

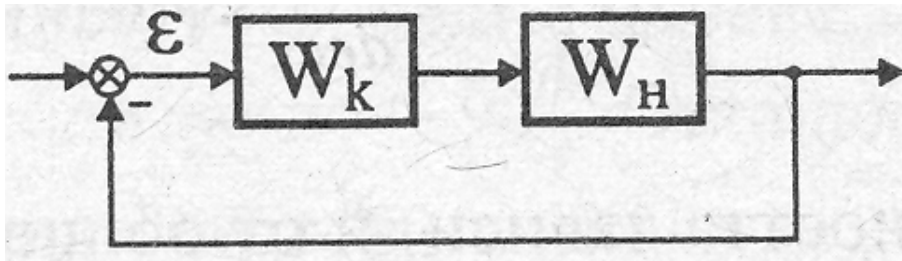
24. Последователна корекция на САУ

В САУ, която се състои само от функционално необходими елементи (служещи за реализация на принципа на управление), макар че се намаляват грешките в сравнение със случая без управление, обикновено не се достигат желаните показатели на качеството. Това се обяснява с противоречивия характер на изискванията (например за точност и устойчивост).

Когато устойчивостта и качеството не могат да бъдат осигурени чрез подбор на параметрите на функционално необходимите елементи, задачата се решава чрез добавяне на **коригиращи звена**.

1. Последователна корекция – структурна схема.

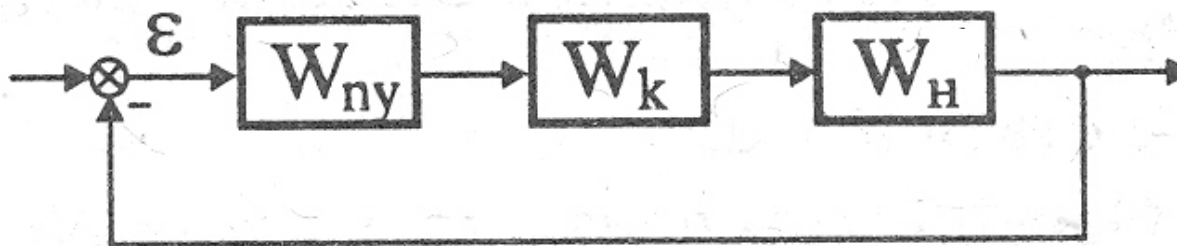
Корекцията се нарича последователна, когато коригиращото звено $W_k(p)$ е включено последователно към неизменната част $W_H(p)$ на системата:



ПФ на отворената система е:

$$W(p) = W_k(p)W_H(p)$$

Тъй като сигналът на разсъгласуване ε е слаб, а коригиращото звено, което често е пасивна РС верига, отслабваща още повече сигнала, то обикновено се въвежда предусилвател $W_{ny}(p)$.



Видът на общата предавателна функция $W(p)$ не се променя.

2. Интегрална корекция.

Въвеждането на интегриращо звено последователно на неизменната част на статическа САУ:

- прави системата астатическа;
- **подобрява точността** в установен режим;
- **влошава качеството на ПП**, като увеличава t_p
- може да **влоши устойчивостта** – наклонът при $\omega_{\text{ср}}$ става -40 dB/dec , $(\varphi(\omega_{\text{ср}}) \approx -180^\circ)$, \Rightarrow САУ е или с малък запас, или неустойчива. Колебателността на ПП се увеличава, времетраенето на ПП също:



$$(t_p = \frac{\beta\pi}{\omega_{\text{ср}}}, \quad \beta \in [1 \div 4])$$

$$W(p) = \frac{k_o}{(T_{o1}p + 1)(T_{o2}p + 1)}$$

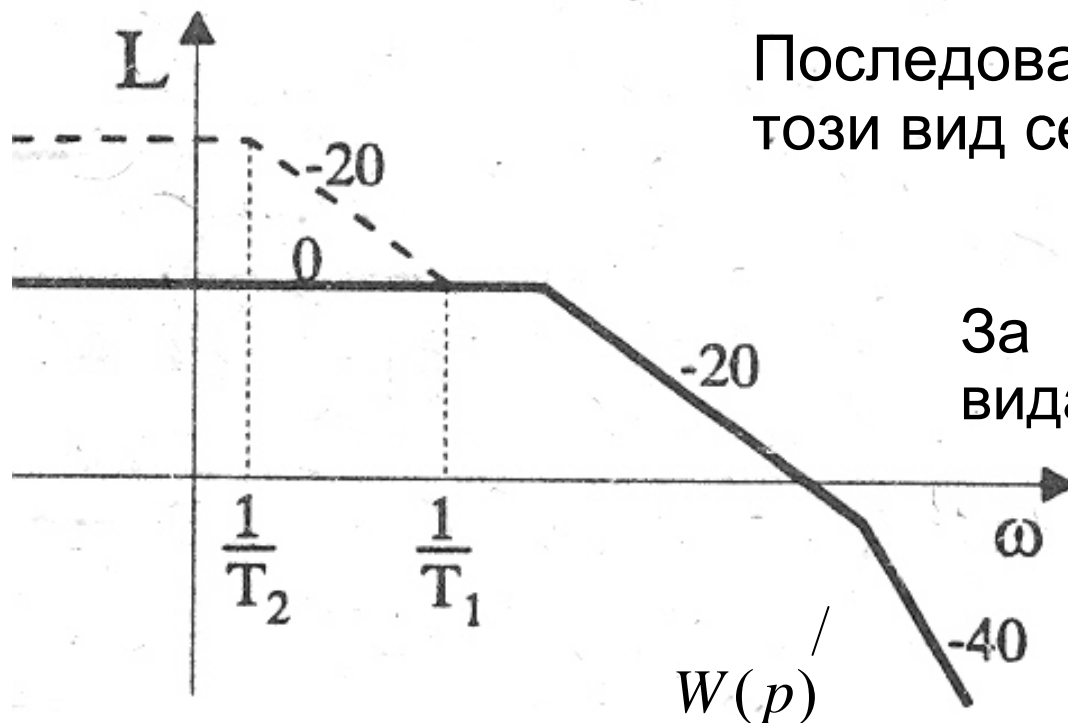
$$W^*(p) = \frac{k_o}{p(T_{o1}p + 1)(T_{o2}p + 1)}$$

