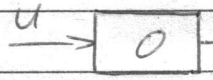
15.09.10г. **Електронни регулатори** лекция 1

доц. Михаил Ангелов - к. 1430 4 единица

4÷6 - I цикъл

9÷12 - II цикъл гл.ас. Ванко Григоров



① $a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_{n-1} \cdot y^1 + a_n \cdot y = b_0 u^m + b_1 u^{m-1} + \dots + b_{m-1} y + b_m u$

② $W(p) = \frac{y(p)}{u(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n}$

1 - с деф. уравнение

2 - с предавателна ф-я

3 - с преходна характеристика $y(t) = F[u(t)]$

I - Отворена система за АР - това е система при която няма обратна връзка, т. е. изходната променлива не се следи

II - Затворена система за АР - при нея има обратна връзка. Основно те са разпространените системи в практиката

1 Основни блокове в ЗСАР

① Обект

② регулатор

③ сравняващо устройство

2 Основни понятия в ЗСАР

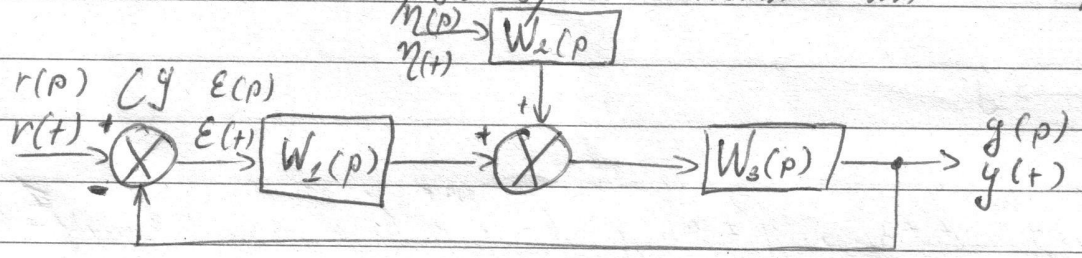
① Изходна величина – $y(t) \to y(p)$

② Задание – $r(t) \to r(p)$

③ Грешка в с-мата – $\varepsilon(t) \to \varepsilon(p) = r(t) - y(t)$

④ Смущаващо въздействие – $\eta(t) \to \eta(p)$

3. Основна структурна схема на ЗСАР



! 4. Основни предавателни ф-и на ЗСАР и на ОСАР

+ ОСАР – по задание

① $\eta(p) = 0 \to W_{0_r} = \dfrac{y(p)}{r(p)} = W_1 . W_3$

– по смущение

② $r(p) = 0 \to W_{0_\eta} = \dfrac{y(p)}{\eta(p)} = W_2 . W_3$

+ ЗСАР

– по задание $\eta(p) = 0$

$W_r = \dfrac{y(p)}{r(p)}$

④ $W = \dfrac{y(p)}{\varepsilon(p)} = W_1 . W_3$

② $\varepsilon(p) = r(p) - y(p)$

$\Rightarrow$ ③ $\boxed{W_{r(p)} = \dfrac{y(p)}{r(p)} = \dfrac{W_1 . W_3}{1 + W_1 . W_3}}$

!

– по смущение

$$W_\eta = \frac{y(p)}{\eta(p)} = ? \quad \rightarrow \quad r(p) = 0$$

$$|\varepsilon_{(p)}| = |y_{(p)}| \rightarrow -[y_{(p)} \cdot W_1 + \eta_{(p)} \cdot W_2] \cdot W_3 = y_{(p)}$$

4 $\Rightarrow$ $$\boxed{W_{\eta(p)} = \frac{y(p)}{\eta(p)} = \frac{W_2 \cdot W_3}{1 + W_1 \cdot W_3}}$$

5. Предавателна ф-я от грешка по задание и смущение.

⑤ $$W_\varepsilon = \frac{\varepsilon(p)}{r(p)} \rightarrow \eta(p) = 0$$ – по задание

$$\varepsilon_{(p)} = r_{(p)} - \varepsilon_{(p)} \cdot W_1 \cdot W_3$$

$$\boxed{W_\varepsilon = \frac{\varepsilon(p)}{r(p)} = \frac{1}{1 + W_1 \cdot W_3}}$$

⑥ $$W_\eta = \frac{\varepsilon(p)}{\eta(p)} \rightarrow r(p) = 0$$ – по смущение

$$\varepsilon(p) = -y(p) = -[\varepsilon(p) \cdot W_1 + W_2 \cdot \eta(p)] \cdot W_3$$

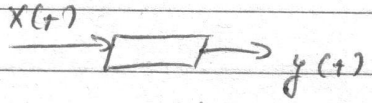
$$\Rightarrow \boxed{W_\eta = \frac{\varepsilon(p)}{\eta(p)} = \frac{-W_3 \cdot W_2}{1 + W_1 \cdot W_3}}$$

29.09.2010г. **Електронни регулатори** лек. №2

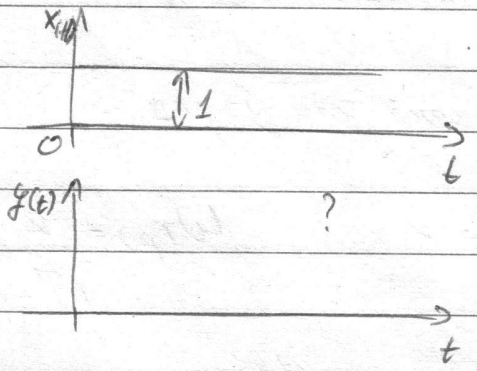
Типови динамични звена

- Имат механични и електрически аналози
- Имат електронни аналози

, но преобразователните ф-и са едни и същи



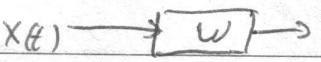
$y(p) = W(p) \cdot X(p)$



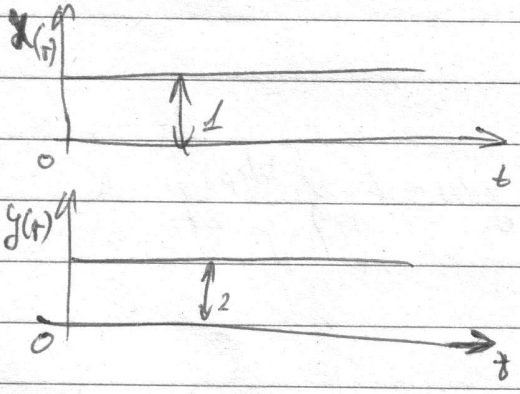
$X(p) \to \frac{1}{p}$ $\quad y(t)$

$$y(t) \to L^{-1}\left\{\frac{W(p)}{p}\right\}$$

1 Пропорционално звено



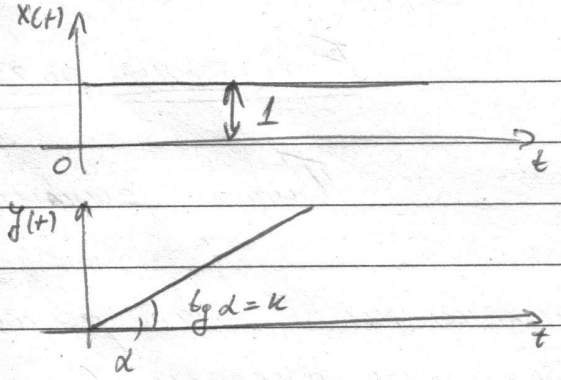
$y = kx$; $W(p) = k$; $y(t) = L^{-1}\left\{\frac{k}{p}\right\} = k$



2. Интегриращо звено

$$\frac{dy}{dt} = k \cdot x \to y = k \cdot \int x \quad ; \quad W(p) = \frac{k}{p}$$

$$y(t) = L^{-1}\left\{\frac{K}{p^2}\right\} = K.t$$

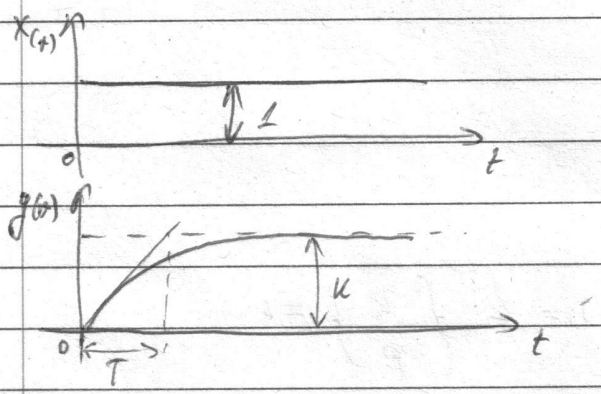


При скокообразна на входа, изхода се изменя до безкрайност.

3. Инерционно звено от 1 ред

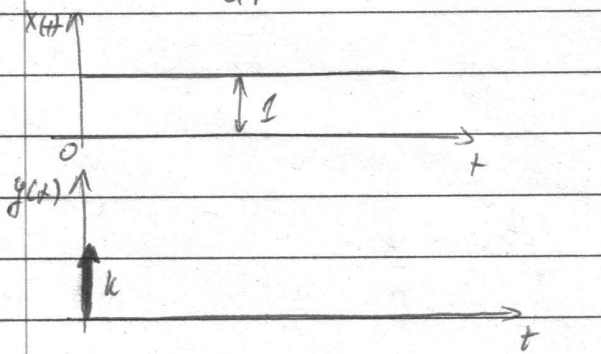
$$\frac{T.dy}{dt} + y = K.x \quad , \quad W(p) = \frac{K}{p.T+1} \quad , \quad y(t) = L^{-1}\left\{\frac{K}{p(Tp+1)}\right\}$$

$$\Rightarrow y(t) = K.(1 - e^{-t/T})$$



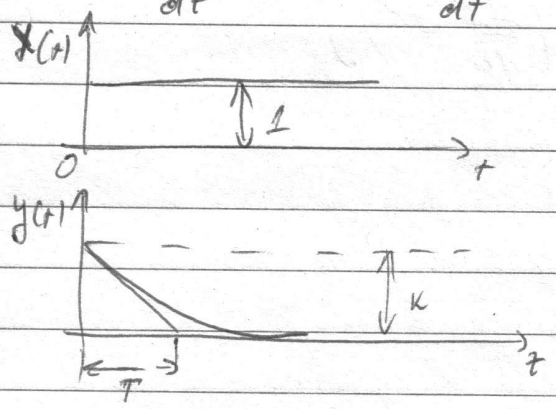
4. Идеално диференциращо звено

$$y = K.\frac{dx}{dt} \quad , \quad W(p) = K.p \quad , \quad y(t) = L^{-1}\left\{\frac{W(p)}{p}\right\} = K$$



5. Реално диферен. звено

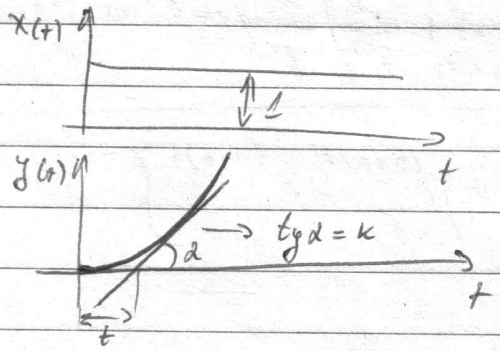
$$T.\frac{dy}{dt} + y = K.\frac{dx}{dt} \quad ; \quad W(p) = \frac{K.p}{Tp.+1} \quad ; \quad g(t) = L^{-1}\left\{\frac{K}{(Tp+1)}\right\} = K.e^{-t/T}$$



6.1 Инерционно интегриращо звено

$$T.\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = K.x \quad ; \quad W(p) = \frac{K}{p(Tp+1)} \quad ; \quad y(t) = L^{-1}\left\{\frac{K}{p^2(Tp+1)}\right\} = K\left[t - T.(1-e^{-\frac{t}{T}})\right]$$

!!!

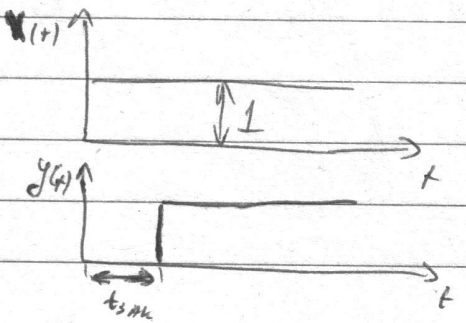


7. Закъснително звено

$$W(p) = e^{-p.t_{зак.}} \quad ; \quad y(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{p}.e^{-pt_{зак.}}\right\}$$

Използва се теорема на $L[f(t-t_{зак})] = e^{-pt_{зак}}.L[f(t)]$

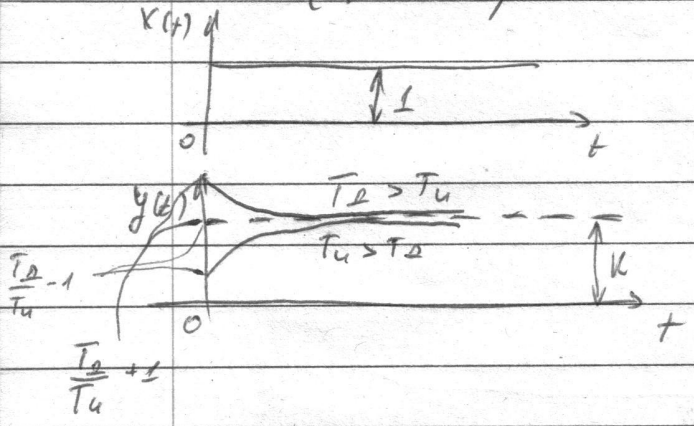
закъснението от матем.



