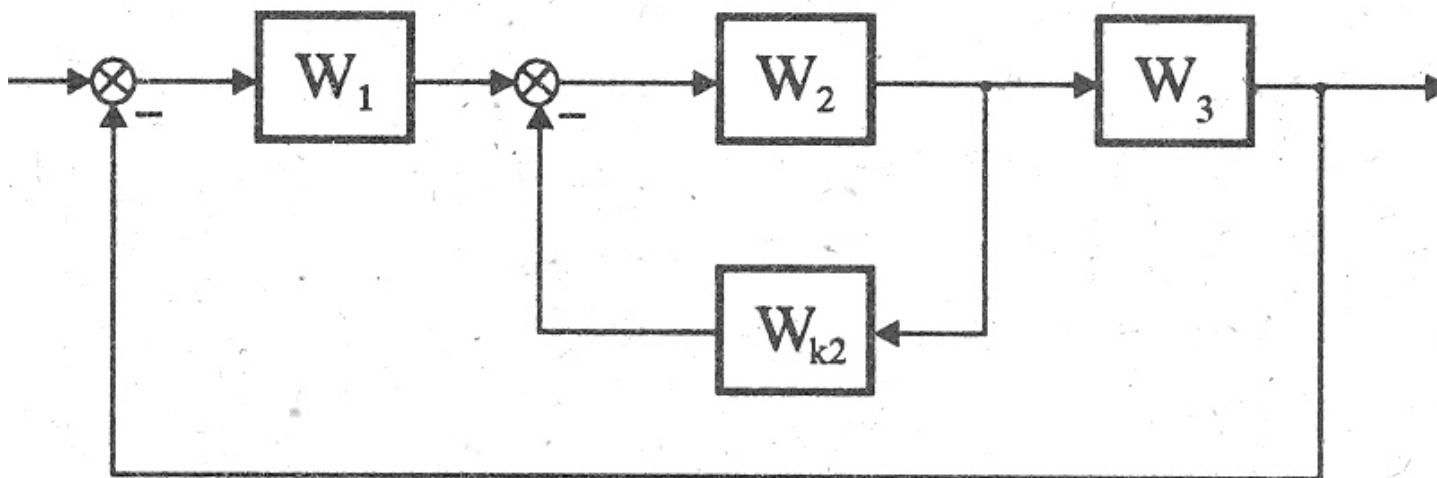
$$L_{\text{к}}(\omega) = L_{\text{ж}}(\omega) - L_{\text{н}}(\omega)$$

По получената ЛАЧХ $L_{\text{к}}$ се избира коригиращо звено $W_{\text{к}}$.

Алгоритъм:

1. Построява се $L_{\text{н}}$;
2. Построява се $L_{\text{ж}}$;
3. Вади се $L_{\text{ж}} - L_{\text{н}}$;
4. Определя се $L_{\text{к}} \rightarrow W_{\text{к}}$.

3. Паралелна корекция



ПФ на неизменната част е: $W_H(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)$

ПФ на звеното, обхванато от коригиращата ООВ е: $W_{o\phi}(p); \quad W_{o\phi}(p) = W_2(p)$

ПФ на желаната отворена САУ е:

$$W_{\text{ж}}(p) = W_1(p) \frac{W_{o\phi}(p)}{1 + W_{o\phi}(p)W_{k2}(p)} W_3(p) = \frac{W_H(p)}{1 + W_{o\phi}(p)W_{k2}(p)}$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

ЧПФ на желаната отворена САУ е:

$$W_{\text{ж}}(j\omega) = \frac{W_{\text{н}}(j\omega)}{1 + W_{\text{об}}(j\omega)W_{\text{к2}}(j\omega)}$$

Ако $W_{\text{об}}(p)$ има голям предавателен коефициент, то интересен е честотният диапазон в който:

$$(*) \quad |W_{\text{об}}(j\omega)W_{\text{к2}}(j\omega)| \gg 1, \quad \Rightarrow \quad W_{\text{ж}}(j\omega) \approx \frac{W_{\text{н}}(j\omega)}{W_{\text{об}}(j\omega)W_{\text{к2}}(j\omega)},$$

$$\Rightarrow \quad L_{\text{ж}} = L_{\text{н}} - L_{\text{об}} - L_{\text{к2}},$$

$$L_{\text{об}} + L_{\text{к2}} = L_{\text{н}} - L_{\text{ж}} = -L_{\text{к}},$$

$$L_{\text{к2}} = L_{\text{н}} - L_{\text{ж}} - L_{\text{об}} = -L_{\text{к}} - L_{\text{об}}.$$

Паралелната корекция е ефективна само в честотния диапазон $(*)$.

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

Паралелната корекция е ефективна само в честотния диапазон, в който се изпълнява (*). В обратния случай, когато:

$$(**) \quad |W_{об}(j\omega)W_{к2}(j\omega)| \ll 1, \quad \text{то} \quad W_{ж}(j\omega) \approx W_{н}(j\omega).$$

Корекцията не променя честотните характеристики на некоригираната система в диапазона, в който се изпълнява условието (**) или еквивалентното условие:

$$L_{об} + L_{к2} \ll 0.$$

4. Пример

(а) Последователна корекция

Отворената некоригирана система е с ПФ:

$$W_{\text{н}}(p) = \frac{5000}{p(0,01p + 1)(0,001p + 1)}.$$

Да се избере последователно коригиращо звено, което при запазване на астатизма на системата и при общ коефициент на пропорционалност $k = 5000 \text{ s}^{-1}$ да осигури показатели на качеството на ПП:

$$\sigma < 30 \% \quad \text{и} \quad t_p < 0,05 \text{ s}.$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

Решение:

Корекцията е необходима, дори и само защото затворената система е неустойчива.