24. Последователна корекция на САУ

Ако ПП на некоригираната САУ е задоволителен и е желателно да се подобри само точността в установен режим, трябва **да се коригира (увеличи) ЛАЧХ само в НЧ диапазон**. Използва се коригиращо звено от вида:

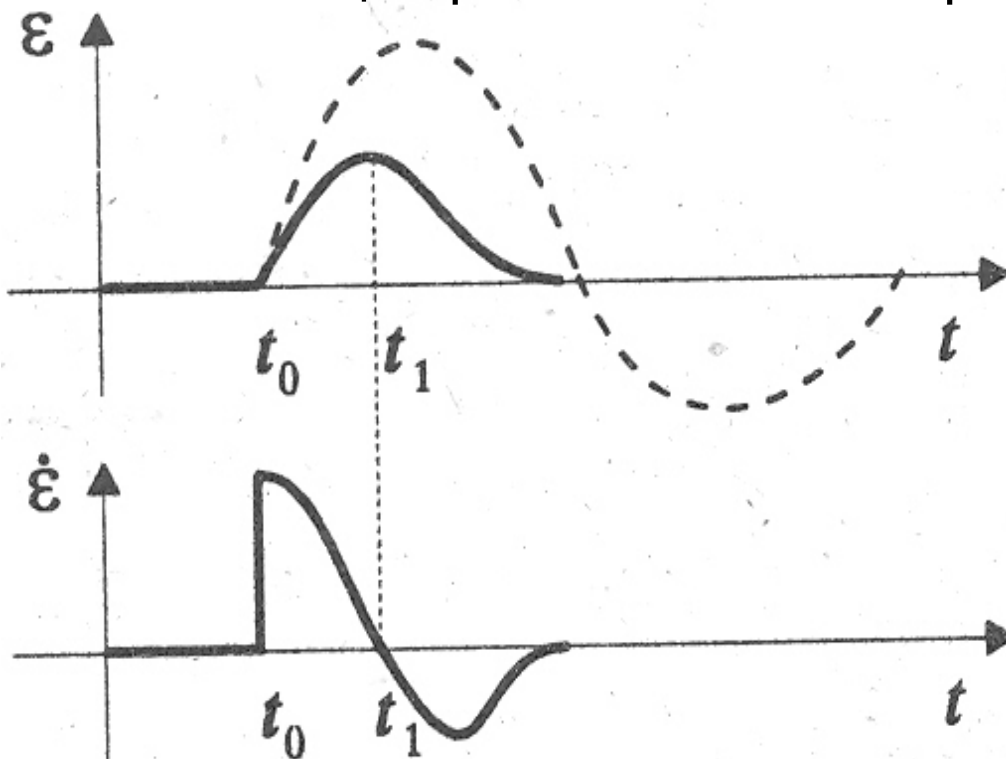
$$W_k(p) = k \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}; \quad T_2 > T_1; \quad k > 1.$$

Последователна корекция от този вид се нарича **интегрална**.



За $k = T_2 / T_1$ ЛАЧХ има вида, показан с пунктир.