8. Интегро-деферинцирано звено

$$T_u \cdot \frac{dy}{dt} + y = K \cdot \left(T_D \cdot \frac{dx}{dt} + x\right); \quad W(p) = \frac{K \cdot (T_D p + 1)}{T_u p + 1}$$

$$y(t) = L^{-1}\left\{\frac{K}{p} \cdot \frac{T_D p + 1}{T_u p + 1}\right\} = K\left[1 + e^{-t/T_u}\left(\frac{T_D}{T_u} - 1\right)\right]$$

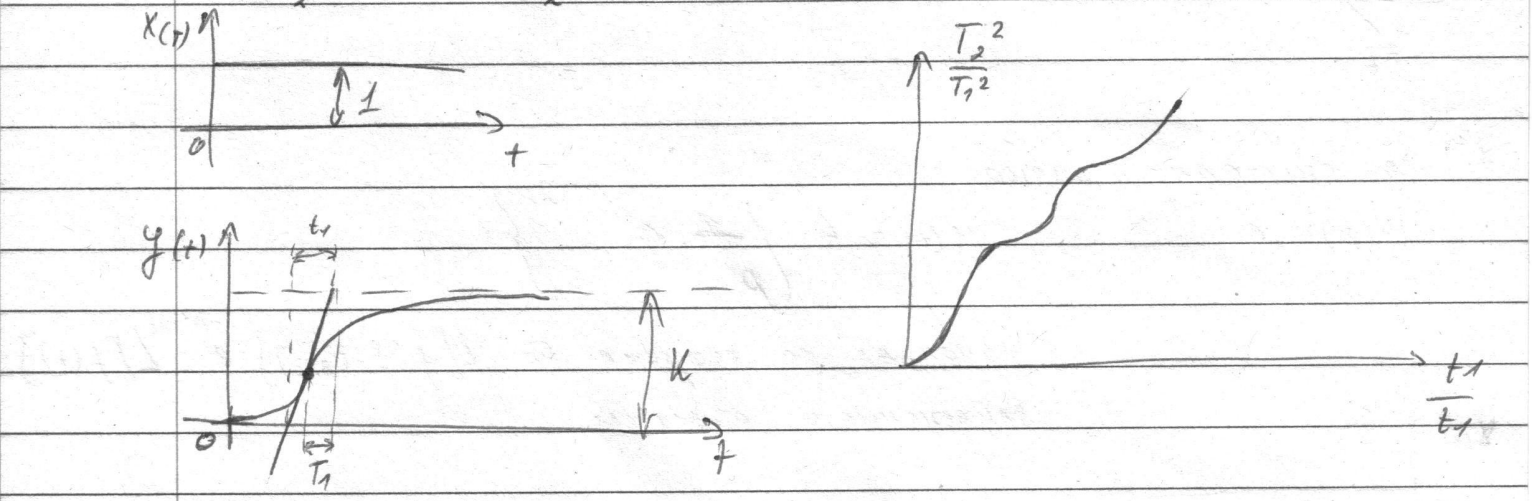


9. Инерционно звено от II ред ← и колебателно звено

$$T_2^2 \frac{dy}{dt} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = K \cdot x \qquad T_1 > 2T_2$$

$$W(p) = \frac{K}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}; \quad \boxed{y(t) = L^{-1}\left\{\frac{K}{p} \cdot \frac{1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}\right\} = \frac{K}{T_2^2}\left(\frac{1}{a^2+b^2}\left[1 - e^{-bt}\left(\cos at + \frac{b}{a}\sin at\right)\right]\right)}$$

$$b = \frac{T_1}{2T_2^2}, \quad a = \frac{1}{2T_2^2}\sqrt{4T_2^2 - T_1^2} \qquad y(t) = K \cdot \left\{e^{(a+b)t} + e^{-(a+b)t}\right\}$$



10. Колебателно звено.

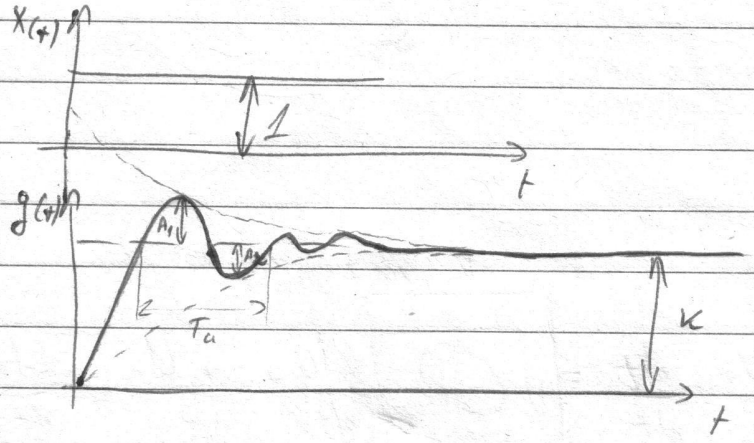
$$T_2^2 \cdot \frac{dy}{dt} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = K \cdot x \qquad T_1 < 2T_2$$

$$W(p) = \frac{K}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \; ; \; y(t) = L^{-1}\left\{ \frac{K}{p} \cdot \frac{1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \right\}$$

$$y(t) = \frac{K}{T_2^2} \left\{ \frac{1}{a^2 + b^2} \left[1 - e^{-bt} \left(\cos at + \frac{b}{a} \sin at \right) \right] \right\}$$

$$\frac{1}{a^2 + b^2} = 1$$

$$\Rightarrow y(t) = K \left[1 - e^{-bt} \left(\cos at + \frac{b}{a} \sin at \right) \right]$$



$$a = \frac{2\pi}{T_a} \; , \; b = \frac{a}{2} \ln \frac{A_1}{A_2}$$

Забележка: $T_1 = 2T_2 \Rightarrow a = b$, $b = \frac{1}{T_2} = T$ и се получава инерционно звено от I-ви ред.

Идентификация на обекти

– Управляем токоизправител

$U_{d\alpha} = U_{do} \cdot \cos\alpha$

$U_{d\alpha} = F(\alpha)$

$U_{зпр} \rightarrow$ [СУ] $\rightarrow \alpha$

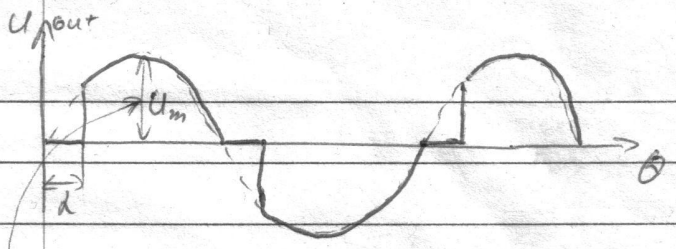
Линеализация

$U_{d\alpha} = K \cdot U_{упр}$ $\quad$ $e^{-pT_{зак}}$ $\quad$ $\alpha = \frac{1}{K} \arccos(U_{упр})$

$K = U_{do} \cdot K_1$

Функционални преобразватели – аналогови

– еднофазен променливотоков регулатор.



$$U_r = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$U_{out} = U_r \sqrt{\frac{1}{\pi}\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)}$$

Важи за всички други устройства

Намираме пълната производна

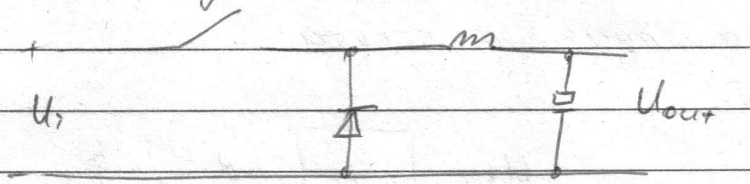
$$y = F(x_1, x_2)$$

x_1 — проионлива, $x_2 \to \alpha$

K, но зависи от α

$$\frac{dU_0}{dt} = \frac{\partial U_0}{U_r} \cdot \frac{dU_r}{dt} + \frac{\partial U_0}{d\alpha} \cdot \frac{dt}{dt} = \boxed{\sqrt{\bigcirc}} \frac{dU}{dt} + \ldots + U_r \boxed{\ldots} \frac{d\alpha}{dt}$$

Понижаваща DC/DC



$$U_0 = \delta U_i$$

$$(U_0 + \tilde{U}_0) = (\delta + \tilde{\delta}) \cdot (U_i + \tilde{U}_i)$$

$$\cancel{U_0} + \tilde{U}_0 = \cancel{\delta U_i} + \delta \tilde{U}_i + \tilde{\delta} \underbrace{U_i}_{K_1} + \cancel{\tilde{\delta} \tilde{U}_i}$$

Пренебрегваме постоян. съставни и величини от II ред

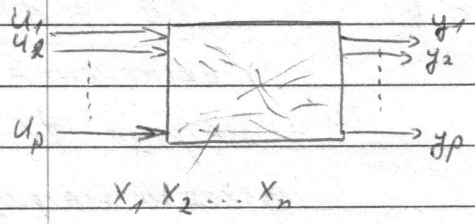
Повишаваща.

$$U_0 = \frac{1}{1-\delta} \cdot U_i$$

Инвертираща.

$$U_0 = \frac{\delta}{1-\delta} \cdot U_i$$

6.10.2010г. **Електронни регулатори** лекция №4



$y = [y_1\ y_2 \dots y_p]^T$ - изх. вел.

$u = [u_1\ u_2 \dots u_p]$ - упр. въздействия

$x = [x_1\ x_2 \dots x_n]$ - променливи на състоянията

Модел

$\dot{x}$ - вектор на производните на променливите на състоянията

② $\dot{x} = A.x + Bu$

② $y = C.x + Du$

$A(n.n)$; $B(n.m)$

$C(p.n)$; $D(p.m)$

① уравнение на състоянието

② уравнение на наблюдението

— 1 променлива на състоянието x

$x(t_0)$ - известно

$x(t) \Rightarrow ?$

$\frac{d}{dt}\left(e^{-At}.x\right) =$ - извеждане ф-ла която свързва тези вел. и съответните матрици

$= -Ae^{-At}.x + e^{-At}.\dot{x} = e^{-At}\left(\dot{x} - A.x\right) = e^{-At}.Bu$

($\dot{x}$ - ур. на състоян.)

Интегрираме в граници от t_0 до t

$$e^{-At}.x(t) + e^{-At_0}.x(t_0) = \int_{t_0}^{t} e^{-A\tau}.B.u(\tau)\,d\tau$$

$$e^{-At} \cdot X(t) = e^{-At_0} \cdot X(t_0) + \int_{t_0}^{t} e^{-A\tau} \cdot B \cdot U(\tau) \cdot d\tau$$

$$X(t) = e^{-A(t-t_0)} \cdot X(t_0) + \int_{t_0}^{t} e^{-A(t-\tau)} \cdot B \cdot U(\tau)\, d\tau$$

$\boxed{e^{-At} = \phi(t)}$ експонента на матрица

$$X(t) = \phi(t-t_0) \cdot X(t_0) + \int_{t_0}^{t} \phi(t-\tau) \cdot B \cdot U\tau \, d\tau$$

$\phi(t)$ - преходна матрица на системата

Въпрос 3 Сензори в електронните регулатори

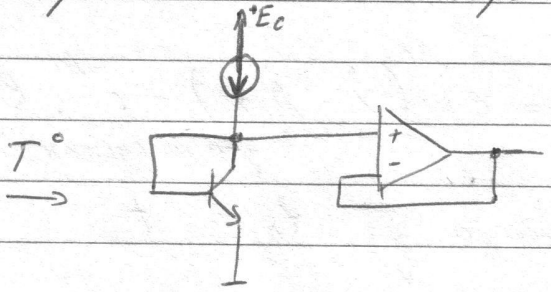
1. Измерване на U и I

- постоянно U и I - делители на напрежение, шунт, датчици на Хол
- променливо U - измервателни трансформатори на U и токови трансформаторите
- Токови и напрежителни транслюсери - в основата му е ефекта на Хол

+ фирма Lem

2. Измерване на температура

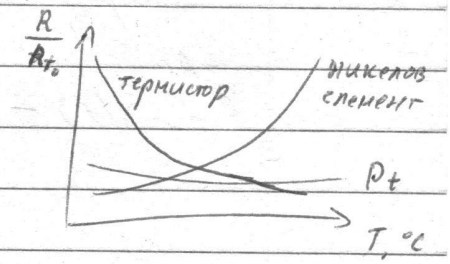
- полупроводникови сензори



T_k - температурен коефициент на напрежението BE - 2,2 mV/°C

- резистори - от -100°C до 800°C

термистори



Pt – от – 250 °C до 840 °C

при 25 °C – съпротивление с 100 Ω

$$R_T = R_{T_0}\left[1 + A \cdot T + B T^2 + C (T - 100^\circ)\right]$$

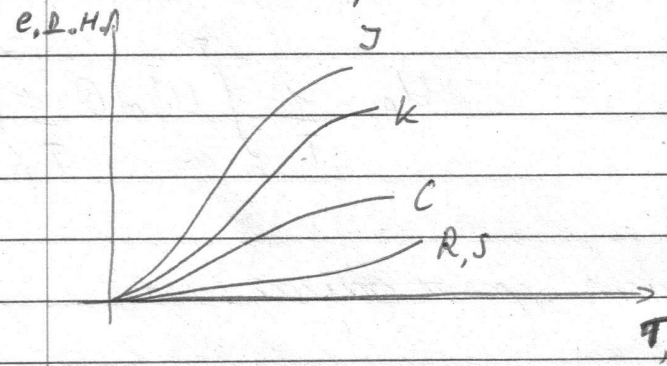
R_{T_0} – при 0 °C $A = 3,9083 \cdot 10^{-3}$

$B = -5,775 \cdot 10^{-7}$

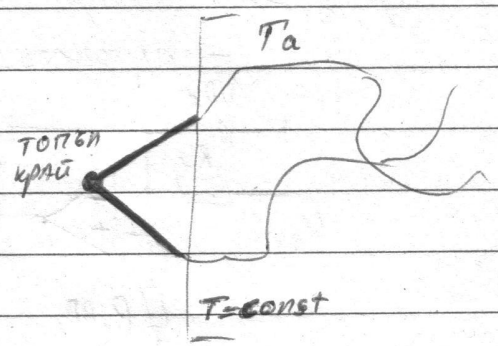
$C = 0$ за $T > 0$ °C

$C = -4,1003 \cdot 10^{-2}$ за $T < 0$ °C

– термодвойки – от – 250 °C до 2000 °C



Тип	Метали	mV / °C	T, °C
J	Желязо, константан	0,04	– 250 ÷ 1000
K	Хромел, алумел	0,03	– 250 ÷ 1400
RS	Платина – родий, Платина	0,01	0 ÷ 2500
C	Волфрам, Рений	0,02	0 ÷ 2000



Компенсация на е.д.н. на студения край на термодвойката. – AD594, AD595

Зависимостта е нелинейна. Често се прави линеаризация на характеристиката

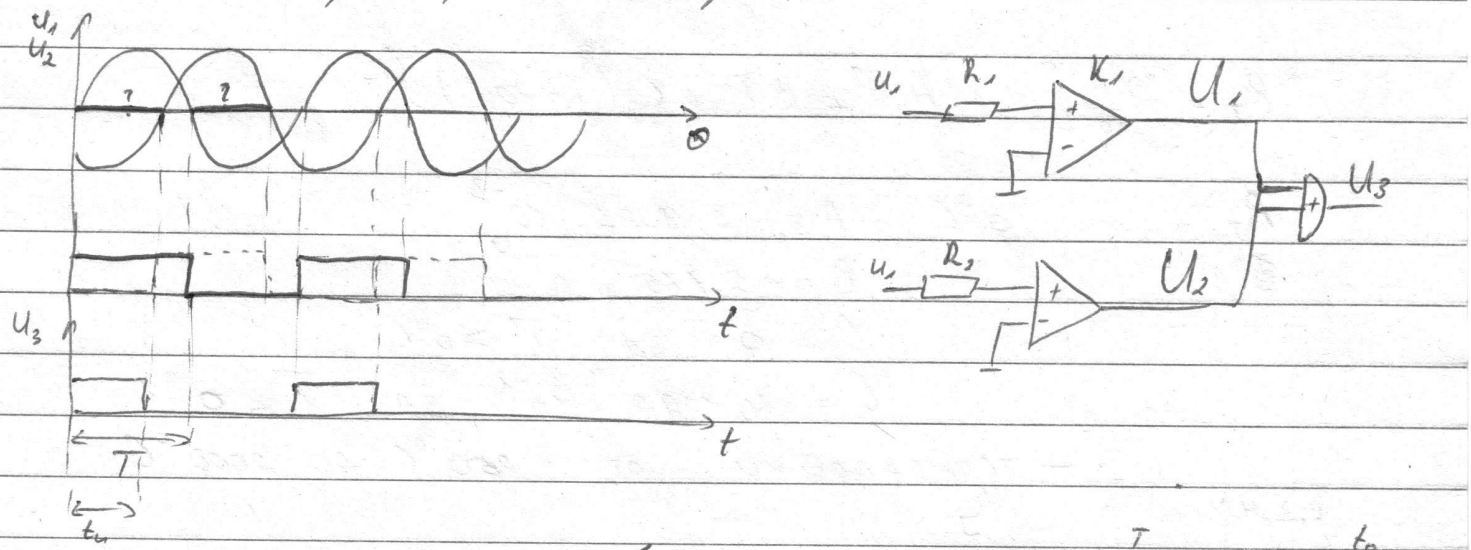
– инфрачервени камери – за $T > 2000$ °C

3. Измерване на осветеност

– фоторезистор, фотодиод

– Преобразуватели на не електрически в електрически величини

– Схеми за предварителна обработка на сигнали.