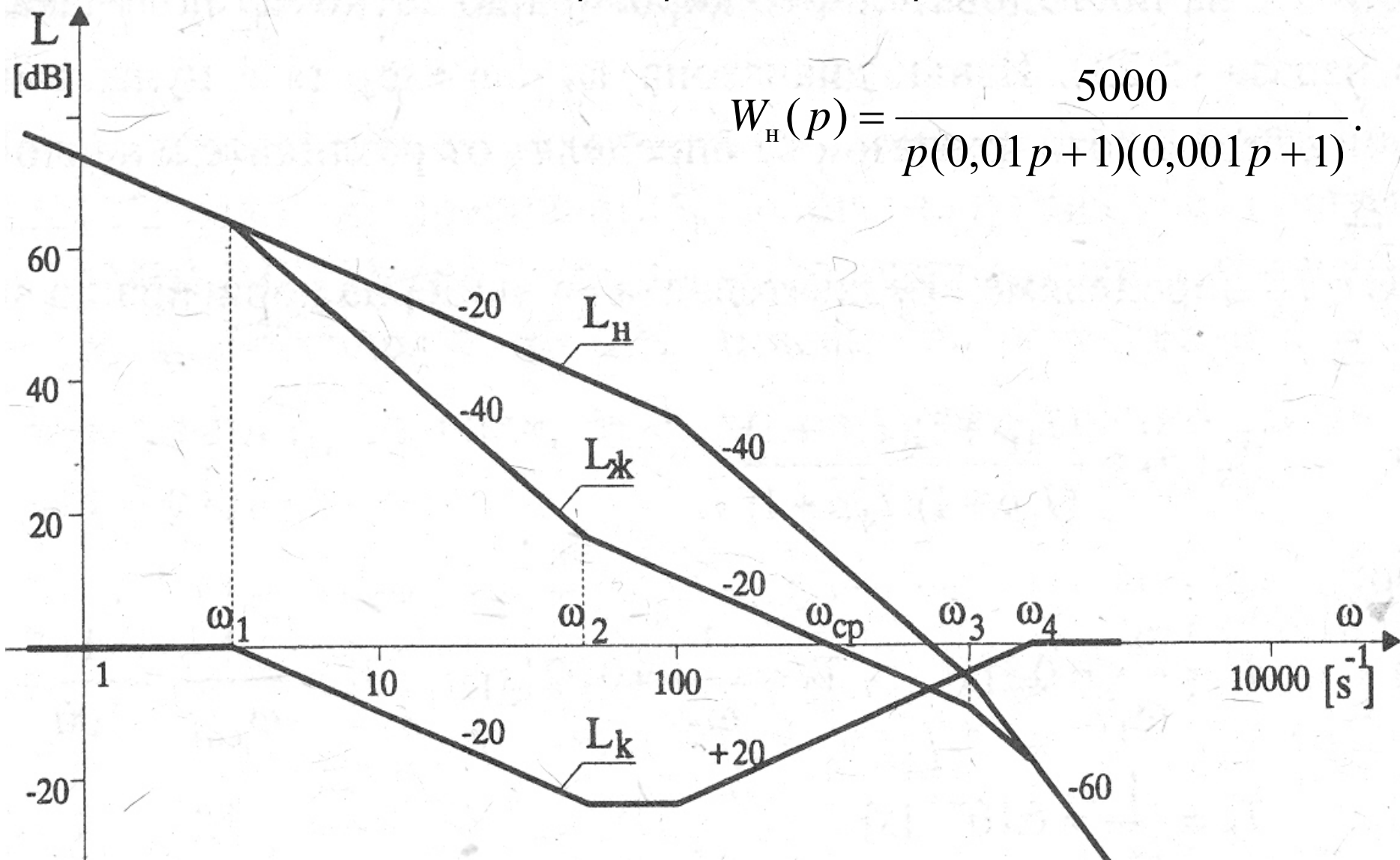
За построяване на асимптотичната ЛАЧХ на некоригираната отворена система се изчисляват:

$$\tau. (\omega = 1 \text{ s}^{-1}; L = 20 \lg k), \Rightarrow \tau. (\omega = 1 \text{ s}^{-1}; L = 20 \lg 5000 = 74 \text{ dB})$$

$$\omega_{\text{сп1}} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ s}^{-1}; \lg \omega_{\text{сп1}} = \lg 100 = 2 \text{ dec};$$

$$\omega_{\text{сп2}} = \frac{1}{0,001} = 1000 \text{ s}^{-1}; \lg \omega_{\text{сп1}} = \lg 1000 = 3 \text{ dec};$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ



$$W_H(p) = \frac{5000}{p(0,01p + 1)(0,001p + 1)}.$$

т. ($\omega = 1 \text{ s}^{-1}$; $L = 74 \text{ dB}$); $\omega_{\text{сн1}} = 100 \text{ s}^{-1}$; $\omega_{\text{сн2}} = 1000 \text{ s}^{-1}$.

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

Изборът на желаната ЛАЧХ започва с определяне на ω_{cp} :

$$\omega_{\text{cp}} \approx \frac{3\pi}{t_p} = \frac{3\pi}{0,05} = 188,4 \text{ s}^{-1}; \quad t_p < 0,05 \text{ s}, \quad \Rightarrow \quad \omega_{\text{cp}} > 188,4 \text{ s}^{-1}.$$

Избира се:

$$\omega_{\text{cp}} = 300 \text{ s}^{-1}; \quad \lg \omega_{\text{cp}} = \lg 300 = 2,47 \text{ dec} \quad (t_p = \frac{3\pi}{300} = 0,03 \text{ s}).$$

През ω_{cp} се прекарва права с наклон -20 dB/dec .

Избира се:

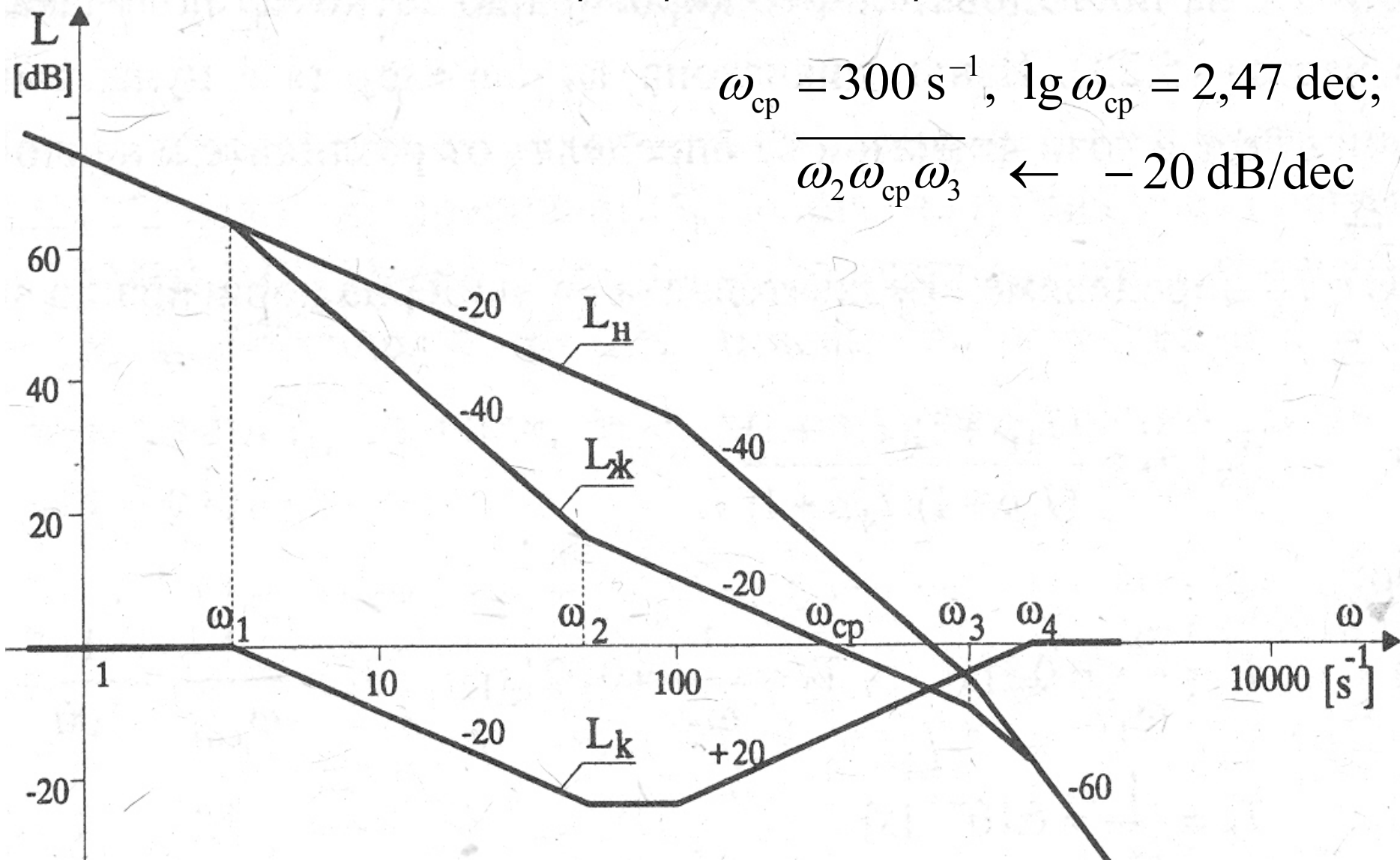
$$\omega_2 = 50 \text{ s}^{-1} \quad (\lg \omega_2 = \lg 50 = 1,7 \text{ dec}),$$

$$\omega_3 = 1000 \text{ s}^{-1} \quad (\lg \omega_3 = \lg 1000 = 3 \text{ dec}),$$

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{1000}{50} = 20, \quad \text{т.е., изпълнено е условието} \quad \omega_3 / \omega_2 \geq 10.$$

Влява и вдясно от диапазона $50 < \omega < 1000$, $L_{\text{ж}}$ се избира с наклони -40 dB/dec до нейното пресичане с $L_{\text{н}}$, след което двете ЛАЧХ съвпадат.

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ



$$\omega_2 = 50 \text{ s}^{-1}, \lg \omega_2 = 1,7 \text{ dec};$$

$$\omega_3 = 1000 \text{ s}^{-1}, \lg \omega_3 = 3 \text{ dec};$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

ЛАЧХ на последователното коригиращо звено L_K се получава като разлика на $L_{\text{ж}}$ и $L_{\text{н}}$: $L_K = L_{\text{ж}} - L_{\text{н}}$.

От L_K се определя ПФ на коригиращото звено W_K :

$$W_K(p) = k_K \frac{(T_2^K p + 1)(T_3^K p + 1)}{(T_1^K p + 1)(T_4^K p + 1)},$$

където от $\text{т.}(\omega = 1 \text{ s}^{-1}; L = 20 \lg k_K) = \text{т.}(\omega = 1 \text{ s}^{-1}; L = 0 \text{ dB})$,

$$\Rightarrow k_K = 1.$$

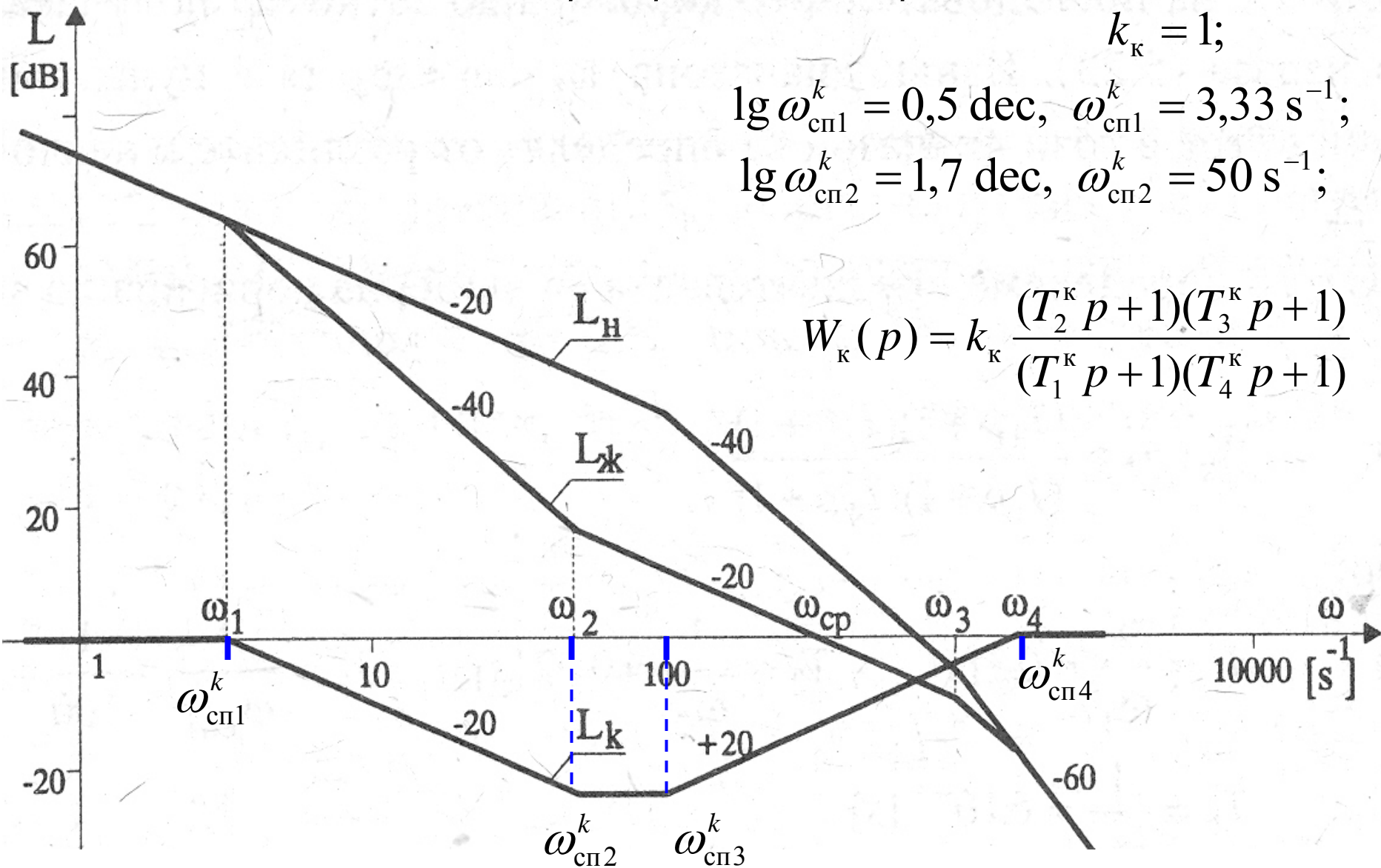
$$\lg \omega_{\text{сп1}}^k = 0,5 \text{ dec}; \quad \omega_{\text{сп1}}^k = 10^{0,5} = 3,33 \text{ s}^{-1}; \quad T_1^k = \frac{1}{3,33} = 0,3 \text{ s};$$