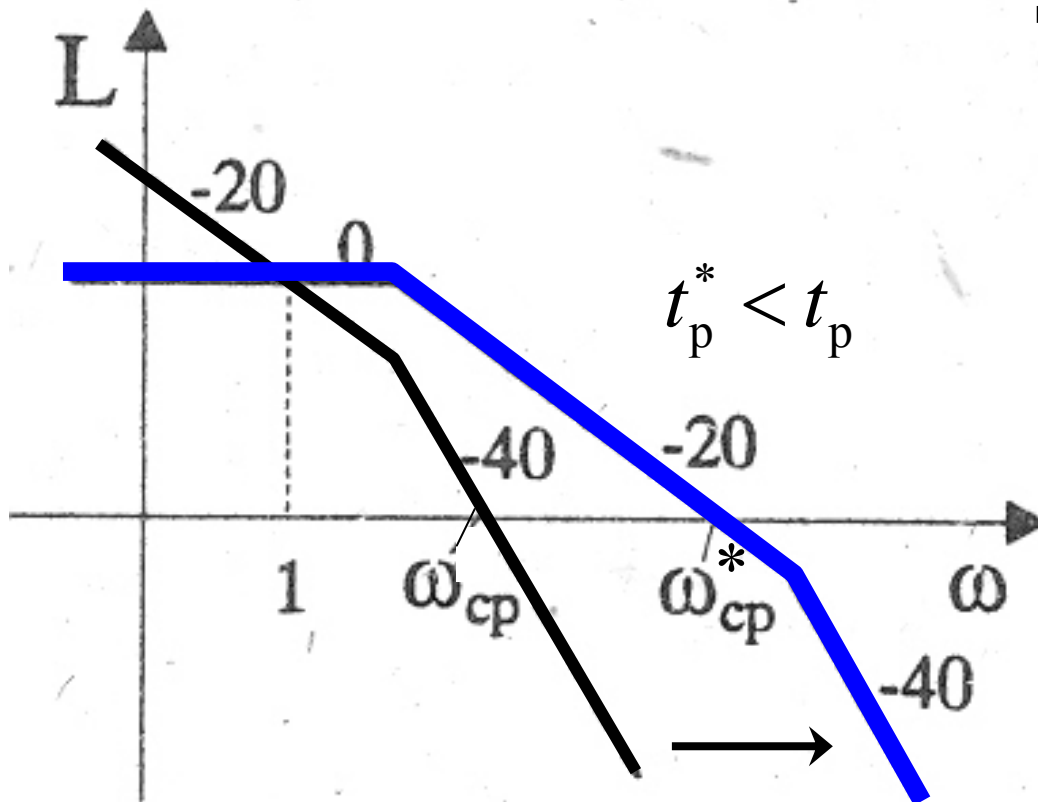
- 3. Диференциална корекция** - въвежда се производната на грешката $\dot{\varepsilon}(t)$ в управляващия закон. Когато грешката $\varepsilon(t)$ в момента t_0 започва да нараства (кривата с пунктир), в началото тя ще има малки стойности. Ако управлението е пропорционално само на $\varepsilon(t)$, то също ще бъде незначително в началото и реакцията на САУ ще закъснее. Ако в управлението има член, пропорционален на $\dot{\varepsilon}(t)$, той ще има големи стойности още при започване на промяната. Съответната съставка



в управлението ще предизвика промяна в изхода. В резултат $\varepsilon(t)$ няма да нарастне много. Ако $\varepsilon(t)$ намалява (след t_1), то $\dot{\varepsilon}(t) < 0$ и нейната съставка в управлението ще противодейства на бързото намаляване на $\varepsilon(t)$,
 \Rightarrow може да предотврати евентуални колебания.

24. Последователна корекция на САУ

- (а) Диференциращото звено не трябва да се използва самостоятелно за формиране на управлението (**Д** – регулатор) или като коригиращо звено, включено последователно на неизменната част. То намалява усилването при ниските честоти, \Rightarrow **влошава точността** в установен режим.