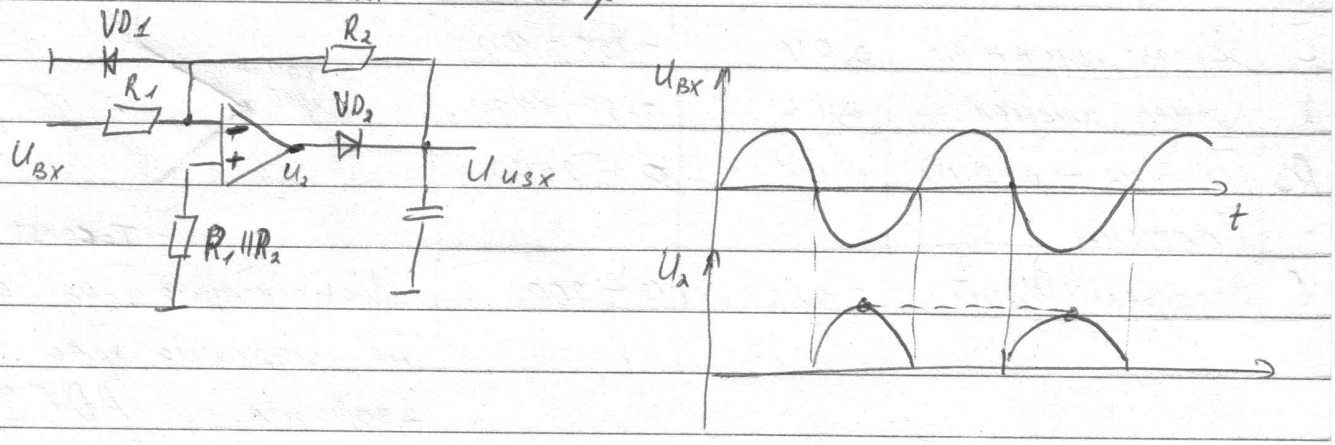


$$U_{AV} = \frac{U_u}{T} \cdot U^2 \qquad U_{AV} = \frac{1}{T}\int_0^T U^2 \cdot d\theta = \frac{1}{T_0}\int_0^{t_0} U^2 d\theta$$

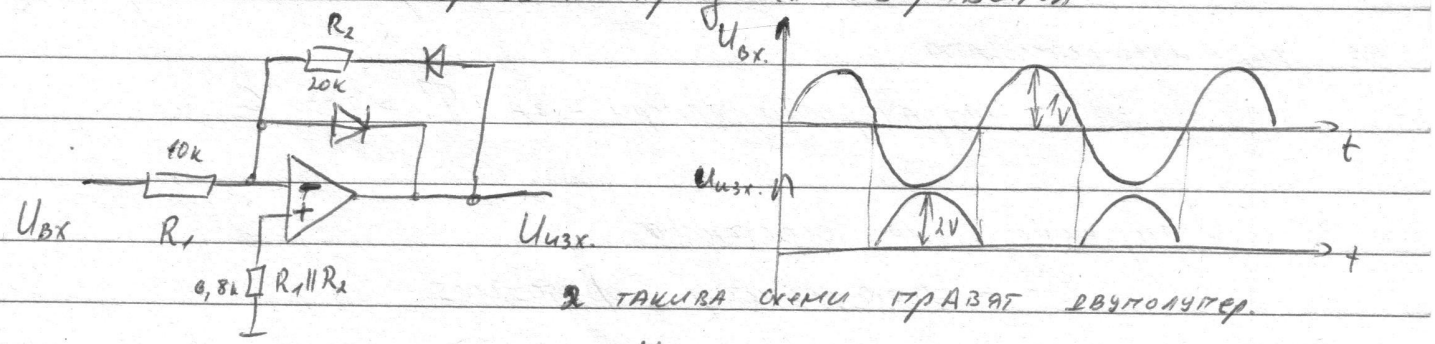
– Прецизно изправяне – прецизна средна стойност.

4. Прецизни изправителни схеми

– амплитуден детектор

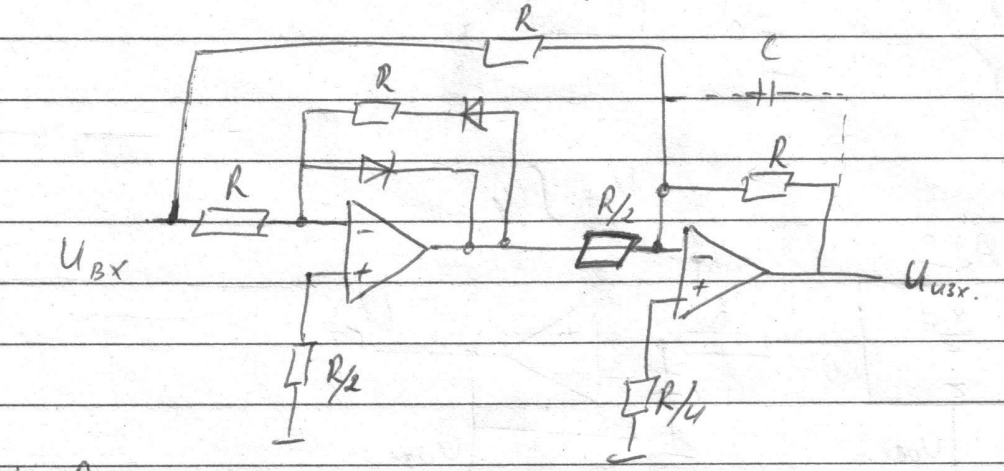


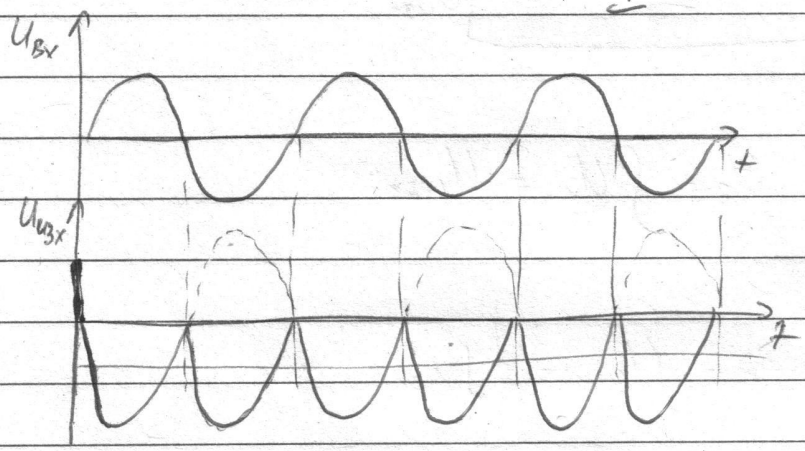
– еднополупериоден прецизен изправител



→ такива схеми правят двуполупер.

– двуполупериоден прецизен изправител





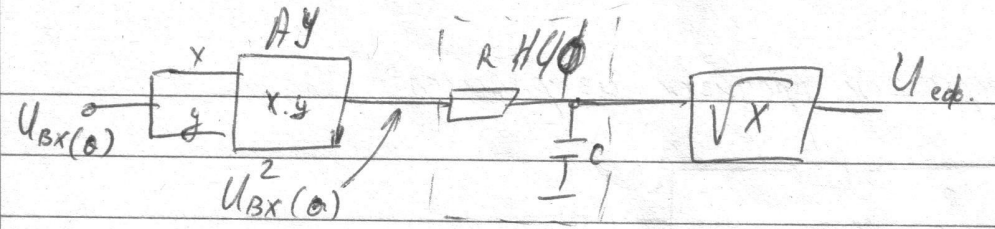
– логаритмични и антилогаритмични усилватели

Често се налага предаване с галванично разделяне на сигналите. – чрез оптоелектронни схеми за предаване на аналогови сигнали с галванично разделяне. Проблем е старенето на оптроните. Но има компенсиращи оптоелектронни схеми

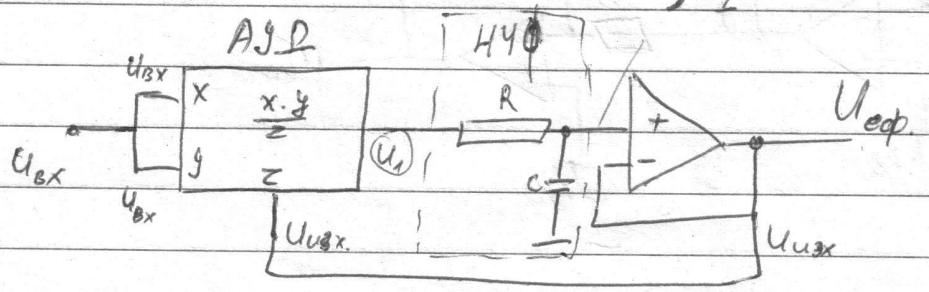
– умножителни и делителни схеми

– Схеми за ефективна стойност – явно преобразуване

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T U^2(\theta)\,d\theta} \qquad U_{ср.} = \frac{1}{T}\int_0^T U(\theta)\,d\theta$$



$U_2 = \int U_1$



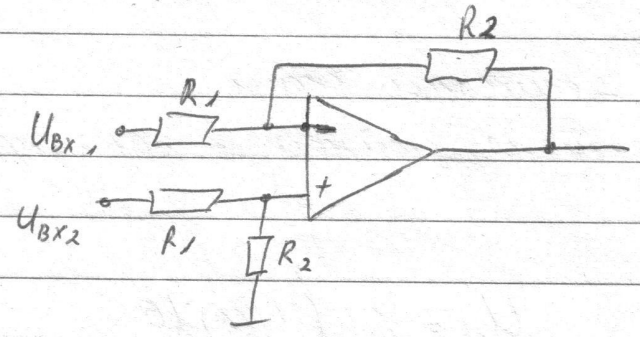
① $U_1 = \frac{U_{Bx}^2}{U_{изх.}}$; ② $U_2 = \int U_1 = U_{изх.}$

$\Rightarrow U_{изх} = \int \frac{U_{Bx}^2}{U_{изх}} \Rightarrow U_{изх} = \sqrt{\int U_{Bx}^2}$

– Изолационни усилватели — Виктоин

Въпрос № 4 Допълнителни схеми в регулаторите

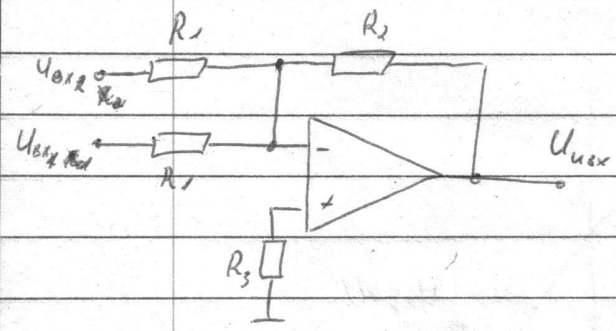
1 Сравняващи устройства



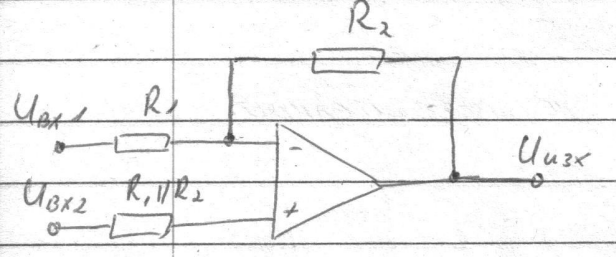
$U_{изх.} = \frac{R_2}{R_1}(U_{Bx_2} - U_{Bx_1})$

13.10.2010г. Електронни регулатори лекция № 5

... Сравняващи устройства



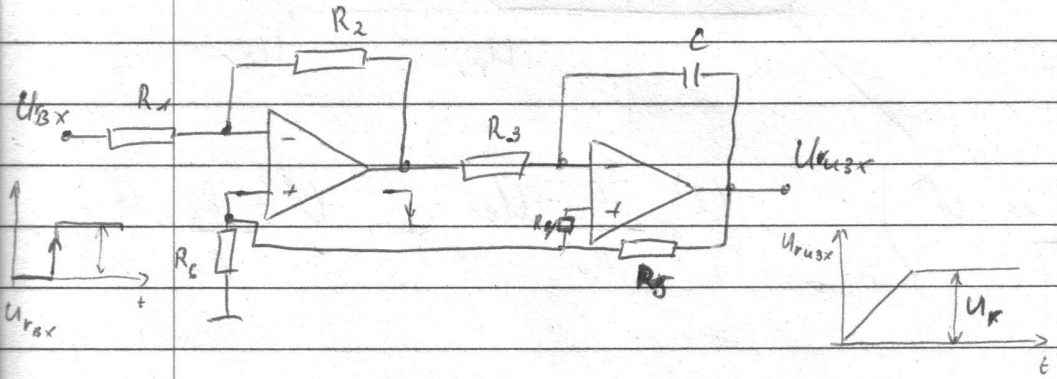
$$U_{изх} = -\frac{R_2}{R_1}(U_{вх_1} - U_{вх_2})$$