$$\lg \omega_{\text{сп2}}^k = 1,7 \text{ dec}; \quad \omega_{\text{сп2}}^k = 10^{1,7} = 50 \text{ s}^{-1}; \quad T_2^k = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s};$$

$$\lg \omega_{\text{сп3}}^k = 2 \text{ dec}; \quad \omega_{\text{сп3}}^k = 10^2 = 100 \text{ s}^{-1}; \quad T_3^k = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ s};$$

$$\lg \omega_{\text{сп4}}^k = 3,25 \text{ dec}; \quad \omega_{\text{сп4}}^k = 10^{3,25} = 1800 \text{ s}^{-1}; \quad T_4^k = \frac{1}{1800} \approx 6 \cdot 10^{-4} \text{ s}.$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ



(б) Паралелна корекция

Да се осигурят зададените показатели на качеството чрез коригиращо звено, включено в отрицателна обратна връзка към звено от неизменната част с ПФ:

$$W_{об}(p) = \frac{100}{0,01p + 1}.$$

Решение:

ЛАЧХ на паралелната корекция се получава от изведените вече зависимости:

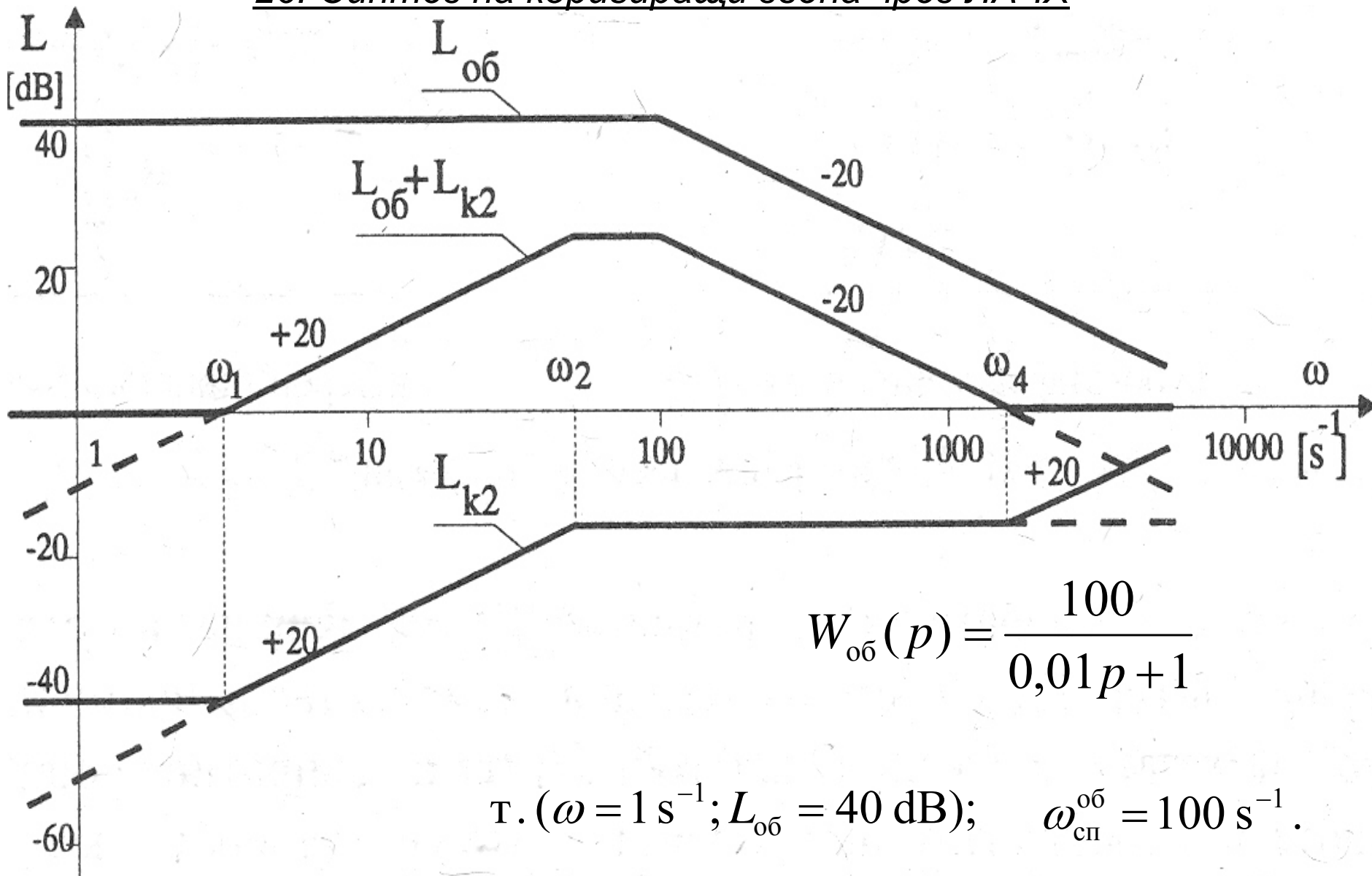
$$L_{об} + L_{к2} = L_{н} - L_{ж} = -L_{к}, \quad \Rightarrow \quad L_{к2} = -L_{к} - L_{об}.$$