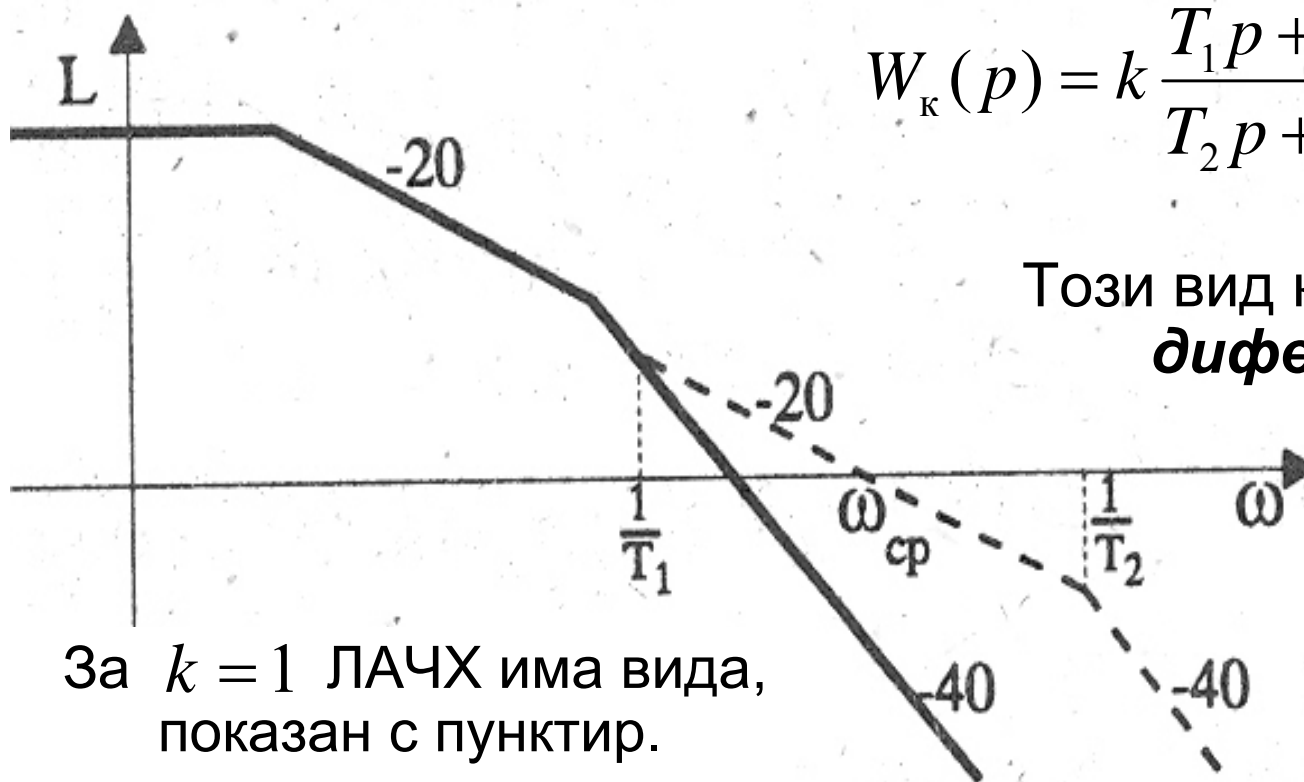


Д - звеното завърта ЛАЧХ около точката $L(1)$ като променя наклоните за всички честоти с $+20 \text{ dB/dec}$. ω_{cp} се измества надясно, \Rightarrow **намалява времетраенето** на ПП - $t_p^* < t_p$;

Д - звеното намалява усилването при ниските честоти, т.е., **влошава точността** в установен режим.

24. Последователна корекция на САУ

- (б) Диференциращото в комбинация с пропорционално звено, т.е., като форсиращо звено, се използва за последователна корекция (аналогия с **ПД** – регулатор).
- (в) Ако точността на САУ е задоволителна, но е нужно да се подобри ПП, трябва **да се коригира ЛАЧХ в СЧ диапазон**. Използва се **реален ПД** – регулатор с апериодично баластно звено:



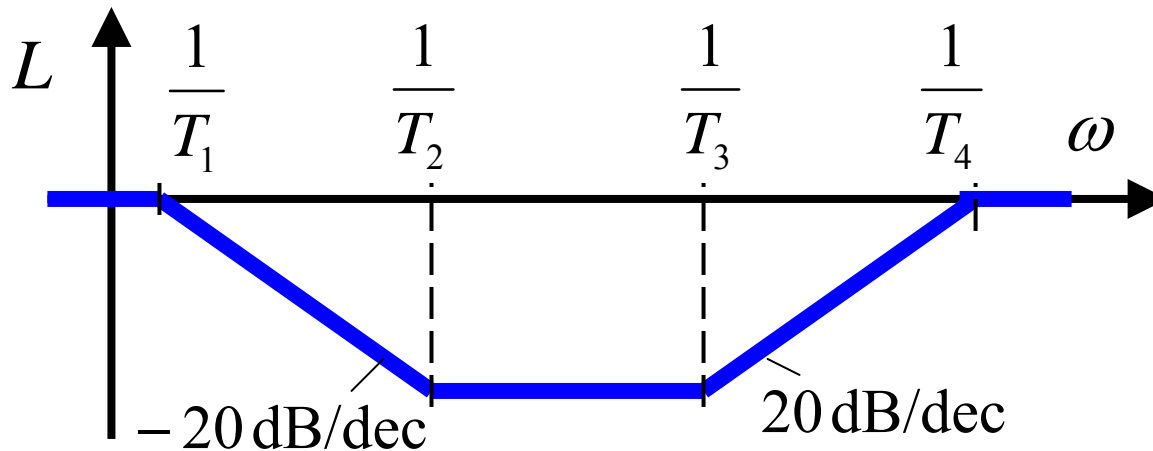
$$W_K(p) = k \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}; \quad T_1 > T_2.$$

Този вид корекция се нарича **диференциална**.

Недостатък:
Пропуска ВЧ
входни шумове

4. **Интегро-диференциална корекция** – комбинация от разгледаните два вида корекции. Реализира се чрез последователно коригиращо звено с ПФ:

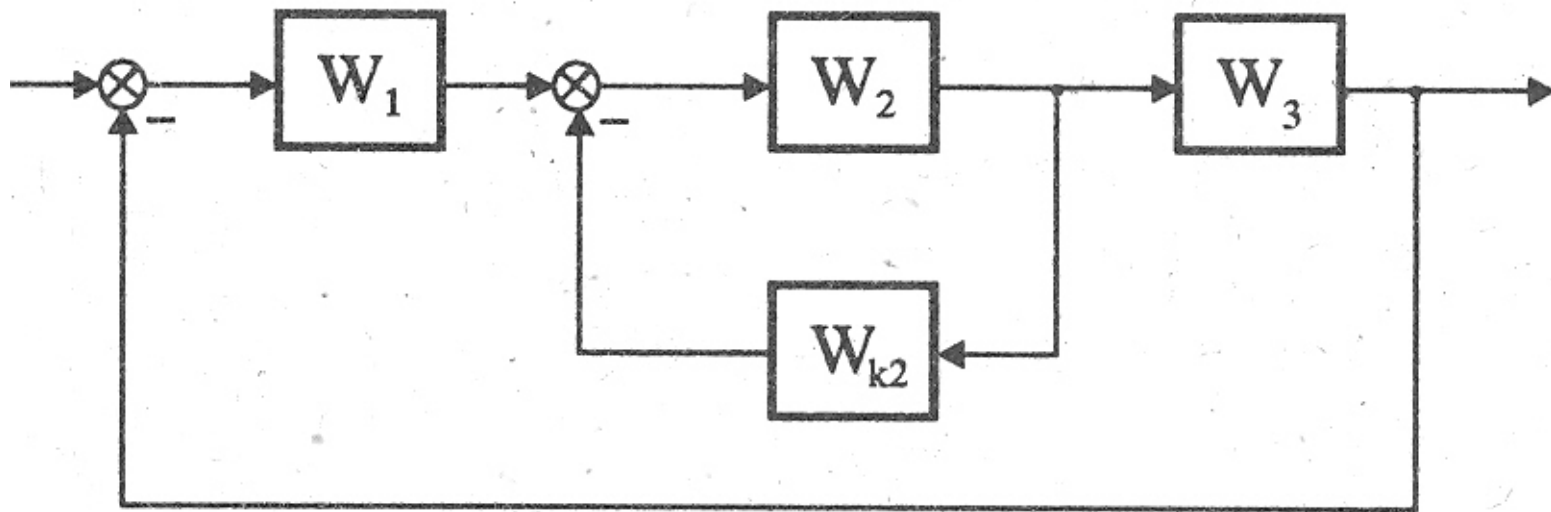
$$W_k(p) = \frac{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_4 p + 1)}; \quad T_1 > T_2 > T_3 > T_4.$$



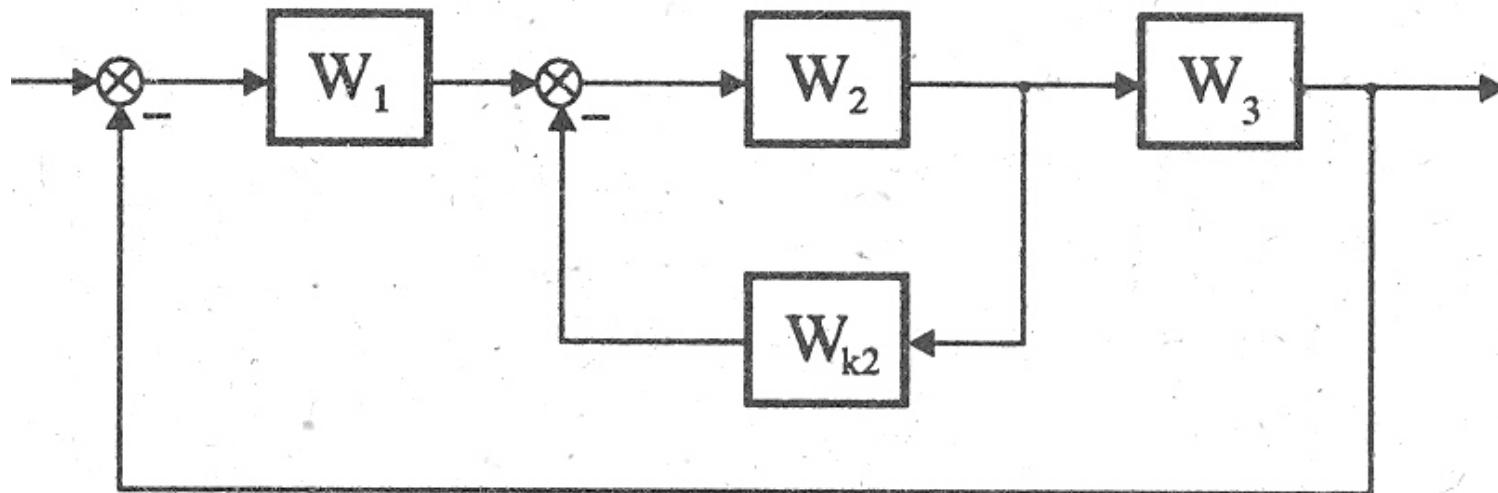
25. Паралелна корекция на САУ

1. Паралелна корекция – структурна схема.

Корекцията се нарича “**паралелна**”, когато коригиращото звено $W_{k2}(p)$ е включено като отрицателна обратна връзка към едно или няколко звена от неизменната част на отворената система.