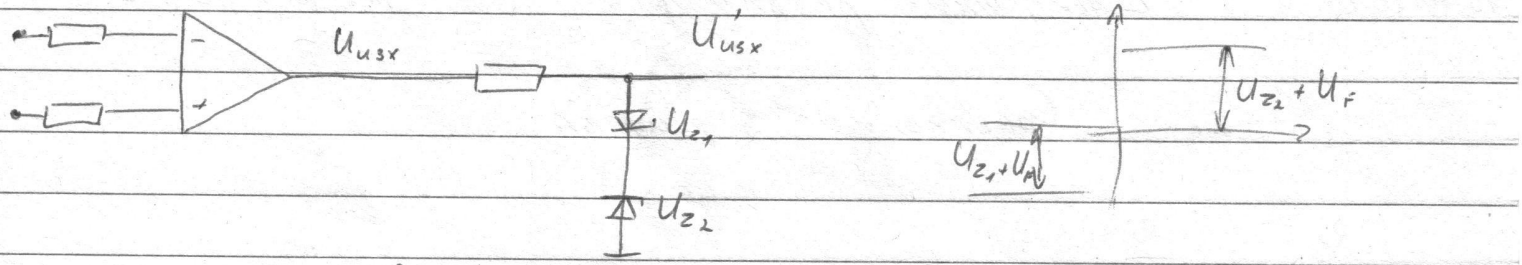
$$U_{изх} = -\frac{R_2}{R_1}U_{вх_1} + U_{вх_2}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

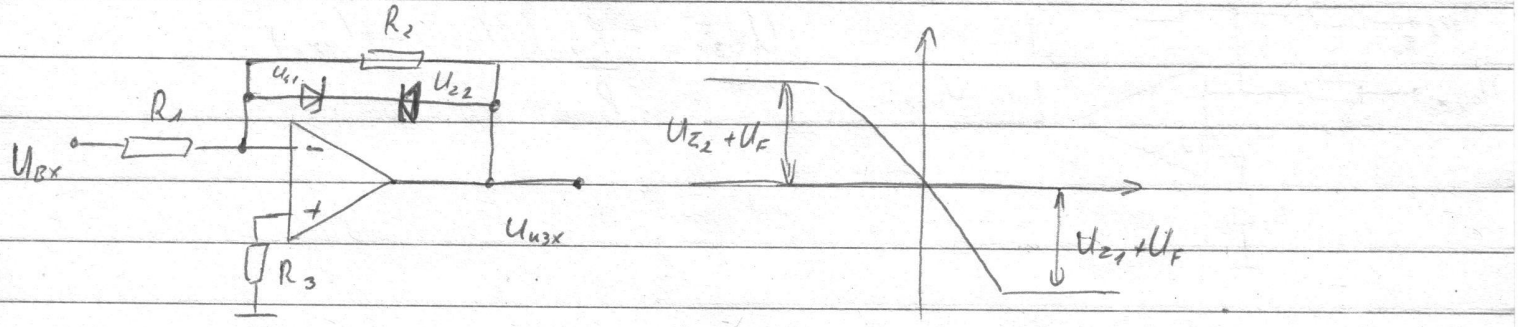
Схеми за допълнителна обработка на сигналите

1 Схема за плавно изменение на зададеното

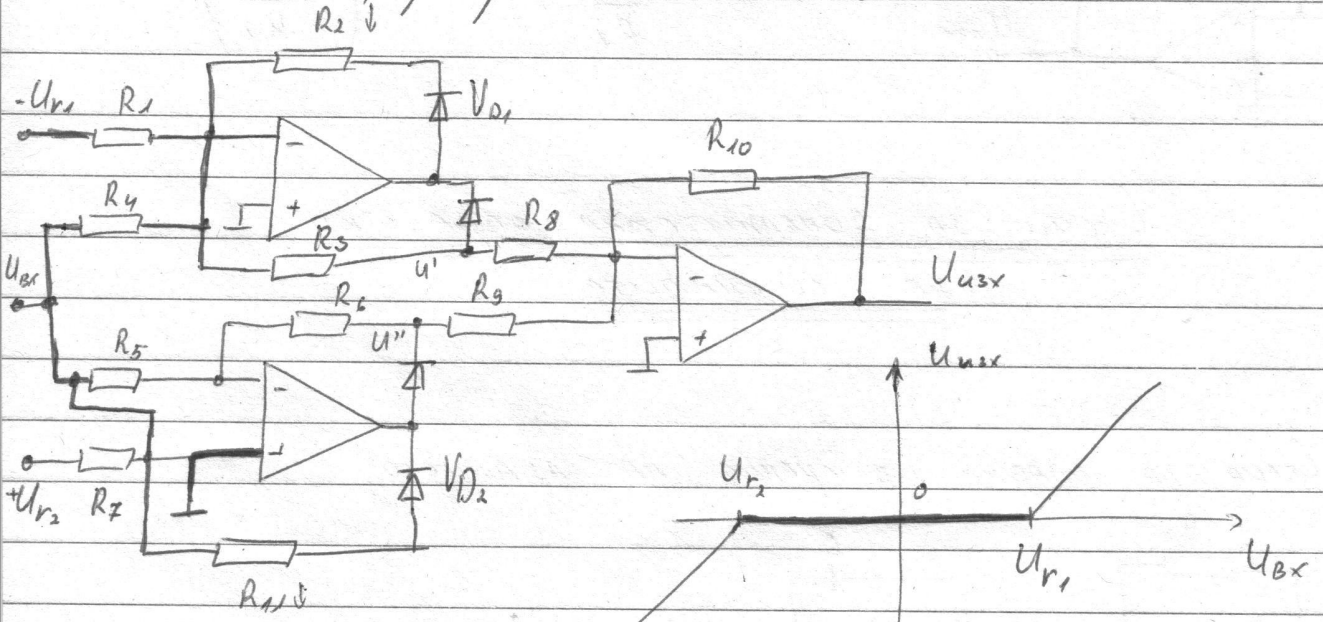


2. Схеми за ограничение нивата на сигналите





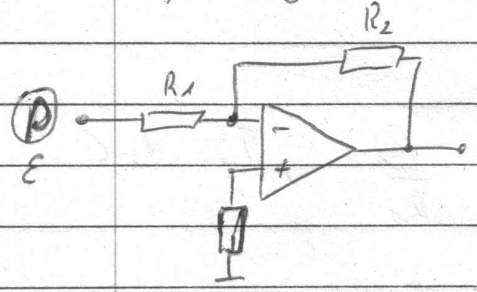
3. Схема за формиране на зона за нечувствителност.



$$U_{изх} = -\left(\frac{R_{10}}{R_8} \cdot U' + \frac{R_{10}}{R_9} \cdot U''\right) \qquad U' = \frac{R_3}{R_4} \cdot U_{вх} \;,\; U'' = \frac{R_6}{R_5} \cdot U_{вх}$$

Въпрос №5 Основни схеми на аналогови регулатори

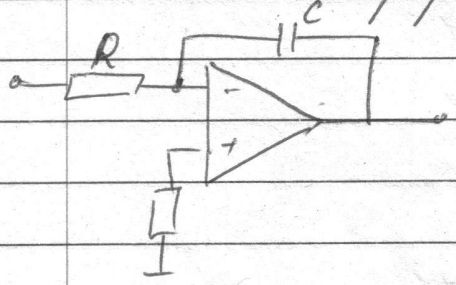
1. Пропорционален регулатор



$W(p) = K_п$ $\quad K_п = -\frac{R_2}{R_1}$

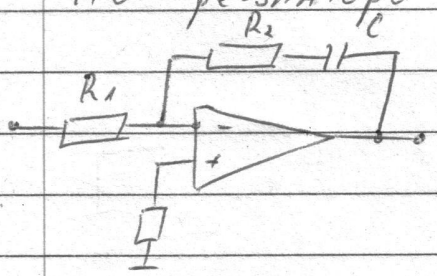
$K_п$ - коеф. на пропорционалност

2. Идеално интегриращо звено



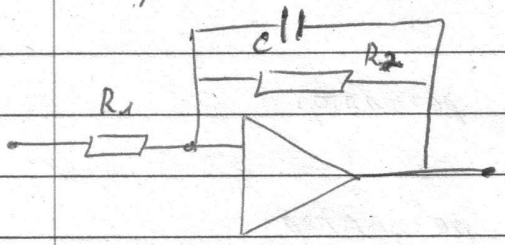
$W(p) = \frac{1}{p.T}$, $T = R.C$

3. ПИ регулатори



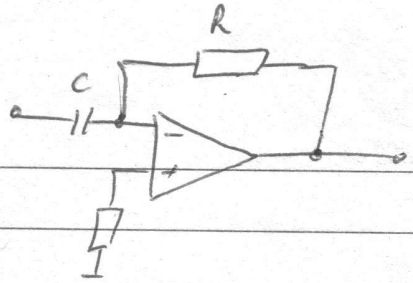
$W(p) = K_п + \frac{1}{T.p}$ $\quad K_п = -\frac{R_2}{R_1}$; $T = R_1.C$

4. Апериодично звено от 1 ред



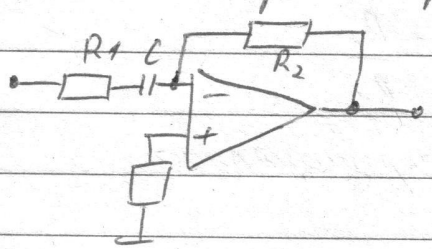
$W(p) = \frac{K}{Tp+1}$ $\quad K = -\frac{R_2}{R_1}$, $T = R_2C$

5. Чисто диференциране

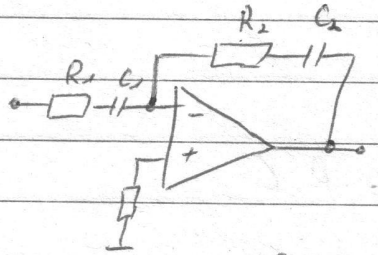


$$W(p) = T.p \quad ; \quad T = R.C$$

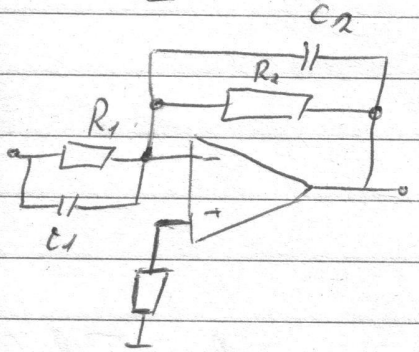
6.) ПД регулатор



$$W(p) = K_{\Pi} - T_p \; ; \; K_{\Pi} = -\frac{R_2}{R_1} \; , \; T_2 = R_2.C$$



$$W(p) = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{R_2C_2p + 1}{R_1C_1p + 1}$$



$$W(p) = \frac{R_2}{R_1} \; \frac{R_1C_1p + 1}{R_2C_2p + 1}$$

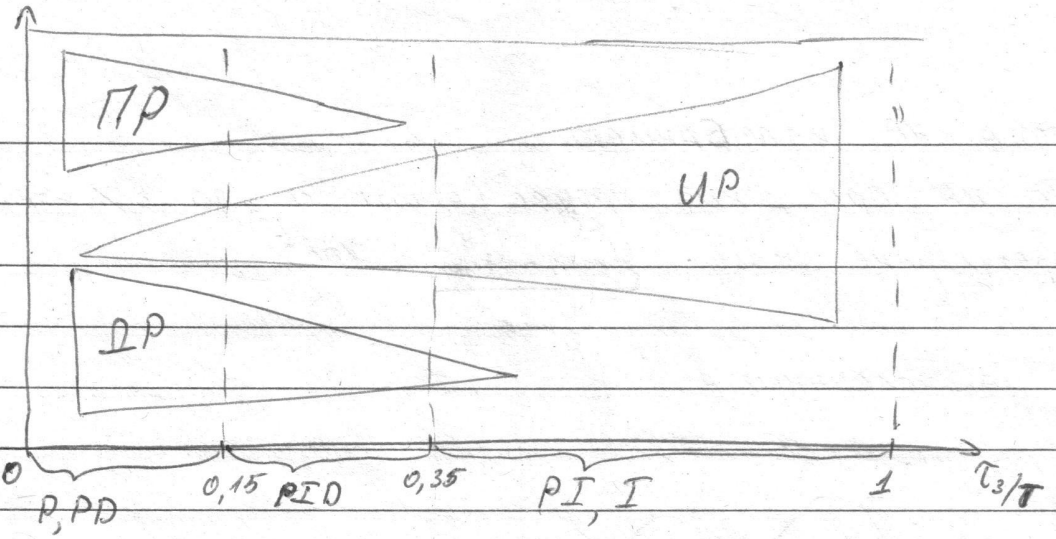
7. Методи за избор на регулатори.