За построяване на ЛАЧХ на обхванатото звено:

$$\text{т.} (\omega = 1 \text{ s}^{-1}; L = 20 \lg k_{об}): \quad \text{т.} (\omega = 1 \text{ s}^{-1}; L = 20 \lg 100 = 40 \text{ dB});$$

$$\omega_{сп}^{об} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ s}^{-1}; \quad \lg \omega_{сп}^{об} = \lg 100 = 2 \text{ dec.}$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

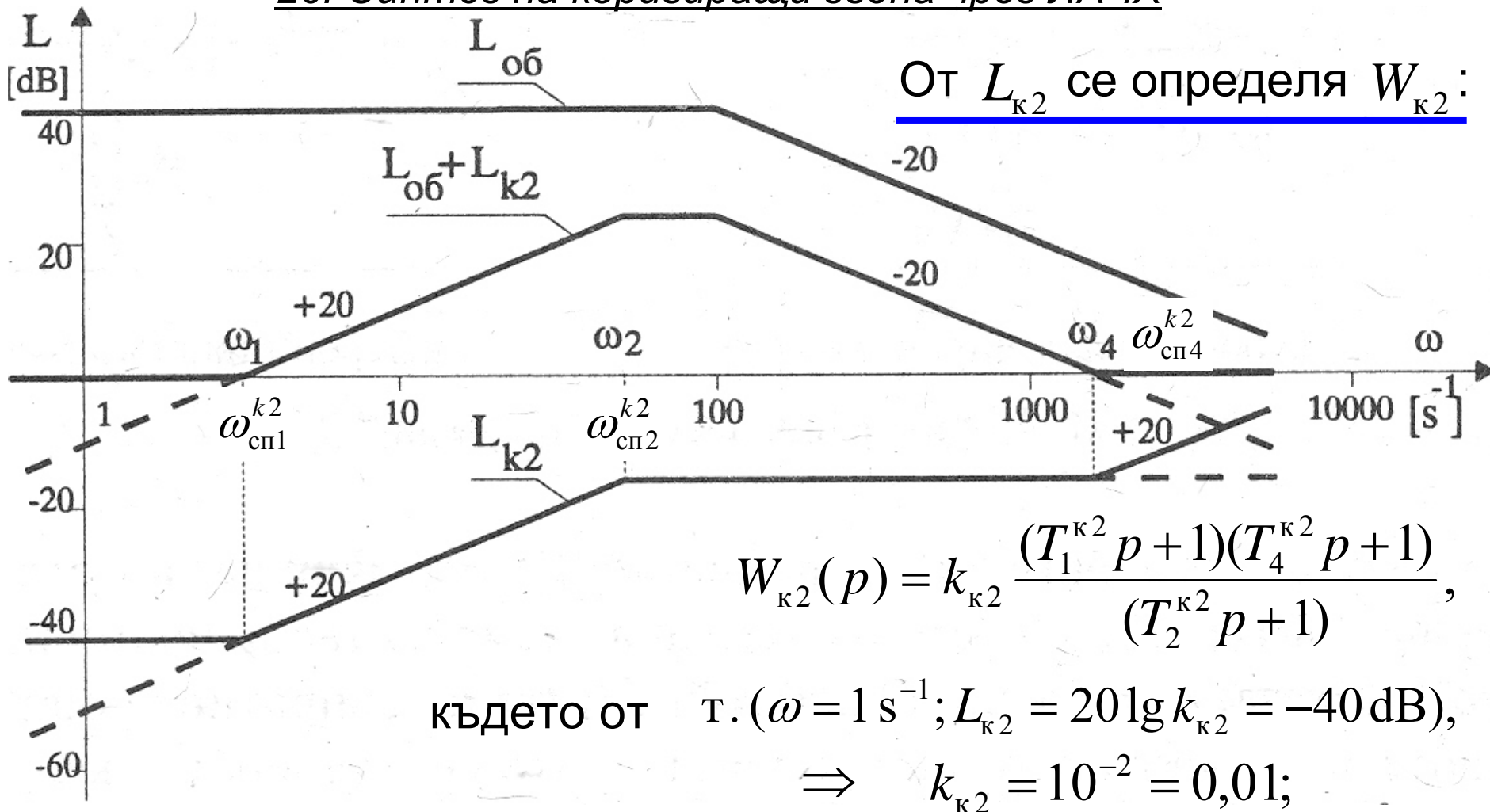


$$W_{об}(p) = \frac{100}{0,01p + 1}$$

$$т. (\omega = 1 \text{ s}^{-1}; L_{об} = 40 \text{ dB}); \quad \omega_{сп}^{об} = 100 \text{ s}^{-1}.$$

$$L_{к2} = -L_{к} - L_{об}$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ



$$W_{k2}(p) = k_{k2} \frac{(T_1^{k2} p + 1)(T_4^{k2} p + 1)}{(T_2^{k2} p + 1)},$$