25. Паралелна корекция на САУ



ПФ на неизменната част е:

$$W_H(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)$$

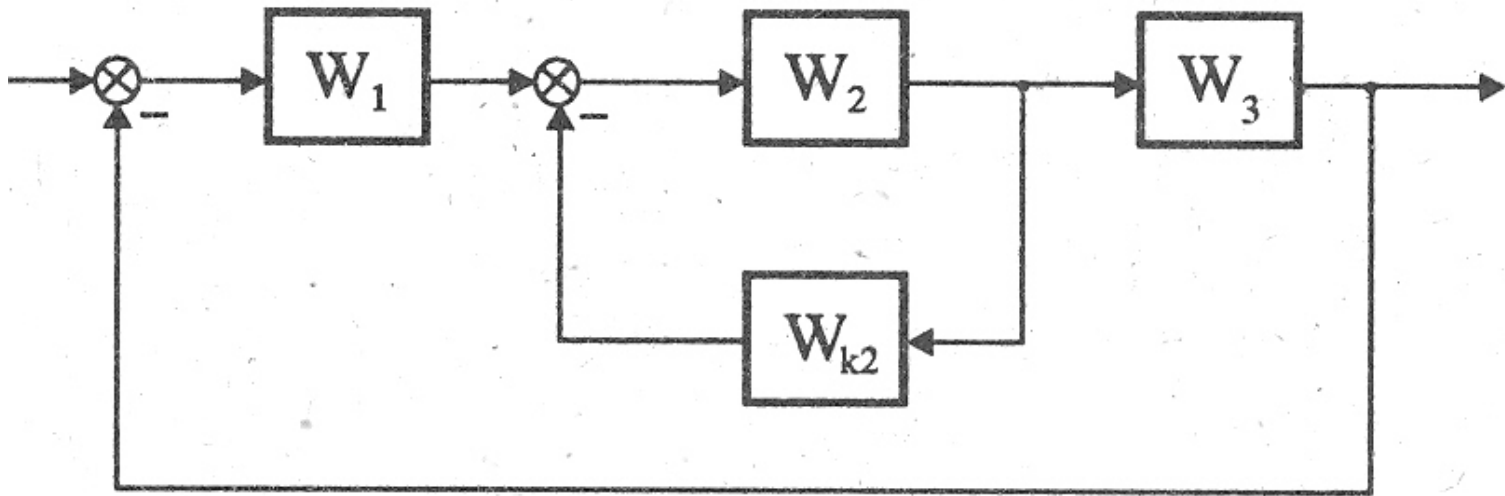
ПФ на звеното, обхванато от коригиращата ООВ е:

$$W_{o\phi}(p); \quad W_{o\phi}(p) = W_2(p)$$

ПФ на отворената САУ е:

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

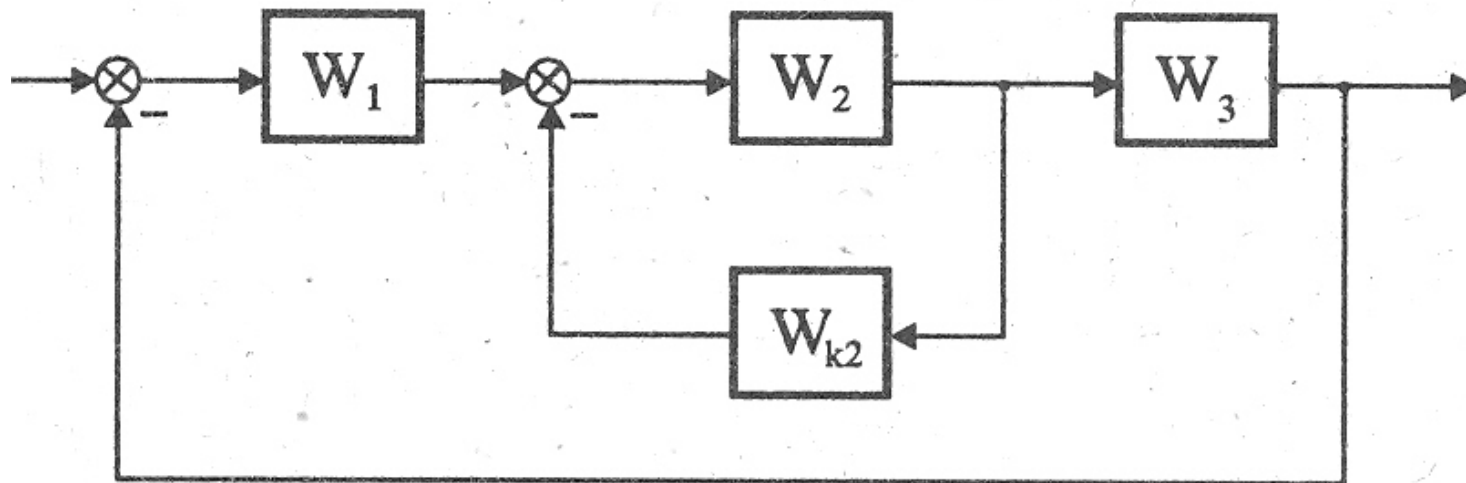
25. Паралелна корекция на САУ



Еквивалентната ПФ $W_{\text{екв}}(p)$ на обхванатата част, заедно с коригиращото звено е:

$$W_{\text{екв}}(p) = \frac{W_{\text{оф}}(p)}{1 + W_{\text{оф}}(p)W_{\text{к2}}(p)}.$$

25. Паралелна корекция на САУ



Когато обхванатото звено е с голям коефициент на пропорционалност, т.е., $W_{об}(p)W_{к2}(p) \gg 1$, следва че:

$$W_{екв}(p) = \frac{W_{об}(p)}{1 + W_{об}(p)W_{к2}(p)} \approx \frac{W_{об}(p)}{W_{об}(p)W_{к2}(p)} \approx \frac{1}{W_{к2}(p)}$$

Характеристиките на тази част от системата практически не зависят от обхванатото звено, а само от коригиращото.