Знаем T_3 и T - времеконст. на обекта

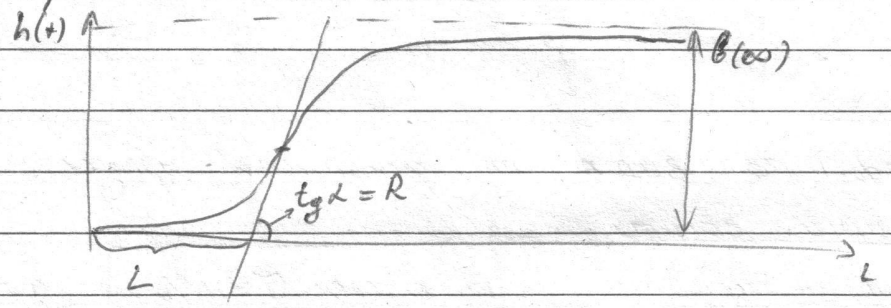
$\frac{T_3}{T} < 0,2$ – релеен регулатор

$0,2 < \frac{T_3}{T} < 1$ – непрекъснат (аналогов) регулатор

$\frac{T_3}{T} > 1$ – импулсен (дискретен) регулатор

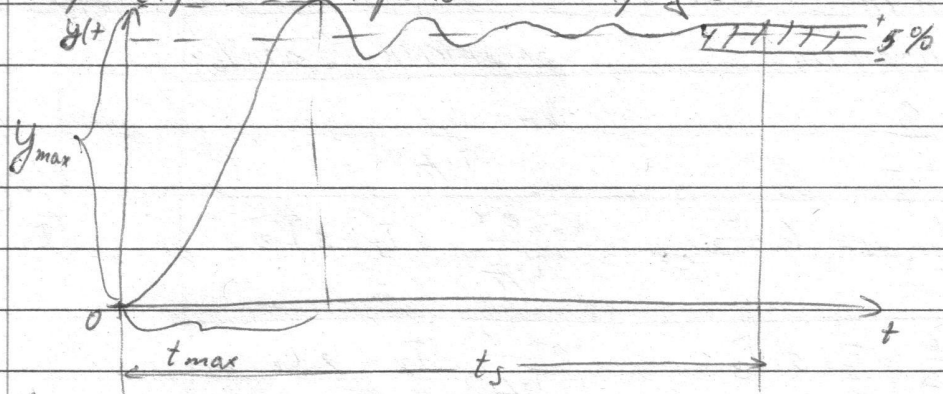


8. Настройка на регултори по метода на Циглер-Никлас от преходната х-ка на обекта



коефо регулатори	$K_П$	T_I	T_D
P	$1/R.L$	—	—
PI	$0,9/R.L$	$3,3.L$	—
PID	$1,2/RL$	$2.L$	$L/2$

9. Параметри на преходния процес



t_{max} - време за достигане на max стойност

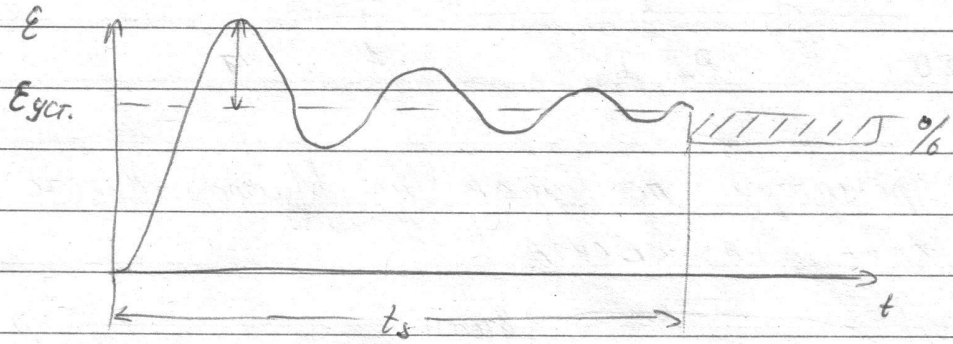
y_{max} - max стойност

ω – честота на колебанието

t_s – време на преходния процес (отчита се до 5% -та зона)

$\sigma\%$ – претегляне ие $\frac{y_{max} - y_{уст.}}{y_{max}} \cdot 100\%$

n – брой на колебанията



10. Избор на коеф. по вида на преходния процес

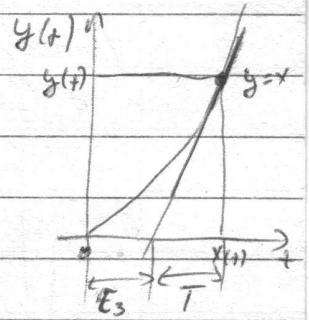
– За статични обекти

$a = \frac{\tau_з}{T}$

регулатор	коеф. за апериодичен	колебателен $\sigma \approx 20\%$
P	$K_П = \frac{0,3}{K.a}$	$K_П = \frac{0,7}{K.a}$
PI	$K_П = \frac{0,6}{K.a}$, $T_I = 0,8.\tau_з + 0,5.T$	$K_П = \frac{0,7}{K.a}$, $T_I = \tau_з + 0,3.T$
PID	$K_П = 0,95/K.a$ $T_I = 2,4.\tau_з$, $T_D = 0,4\tau_з$	$K_П = 1,4/K.a$ $T_I = 1,3.\tau_з$, $T_D = 0,5.\tau_з$

– За астатични обекти

регулатор	апериодичен	колебателен $\sigma \approx 20\%$
P	$K_П = \frac{0,4}{\tau_з/T}$	$K_П = \frac{0,7}{\tau_з/T}$
PI	$K_П = \frac{0,4}{\tau_з/T}$, $T_I = 6.\tau_з$	$K_П = \frac{0,7}{\tau_з/T}$, $T_I = 3\tau_з$
PID	$K_П = \frac{0,6}{\tau_з/T}$, $T_I = 5.\tau_з$ $T_D = 0,6.\tau_з$	$K_П = \frac{1,1}{\tau_з/T}$, $T_I = 2.\tau_з$ $T_D = 0,4.\tau_з$



20.10.2010г. Електронни регулатори лекция № 6

Въпрос 6

① – Траф. – синх. траф и галванично разделяно от с-мата за управл.

– V_1, $Д_1 \div Д_4$, R_1, $Д_5$, R_2, T_1, R_3 – входно синхронизиращо устройство

– V_2, $Д_6$, C_1, R_5, $Д_7$, R_6, $Д_8$, R_7, R_8, R_9, C_2, T_2, ОУ1 – генератор на изменящо се напрежение

– R_{20}, R_{21}, R_t, P – сравняващо устройство

– R_t – сензор (термистор

– P – задание за температура

– ОУ3, R_{23}, R_{24}, R_{25} – ~~р~~ П регулатор

– ОУ2 – компаратор

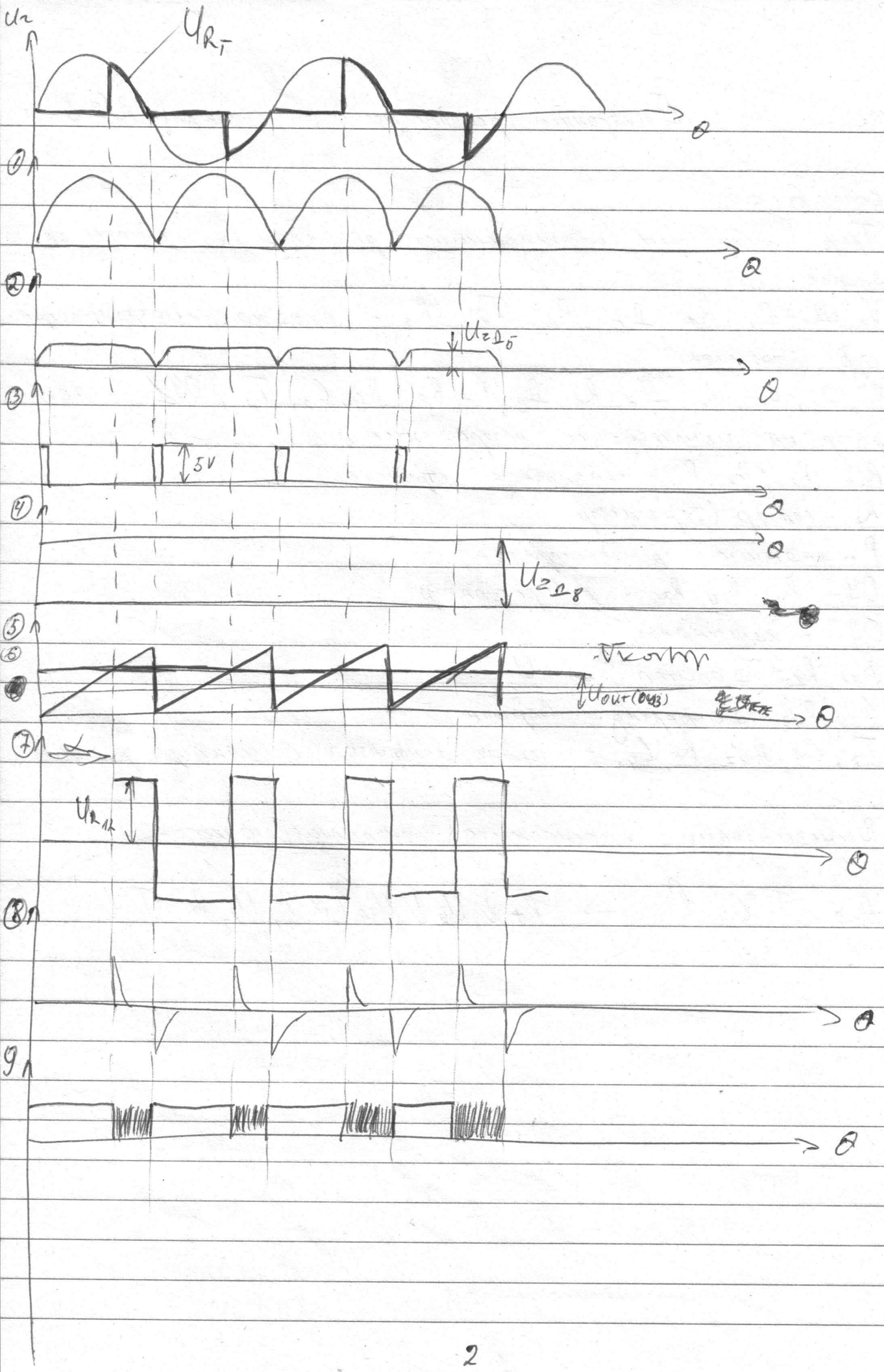
– R_{11}, R_{12} – делител на U

– C_3, R_{13} – диференц. Верига

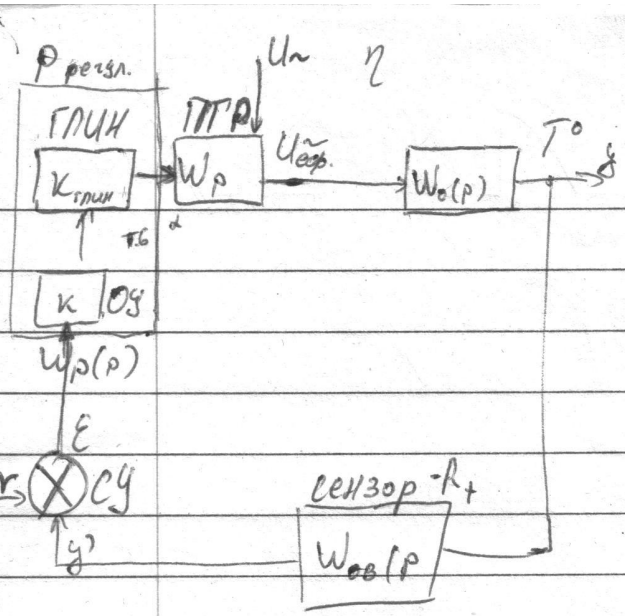
– T_3, C_5, R_{17}, R_{15}, C_4 – блокинг генератор в чакащ режим

② Времедиаграми в основните контролни точки

Ако $T°C \uparrow$ → $R_t \downarrow$, $U_2 \downarrow$, $U_{T6} \uparrow$, $\alpha \uparrow$, $U_{R_T} \downarrow$, $T° \downarrow$



U_2
U_{R_T}
θ
1
2
3
4
5
6
7
8
9
5V
$U_{Z_{D_5}}$
$U_{Z_{D_8}}$
$U_{OUT(OUT3)}$
$U_{R_{12}}$



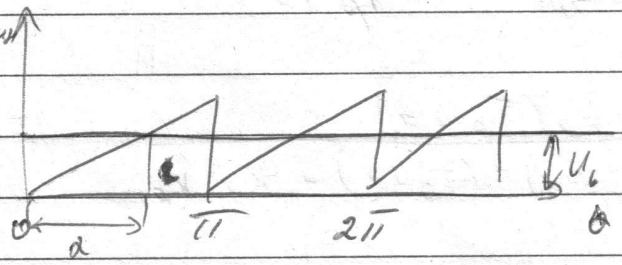
$$W_о(р) = \frac{K_о}{T_2^2 р^2 + T_1 р + 1}$$

$$W_{ов}(р) = \frac{K_2}{T р + 1}$$

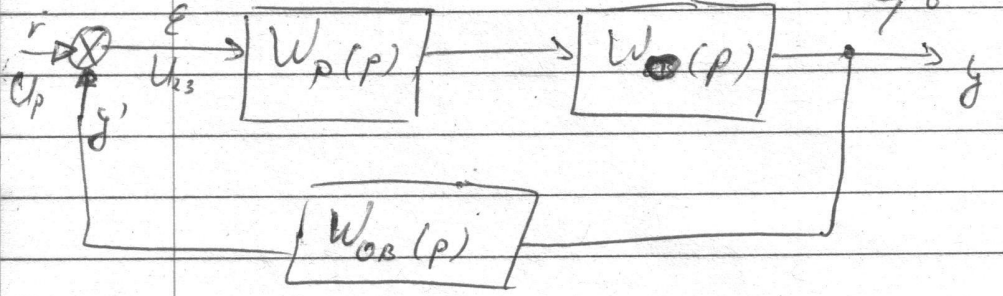
$$W_{р\,(ТПР)} = \frac{U_{RMS}(р)}{\alpha(р)}$$

Вопрос 2 !