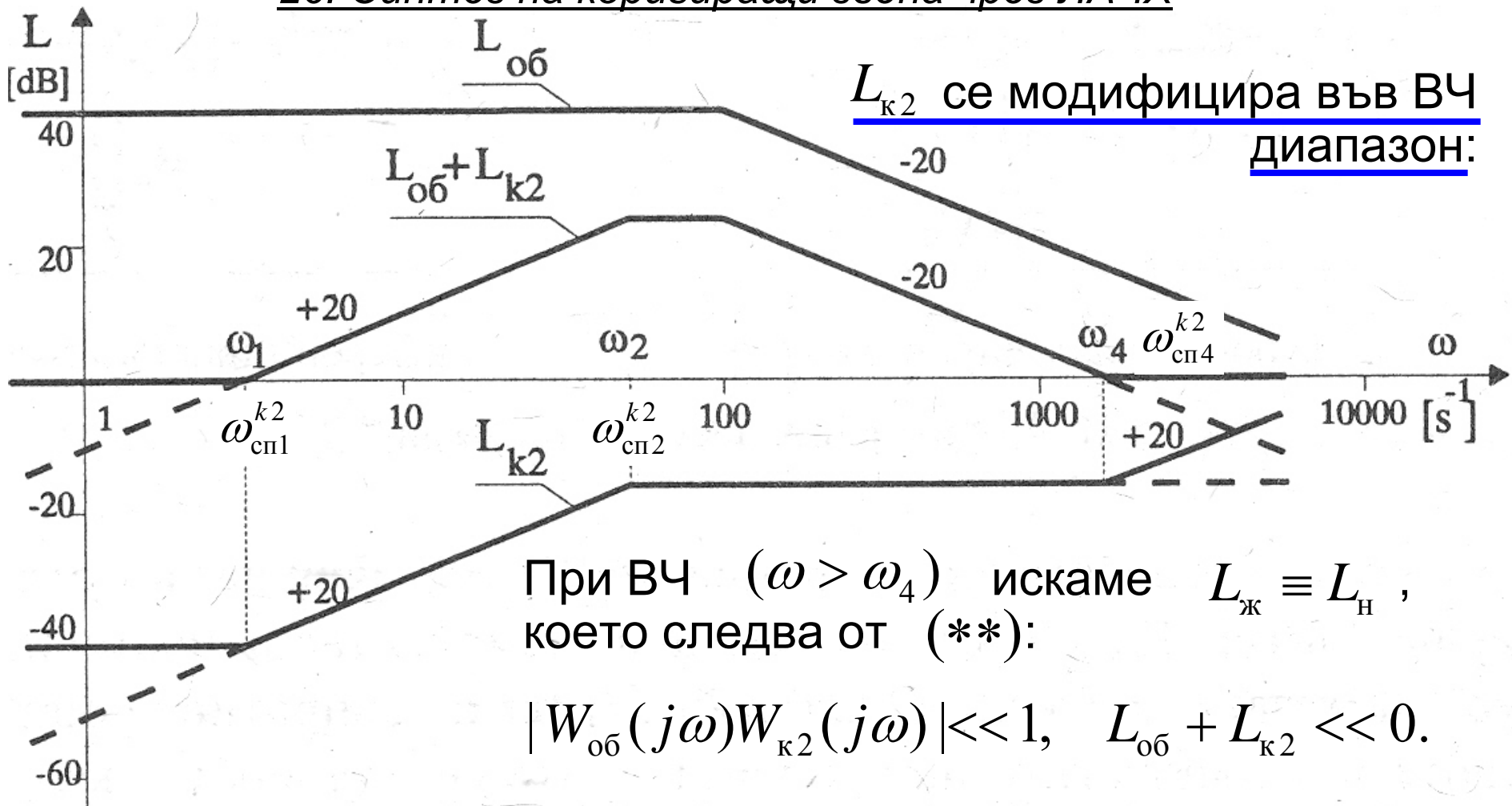
$$\omega_{\text{сп1}}^{k2} = \omega_{\text{сп1}}^k; T_1^{k2} = T_1^k = 0,3 \text{ s};$$

$$\omega_{\text{сп2}}^{k2} = \omega_{\text{сп2}}^k; T_2^{k2} = T_2^k = 0,02 \text{ s};$$

$$\omega_{\text{сп4}}^{k2} = \omega_{\text{сп4}}^k; T_4^{k2} = T_4^k = 6 \cdot 10^{-4} \text{ s}.$$

W_{k2} е физически нереализуема, тъй като степента на полинома в числителя е по-висока от тази на знаменателя.

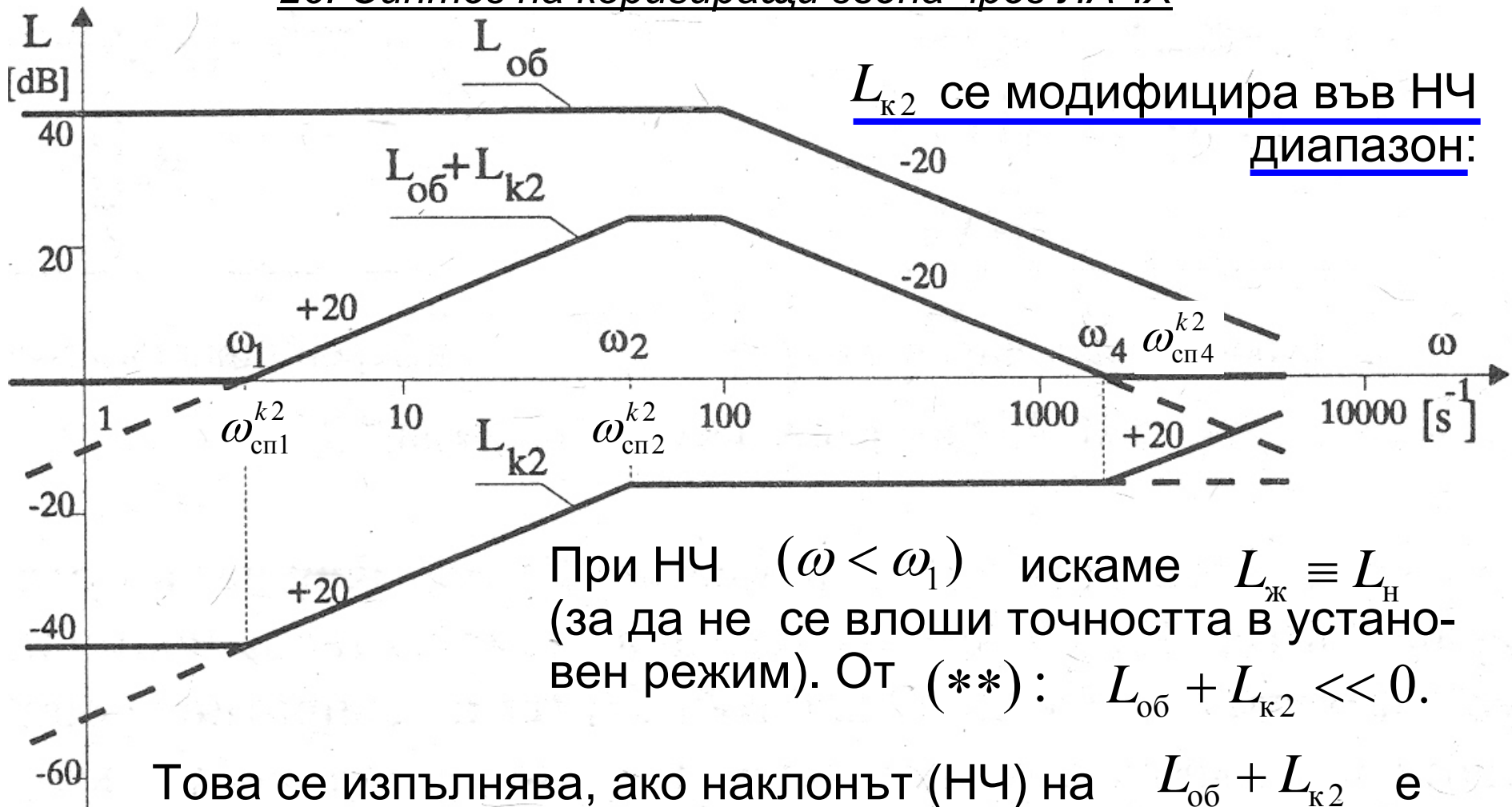
26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ



Това се изпълнява, ако наклонът (ВЧ) на $L_{об} + L_{к2}$ е -20 dB/dec (пунктир), \Rightarrow наклонът на $L_{к2}$ е 0 .

$$W_{к2}(p) = k_{к2} \frac{(T_1^{к2} p + 1)}{(T_2^{к2} p + 1)} \quad (\text{физически реализуема}).$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ



Това се изпълнява, ако наклонът (НЧ) на $L_{\text{об}} + L_{\text{к2}}$ е $+20 \text{ dB/dec}$, (пунктир), \Rightarrow наклонът на $L_{\text{к2}}$ е $+20 \text{ dB/dec}$.

$$W_{\text{к2}}(p) = \frac{k_{\text{об}} p}{(T_2^{\text{к2}} p + 1)};$$

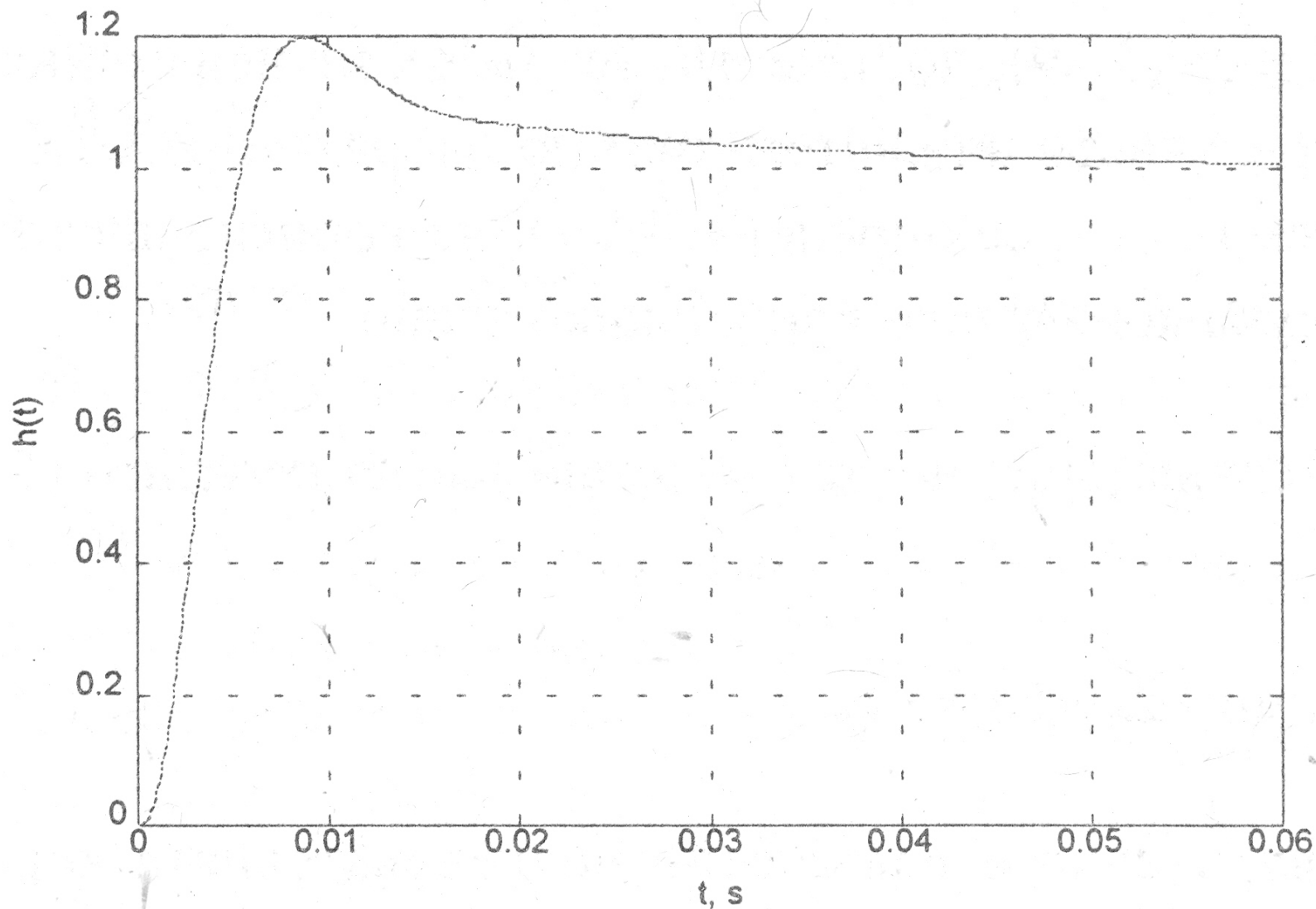
(физически реализуема)