Обхващането на елемент с нестабилни характеристики с ОВ намалява влиянието на тази нестабилност върху свойствата на системата.

2. Примери за влиянието на обратните връзки

Разглеждат се два типа коригиращи ОВ: *твърди* и *гъвкави*.

(а) *Твърди обратни връзки*

- не съдържат диференциращи или интегриращи звена;
- оказват влияние както върху ПП, така и върху установения режим на работа;
- променят параметрите и/или типа на звеното;
- примери:

Нека с най-простата твърда отрицателна обратна връзка – пропорционално звено ($W_{к2}(p) = k_{об}$) се обхване:

1) интегриращо звено ($W_{об}(p) = \frac{k}{p}$);

2) апериодично звено ($W_{об}(p) = \frac{k}{Tp + 1}$).

1) **Интегриращо звено** – $W_{\text{об}}(p) = \frac{k}{p}$ ($W_{\text{к2}}(p) = k_{\text{об}}$).

$$W_{\text{екв}}(p) = \frac{\frac{k}{p}}{1 + \frac{k}{p} k_{\text{об}}} = \frac{k}{p + k.k_{\text{об}}} = \frac{\frac{1}{k.k_{\text{об}}}}{\frac{1}{k.k_{\text{об}}} p + 1} = \frac{k_a}{T_a p + 1},$$

където $k_a = 1 / k_{\text{об}}$; $T_a = 1 / (k.k_{\text{об}})$.

В този случай твърдата ОВ **променя типа на звеното**.

2) **Апериодично звено** – $W_{об}(p) = \frac{k}{Tp + 1} \quad (W_{к2}(p) = k_{об}).$

$$W_{екв}(p) = \frac{\frac{k}{Tp + 1}}{1 + \frac{k}{Tp + 1} k_{об}} = \frac{k}{Tp + 1 + k.k_{об}} = \frac{\frac{k}{1 + k.k_{об}}}{\frac{T}{1 + k.k_{об}} p + 1} = \frac{k_a}{T_a p + 1},$$

където $k_a = k / (1 + k.k_{об}); \quad T_a = T / (1 + k.k_{об}).$

В този случай твърдата ОВ **не променя типа на звеното**,
но **променя параметрите** му.

25. Паралелна корекция на САУ

Твърдите ОВ могат да се използват за целенасочена промяна на параметри (или на тип и параметри) на отделни звена.

Например при операционните усилватели те се използват за разширяване на честотния диапазон, в който сигналът се усилва равномерно.

Нека като модел на операционен усилвател се приеме апериодично звено с параметри:

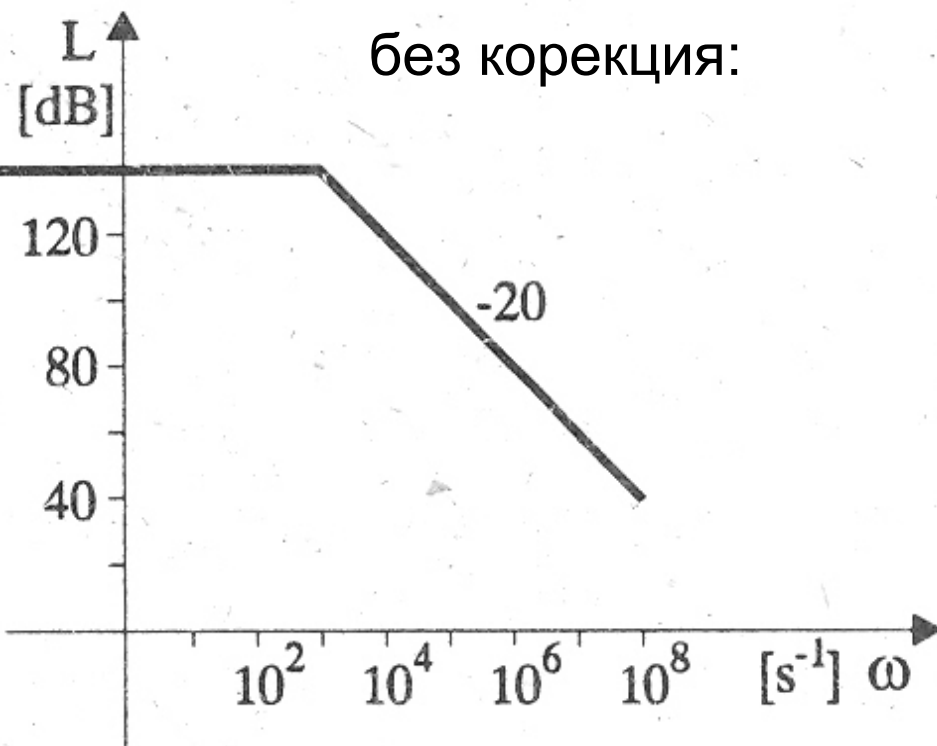
$$k = 10^7; \quad T = 10^{-3} \text{ s.}$$