$K_{гпин.} = ?$



$$U_б = \frac{U_{max}}{\pi} \cdot \alpha \qquad \Rightarrow \alpha = \frac{\pi \cdot U_о}{U_{max} \cdot K_о} \Rightarrow x = \frac{\pi}{U_{max}}$$



$$W_р(р) = K \cdot K_{гпин}$$

$$W'_о(р) = W_о(р) \cdot W_{(ТПР)}(р) = \frac{K_о \cdot K_з^{ТПР}}{T_2^2 р^2 + T_1 р + 1}$$

$$W_{ов}(р) = \frac{K_2}{T_1 р + 1}$$

$$W_r(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_o'(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_o'(p) \cdot W_{ов}(p)}$$

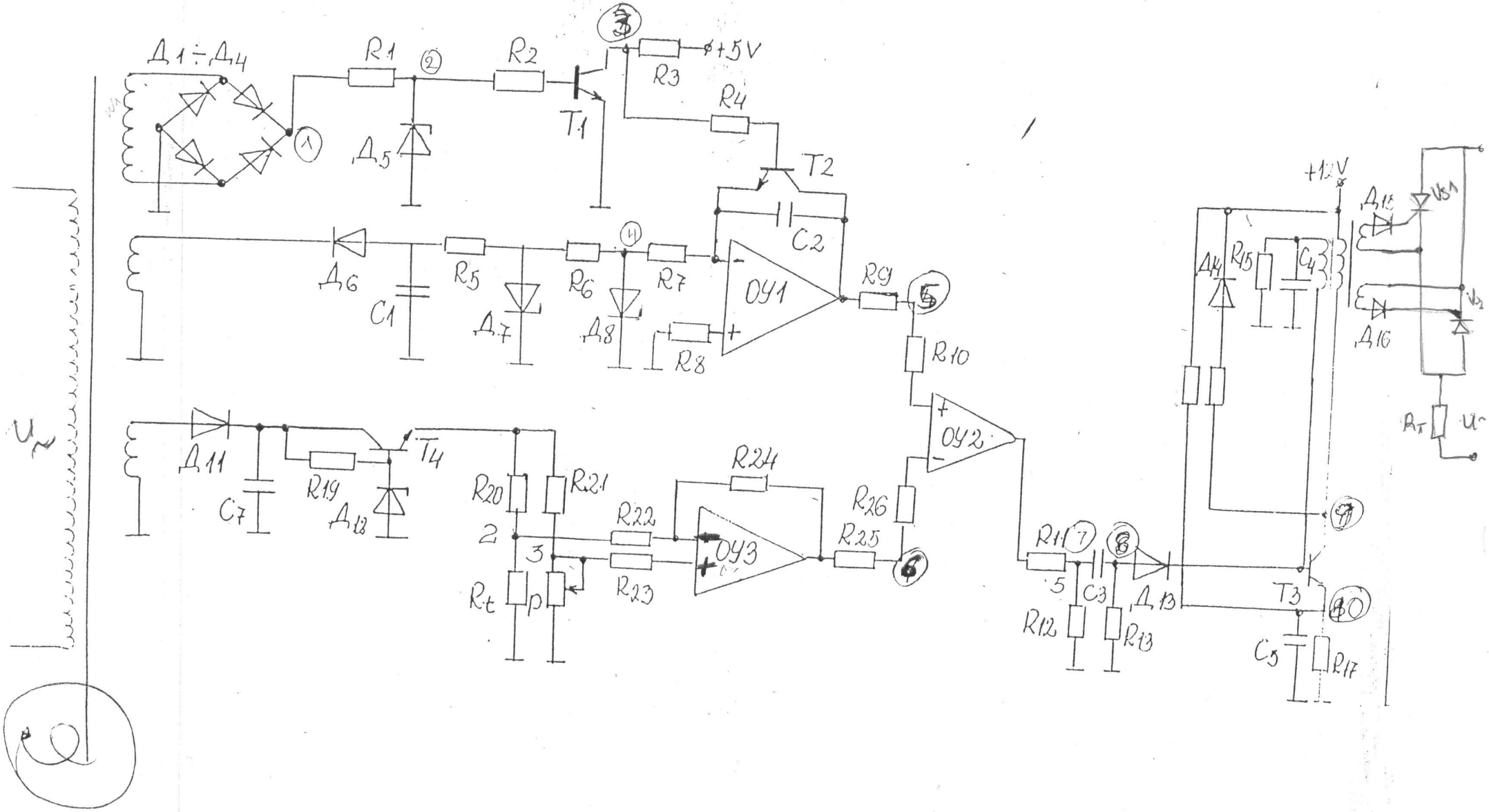
с $K_1 = K_{оу} \cdot K_{грин} \cdot K_{объект} \cdot K_{птр}$

$$\Rightarrow W_r(p) = \frac{\frac{K_1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}}{1 + \frac{K_1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \cdot \frac{K_2}{Tp + 1}}$$

$$\Rightarrow W_r(p) = \frac{K_1 (Tp + 1)}{(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1) \cdot (Tp + 1) + K_1 \cdot K_2}$$ - Устойчивост по Хурвиц.

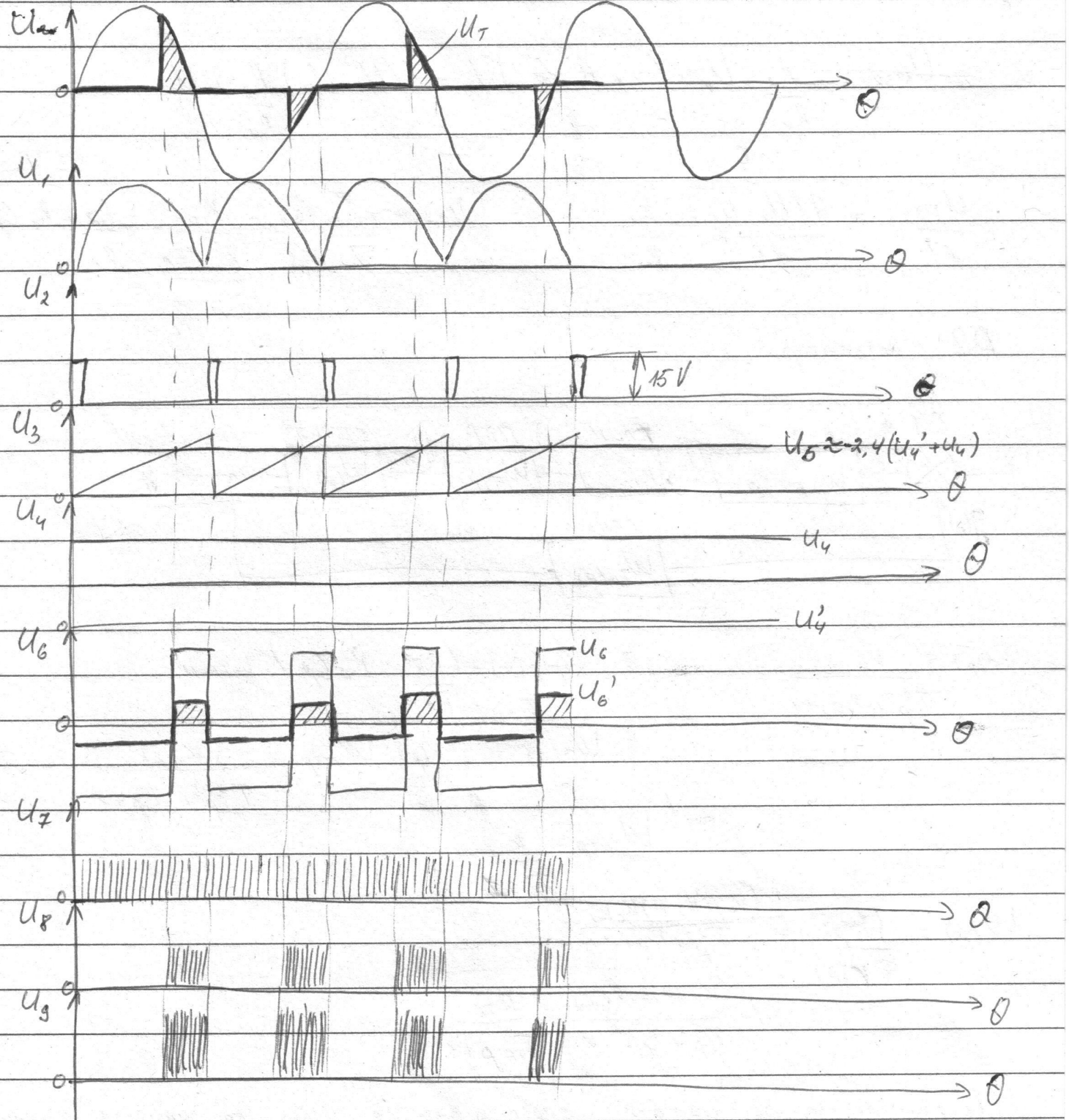
$$\underbrace{T \cdot T_2^2}_{a_0} p^3 + \underbrace{T_2^2 p^2 + T \cdot T_1 p^2}_{a_1} + \underbrace{T_1 p + Tp}_{a_2} + \underbrace{1 + K_1 K_2}_{a_3}$$

$$\begin{cases} a_0, a_1, a_2, a_3 > 0 \\ a_1 \cdot a_2 - a_0 a_3 > 0 \end{cases}$$

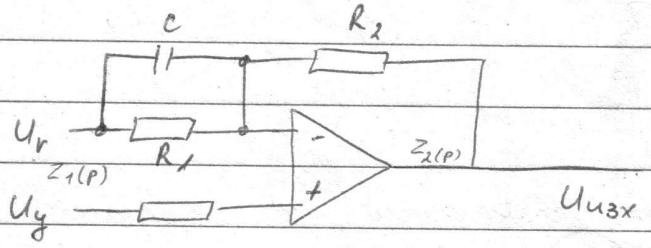

Д1÷Д4
R1
R2
R3
+5V
R4
T1
T2
Д5
C2
Д6
C1
R5
Д7
R6
Д8
R7
R8
ОУ1
R9
R10
ОУ2
Д11
C7
R19
Д18
T4
R20
R21
R22
R23
R24
R25
R26
ОУ3
Rt
R11
R12
C3
R13
Д13
T3
C5
R17
+12V
Д14
Д15
Д16
Д4
R15
C4
Rт

26.10.2010г. Електронни регулатори лекция № 7

- DA1A и DA2A – сх. за плавно изменение на заданието



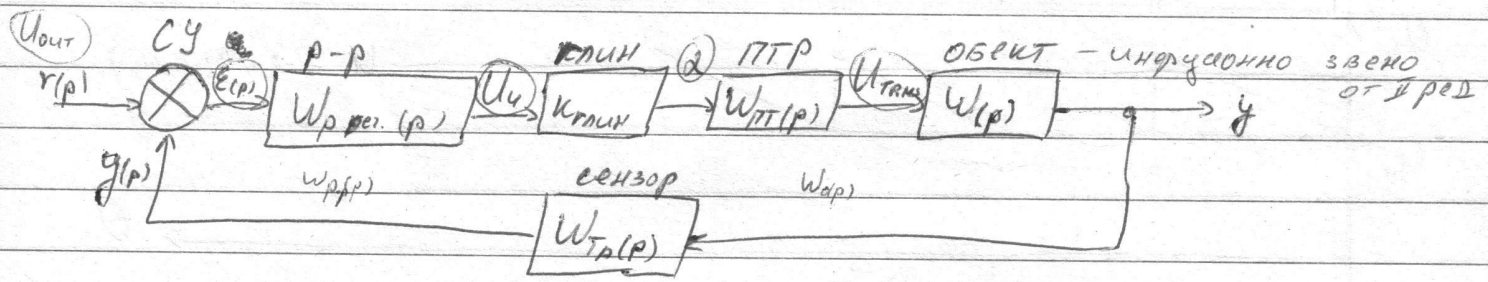
$T^\circ\uparrow, U_{out}\uparrow, U_c\downarrow, U_5\uparrow, \alpha\uparrow, U_T\downarrow, T^\circ\downarrow$



$$U_{изх.} = -\frac{R_2}{R_1}\cdot U_r + \left(1 + R_2/R_1\right)U_y = -(U_r - U_y)\cdot\frac{R_2}{R_1} + U_r$$

$$\frac{U_{изх.}}{dt} = \frac{d\overbrace{(U_r - U_y)}^{\varepsilon}}{dt}\cdot\frac{R_2}{R_1}\quad;\quad W(p) = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} = \frac{R_2}{\frac{R_1/pC}{R_1 + 1/pC}} = \overbrace{\frac{R_2 + R_2 Cp}{R_1}}^{K + Tp}$$

PD - регулатор



$$W_{o(p)} = \frac{K_0}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$$

② $W_{p\text{-}p(p)} = \left(\frac{R_2}{R_1} + R_2 Cp\right)\cdot K_{тпим}$

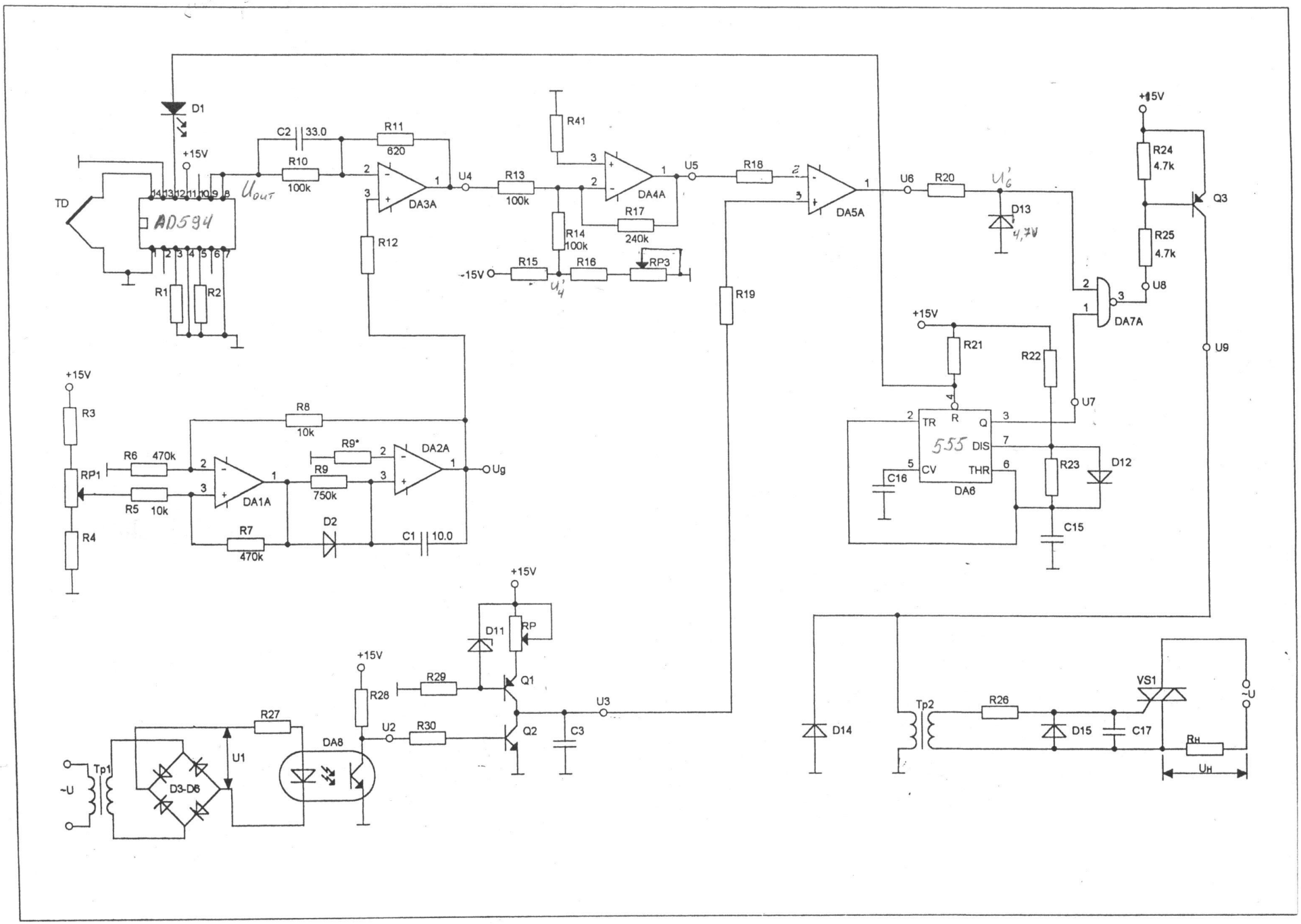
③ $W_{o(p)} = W_{(p)}\cdot W_{ТПР} = \frac{K_0 \cdot K_\alpha}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$

$$W_{ТД(p} = \frac{K_{ТД}}{T_{ТД} + 1}$$

$$W_{(p)} = \frac{y_{(p)}}{r_{(p)}} = \frac{(K_1 + K_2 p)K_0 K_\alpha}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$$

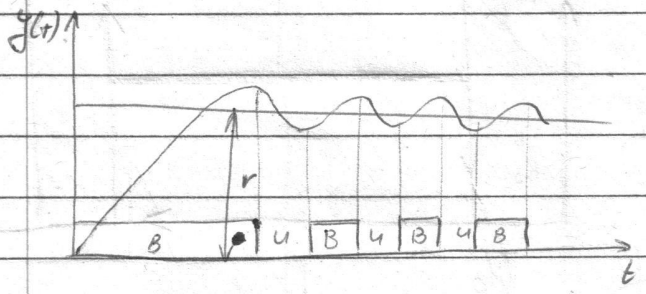
$$1 + \frac{(K_1 + K_2 p)K_0 K_\alpha}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}\cdot\frac{K_{ТД}}{T_{ТД} p + 1}$$

Извършват се действията отстоящи се и се намира характеристичния полином — !!! Виж предната лекция !!!