т. ($\omega = 1 \text{ s}^{-1}$; $L_{\text{к2}} = 20 \lg k_{\text{об}} = -50 \text{ dB}$),

$$\Rightarrow k_{\text{об}} = 10^{-2,5} = 0,003.$$

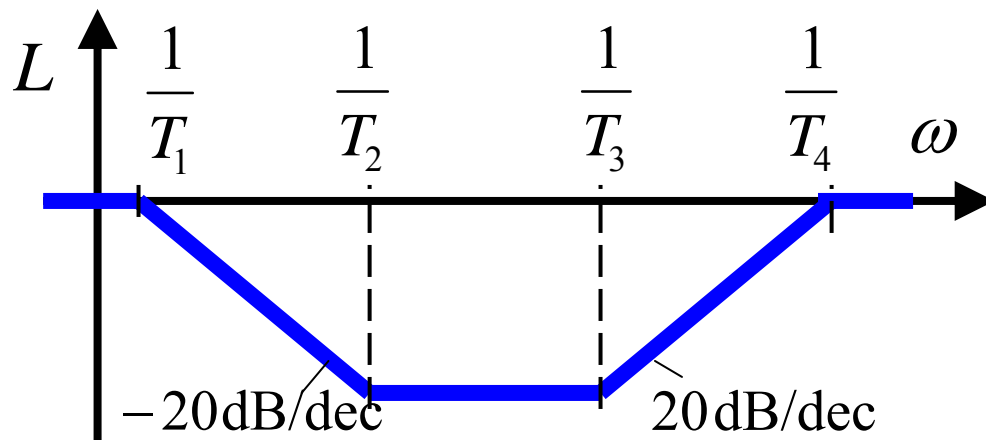
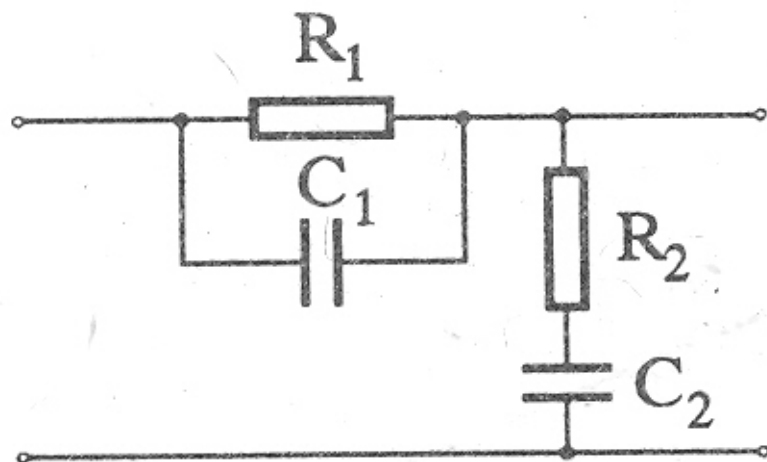
26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

И по двете корекции (последователната и паралелната) ПП е еднакъв. Той е апериодичен с показатели на качеството: пререгулиране $\sigma = 20\%$ и време на регулиране $t_p = 0,03\text{ s}$.



(в) Избор на пасивни RC вериги

- За L_k се избира интегро-диференциращ контур:



$$T_1 > T_2 > T_3 > T_4;$$

$$W_k(p) = \frac{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_4 p + 1)}.$$

$$R_1 C_1 = T_1$$

$$R_2 C_2 = T_2$$

$$R_1 C_2 = T_1 + T_4 - T_2 - T_3$$

Избира се

$$C_1 = 1 \mu\text{F}.$$

Изчисляват се

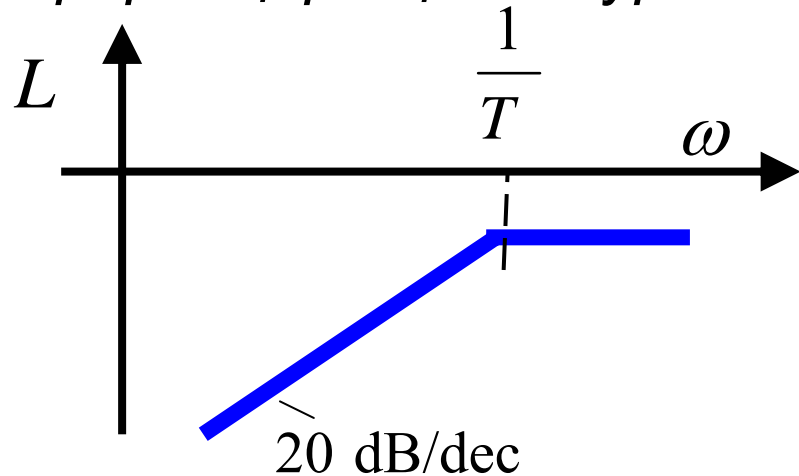
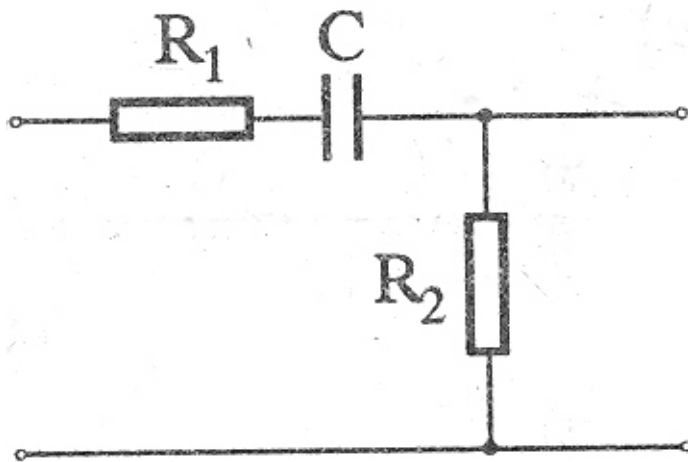
$$R_1 = 300 \text{ k}\Omega,$$

$$R_2 = 22 \text{ k}\Omega,$$

$$C_2 = 0,9 \mu\text{F}.$$

26. Синтез на коригиращи звена чрез ЛАЧХ

- За $L_{к2}$ се избира диференциращ контур:



$$W_{к2}(p) = \frac{k_{об} p}{(Tp + 1)}$$

$$\left| \begin{array}{l} R_1 C = k_{об} \\ (R_1 + R_2) C = T \end{array} \right|$$

Избира се $C = 1 \mu\text{F}$.
Изчисляват се $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$,
 $R_2 = 17 \text{ k}\Omega$.

С пасивни RC вериги могат да се реализират коригиращи звена, чиито ЛАЧХ имат само отрицателни стойности ($L_k < 0$; $L_{к2} < 0$). В противен случай се добавят и усилватели.