Обхващането му с ООВ $k_{\text{ОВ}} = 0.001$ води до параметри:

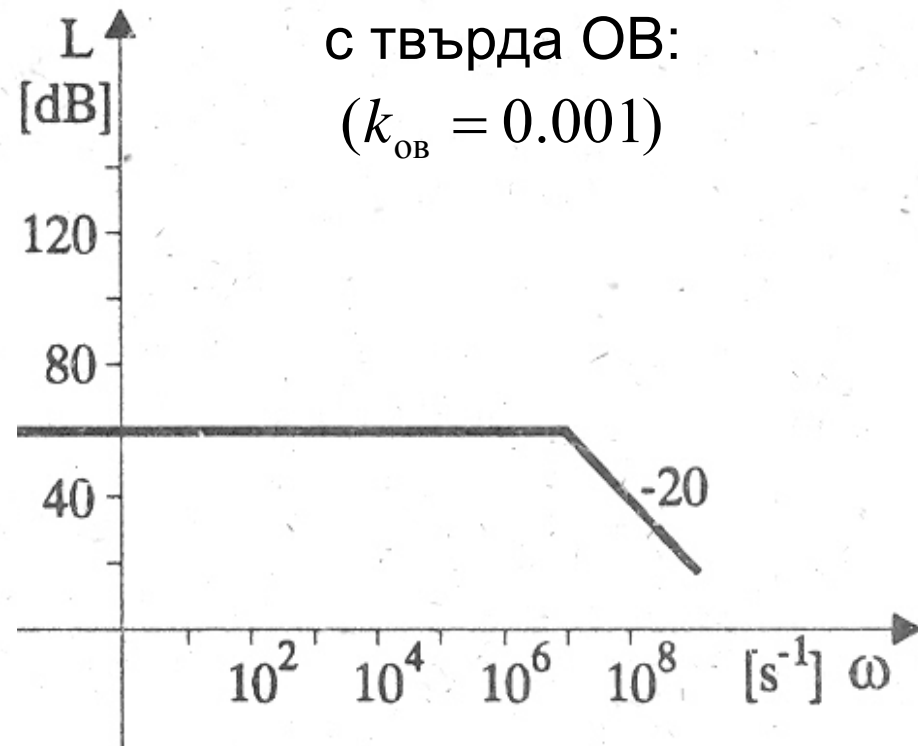
$$k_{\text{ЕКВ}} = 10^3; \quad T_{\text{ЕКВ}} = 10^{-7} \text{ s.}$$

$$(k_{\text{ЕКВ}} = k / (1 + k.k_{\text{ОВ}}); \quad T_{\text{ЕКВ}} = T / (1 + k.k_{\text{ОВ}}))$$

25. Паралелна корекция на САУ



$$(k = 10^7; T = 10^{-3} \text{ s})$$



$$(k_{\text{ЕКВ}} = 10^3; T_{\text{ЕКВ}} = 10^{-7} \text{ s})$$

От новата ЛАЧХ се вижда, че честотната лента се разширява с 4 декади, за сметка на коефициента на усиление.

(б) Гъвкави обратни връзки

- съдържат диференциращи звена:

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

- действат само в преходния режим, като обикновено променят само времеконстантата;

- примери:

Нека с гъвкава отрицателна обратна връзка – идеално диференциращо звено ($W_{к2}(p) = k_{об} p$) се обхване:

1) интегриращо звено ($W_{об}(p) = \frac{k}{p}$);

2) апериодично звено ($W_{об}(p) = \frac{k}{Tp + 1}$).

1) **Интегриращо звено** – $W_{o\delta}(p) = \frac{k}{p}$ ($W_{k2}(p) = k_{oB} p$).

$$W_{\text{екв}}(p) = \frac{\frac{k}{p}}{1 + \frac{k}{p} k_{oB} p} = \frac{k}{p(1 + k.k_{oB})} = \frac{k_{\text{екв}}}{p} = \frac{1}{T_{\text{екв}} p},$$

където $k_{\text{екв}} = k / (1 + k.k_{oB})$; $T_{\text{екв}} = 1 / k_{\text{екв}} = (1 + k.k_{oB}) / k$.

В този случай гъвкавата ОВ **променя само параметрите на звеното** ($T_{\text{екв}}$).

2) Апериодично звено – $W_{об}(p) = \frac{k}{Tp + 1}$ ($W_{к2}(p) = k_{об}p$).

$$W_{екв}(p) = \frac{\frac{k}{Tp + 1}}{1 + \frac{k}{Tp + 1}k_{об}p} = \frac{\frac{k}{Tp + 1}}{\frac{Tp + 1 + k.k_{об}p}{Tp + 1}} = \frac{k}{(T + k.k_{об})p + 1} = \frac{k_{екв}}{T_{екв}p + 1},$$

където $k_{екв} = k$; $T_{екв} = T + k.k_{об}$.

В този случай гъвкавата ОВ **променя само параметрите на звеното** ($T_{екв}$).