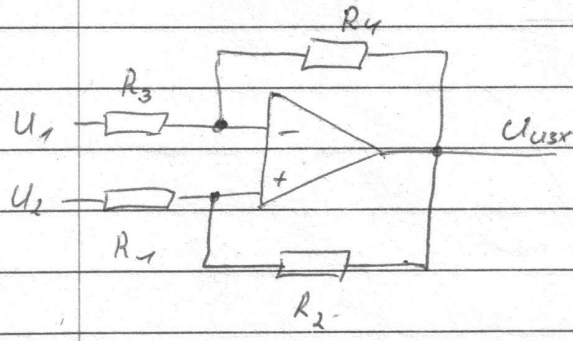


TD
AD594
D1
+15V
R1
R2
C2
33.0
R10
100k
R11
620
DA3A
R12
U4
R13
100k
R41
DA4A
R14
100k
R17
240k
R15
R16
RP3
-15V
U5
R18
DA5A
R19
U6
R20
D13
4,7V
+15V
R24
4.7k
Q3
R25
4.7k
U8
DA7A
U9
R21
R22
U7
555
TR
R
Q
DIS
CV
THR
DA6
C16
R23
D12
C15
R3
RP1
R4
R6
470k
R5
10k
R8
10k
R9*
R9
750k
DA1A
DA2A
Ug
R7
470k
D2
C1
10.0
D11
RP
Q1
Q2
R29
R28
R30
U2
U3
C3
R27
DA8
U1
D3-D6
Tp1
~U
D14
Tp2
R26
D15
C17
VS1
RH
UH

Въпрос 11. Релеен регулатор



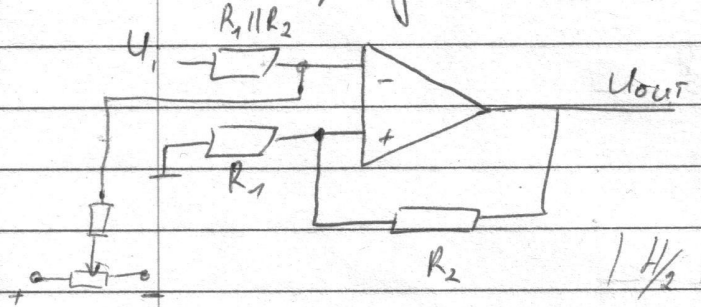
Избор на закон за регулиране в 5ти въпрос



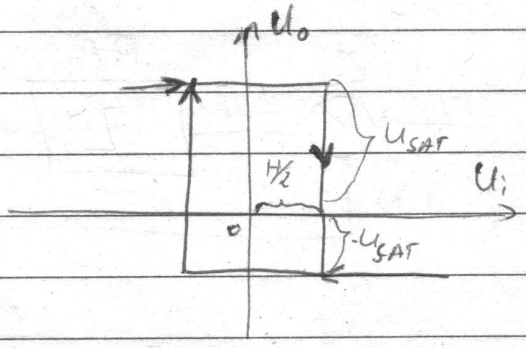
$$\beta_0 = \frac{R_3}{R_3 + R_4}, \quad \beta_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\boxed{\beta_p > \beta_0}$$

1. Инвертиращ. Релеен р-р

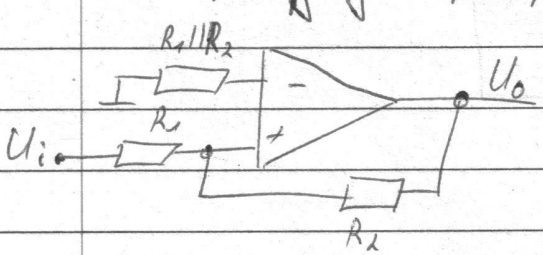


$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

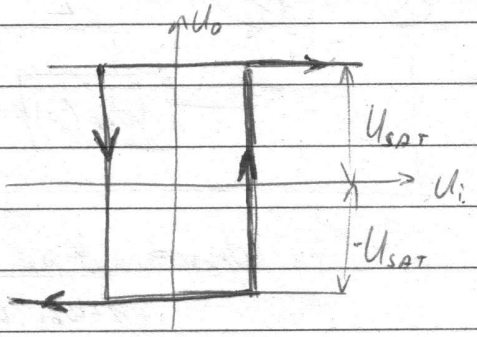


$$|H/2| = \frac{|U_{SAT}| \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

2. Неинвертиращ. р. р-р



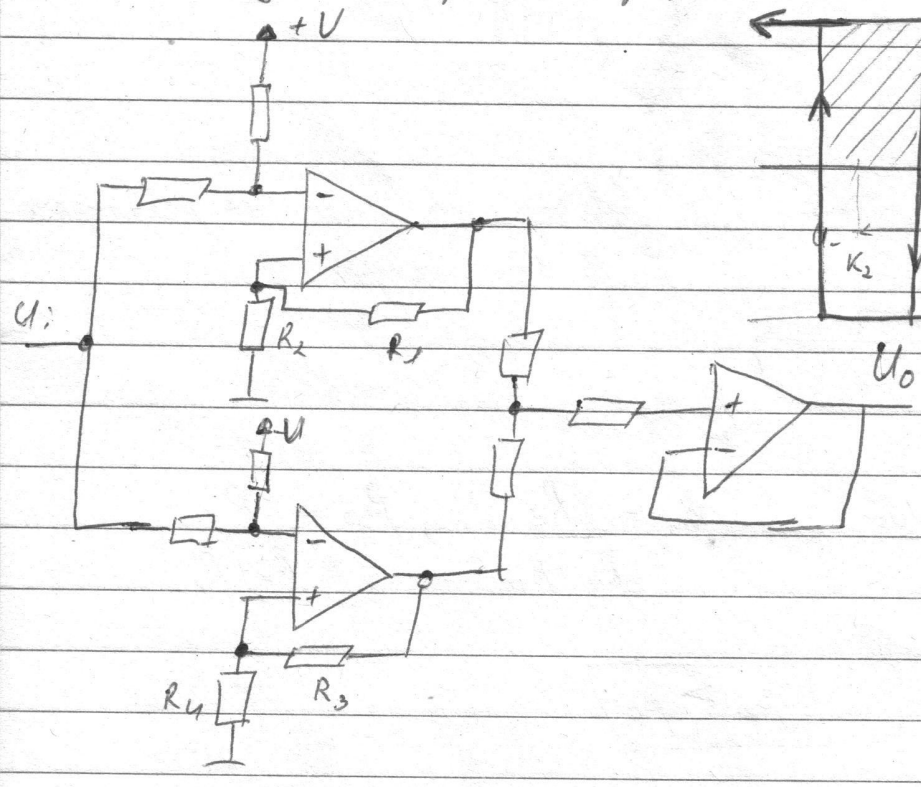
$$\frac{U_i}{U_0} = \frac{R_1}{R} = \beta$$

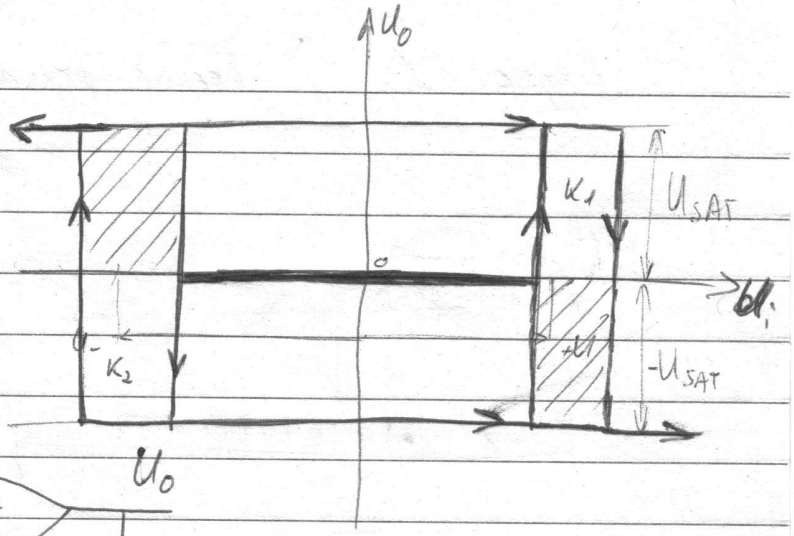


!!! Вниж. Въпрос № 4 !!!

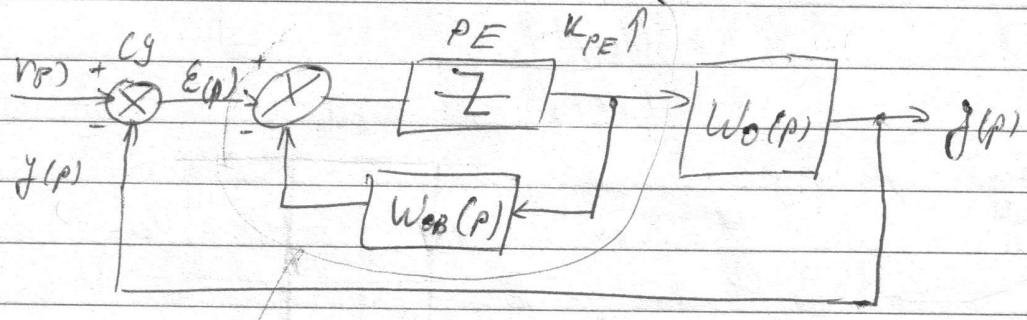
Двупозиционни релейни регулатори

3. Трипозиционен релеен р-р.

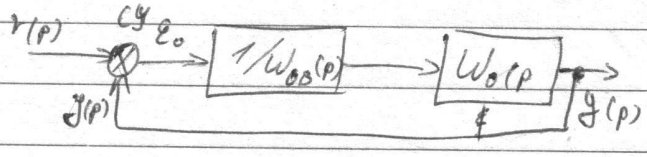






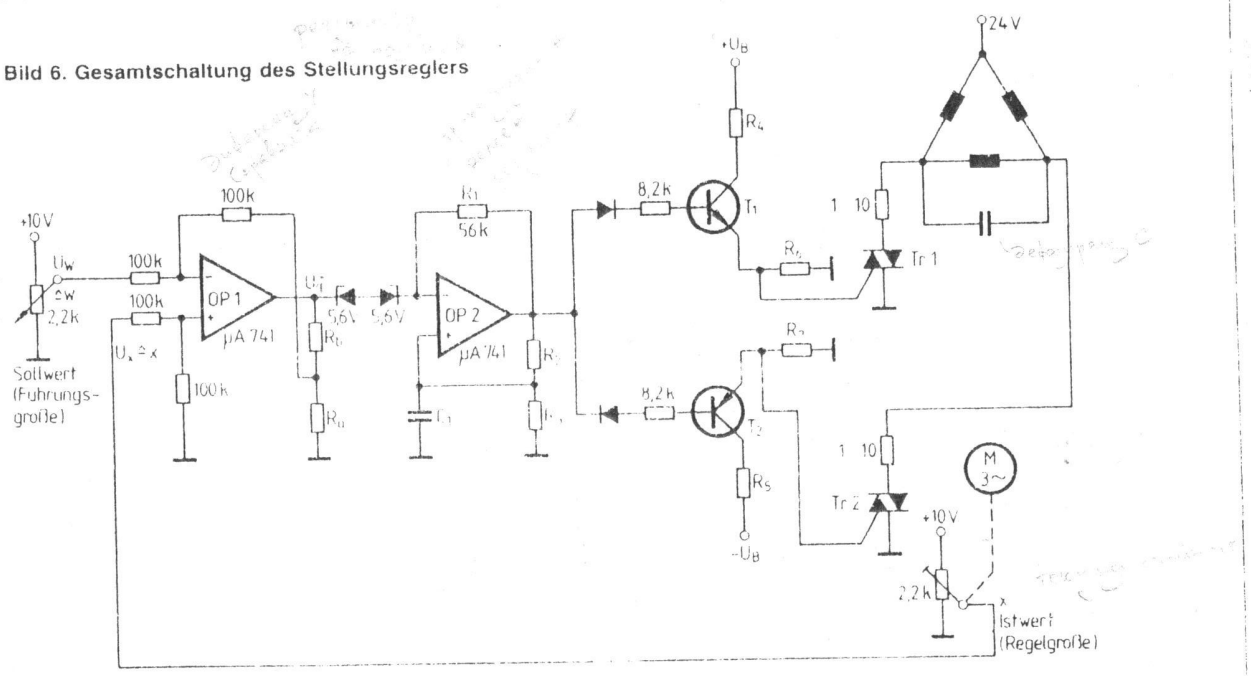


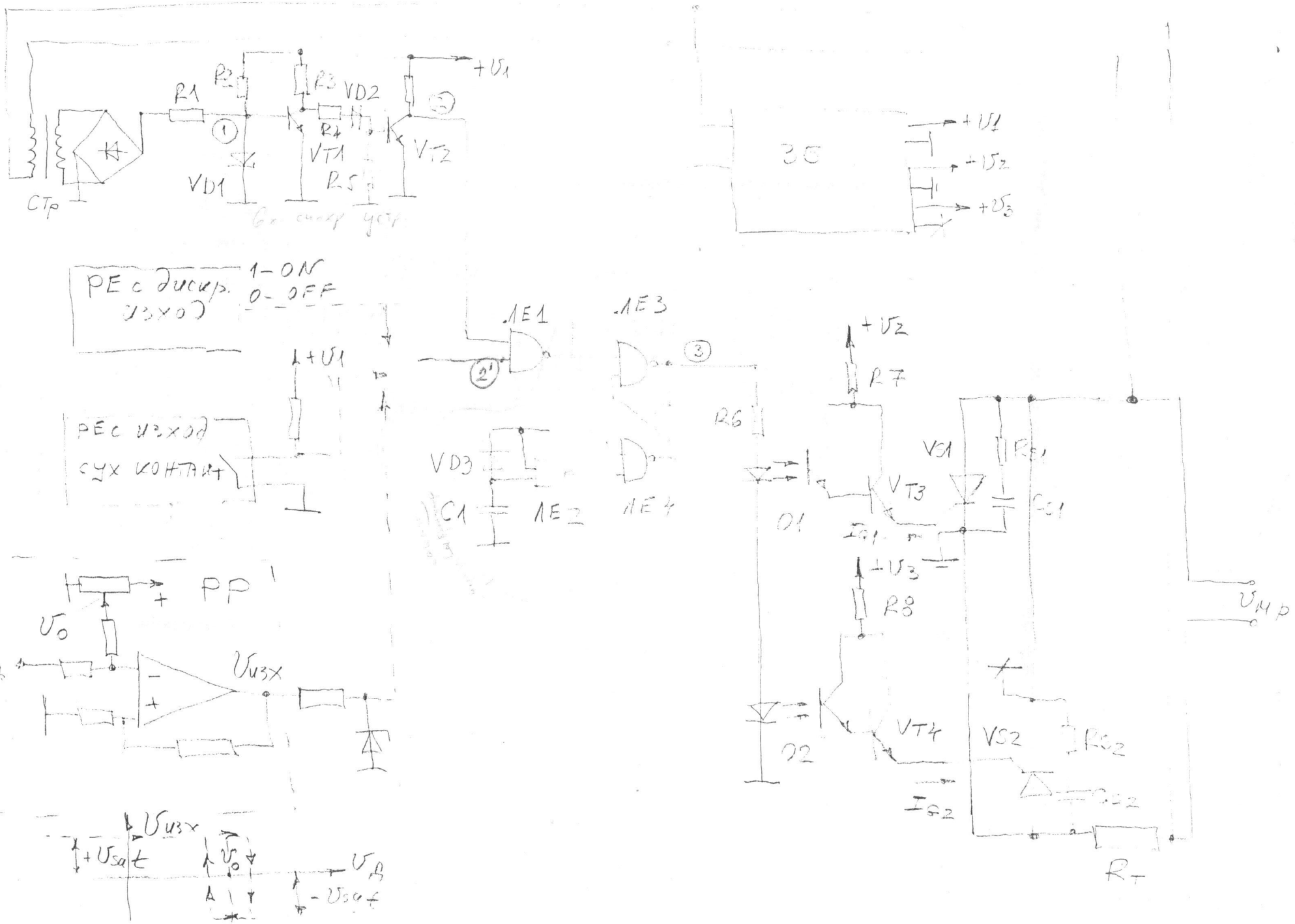
$$W_{PE}(p) = \frac{K_{PE}}{1+W_{OB}\cdot K_{PE}} \approx \frac{1}{W_{OB}(p)}$$



Лекция 7

Bild 6. Gesamtschaltung des Stellungsreglers





R1
R2
R3
VD2
R4
VT1
VT2
R5
VD1
СТр
+U1
1
2
3
ЗБ
+U1
+U2
+U3
РЕ с дискр. изход
1 – ON
0 – OFF
РЕ с изход сух контакт
+U1
ЛЕ1
ЛЕ3
2'
3
VD3
C1
ЛЕ2
ЛЕ4
R6
+U2
R7
VS1
RS1
VT3
CS1
O1
IG1
+U3
R8
VT4
VS2
RS2
O2
IG2
CS2
RT
Uмр
РР
+
U0
Uизх
Uизх
+Usat
U0
UД
-Usat

10.11.2010 г. Електронни регулатори лекция № 8

Въпрос 7 Регулатор на напрежение

① Повишаващ трафо

② Сх. за измерване на ефективна стойност

③ PI - регулатор

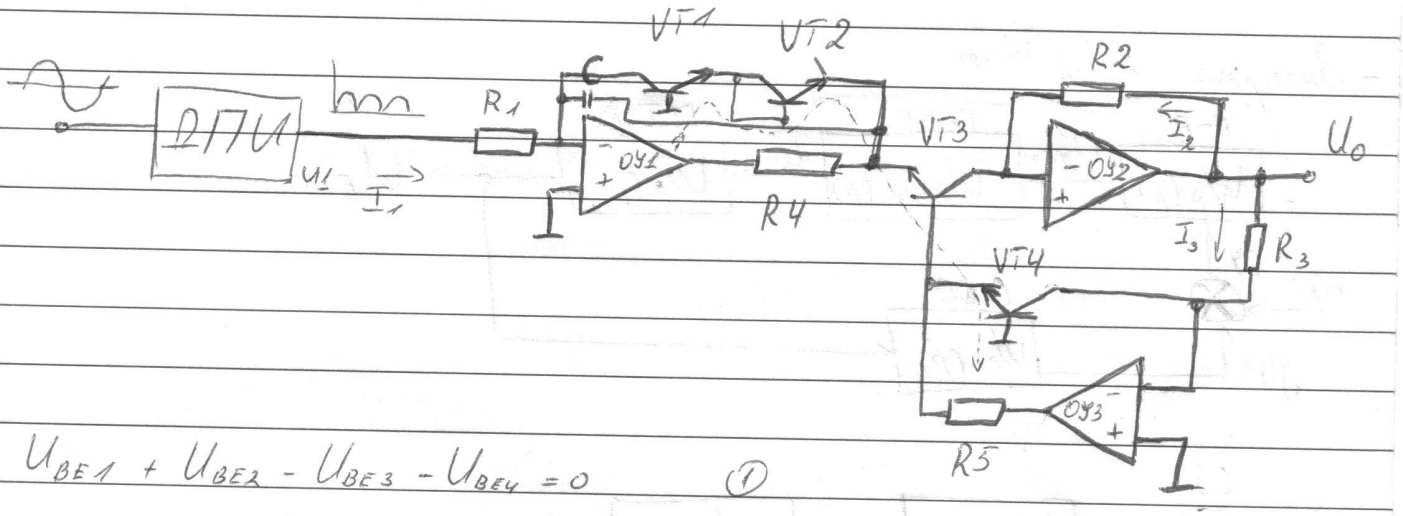
④ Задание

ИФ - импулсен формирователь

⑤ Компаратор

Вх. у. + к + ИФ + ГЛИН = входно синхронизиращо устройство

ДАЗ - двуполупериоден прецизен изправител (Въпрос 3)



$U_{BE1} + U_{BE2} - U_{BE3} - U_{BE4} = 0$ ①

$k \cdot \ln \frac{I_1}{I_{S1}} + k \ln \frac{I_1}{I_{S2}} - k \cdot \ln \frac{I_2}{I_{S3}} - k \cdot \ln \frac{I_3}{I_{S4}} = 0$ ②

$\frac{1}{T} \int_0^T \frac{I_1^2}{I_{S1} \cdot I_{S2}} = \frac{I_2 \cdot I_3}{I_{S3} \cdot I_{S4}}$ ③

$\frac{1}{T} \int_0^T I_1^2 = I_2 \cdot I_3$ ④

$$\frac{1}{T}\int_0^T \frac{U_i^2}{R_1^2} = \frac{U_0^2}{R_2 \cdot R_3} \quad (5)$$

$$U_0 = \frac{\sqrt{R_2 R_3}}{R_1} \cdot \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T U_i^2 dt} \quad (6)$$

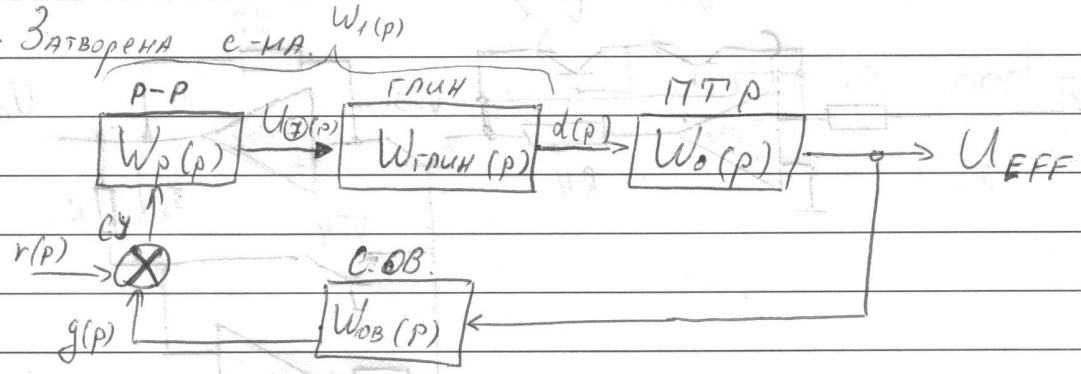
AD736, LH0091, LH1966, AD636

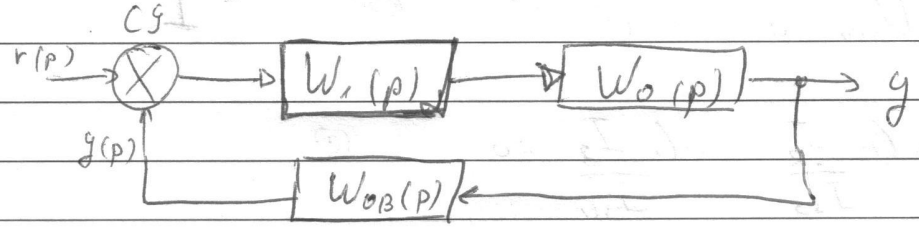
бл. (3) $$U_{изх} = U_r \cdot \left(1 - \frac{Z_2}{Z_1}\right) - U_y \frac{Z_2}{Z_1} = U_r + U_r \frac{Z_2}{Z_1} - U_y \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$U_{изх} = (U_r - U_y)\frac{Z_2}{Z_1} + U_r$$

$$\frac{dU_{изх}}{dt} = \frac{d(U_r - U_y)}{dt} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \Rightarrow W(p) = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)}$$

- Затворена с-ма



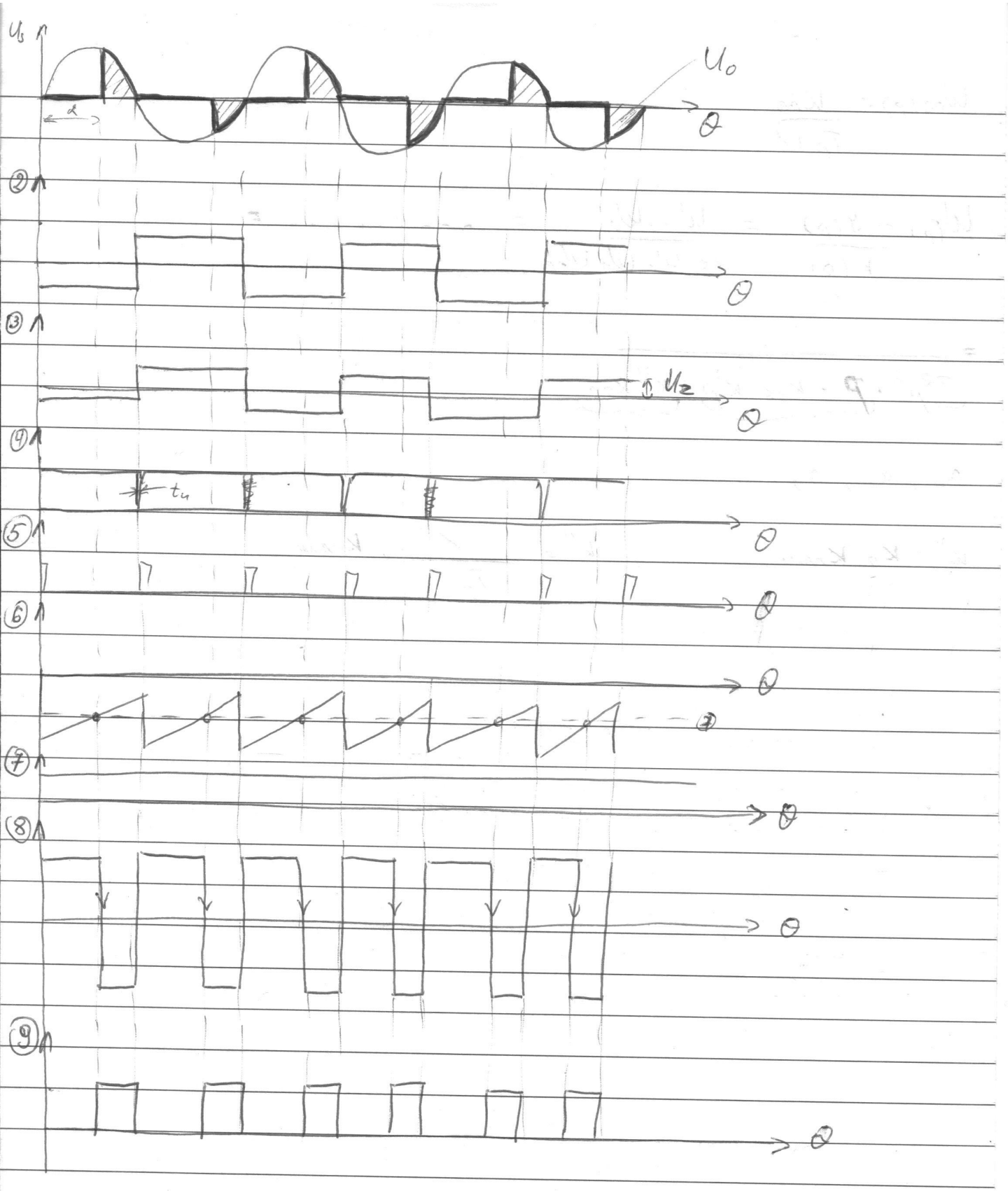


$$W_{(p)} = W_{р(p)} \cdot W_{глин(p)} = \left(k_п + \frac{1}{T_I p}\right) \cdot K_{глин}$$

/ $W_{о(p)} \rightarrow k_д$

Въпрос 2

Продължава на 4. стр.



$U_s \uparrow U_{o_{DAC}} \uparrow U_7 \downarrow \alpha \uparrow U_o \downarrow$

$$W_{ов}(p) = \frac{K_{ов}}{Tp+1}$$

$$W_{(p)} = \frac{y(p)}{r(p)} = \frac{W_1 \cdot W_0}{1 + W_1 \cdot W_0 \cdot W_{ов}} = \dots\dots\dots =$$

$$= \frac{}{T^2 p^2 + p + K_{ов} \cdot K' p + K'' \cdot K_{ов}}$$

a_0, a_1, a_2

$K' = K_п \cdot K_{глин}$; $K'' = \frac{1}{T_I} \cdot K_{глин}$

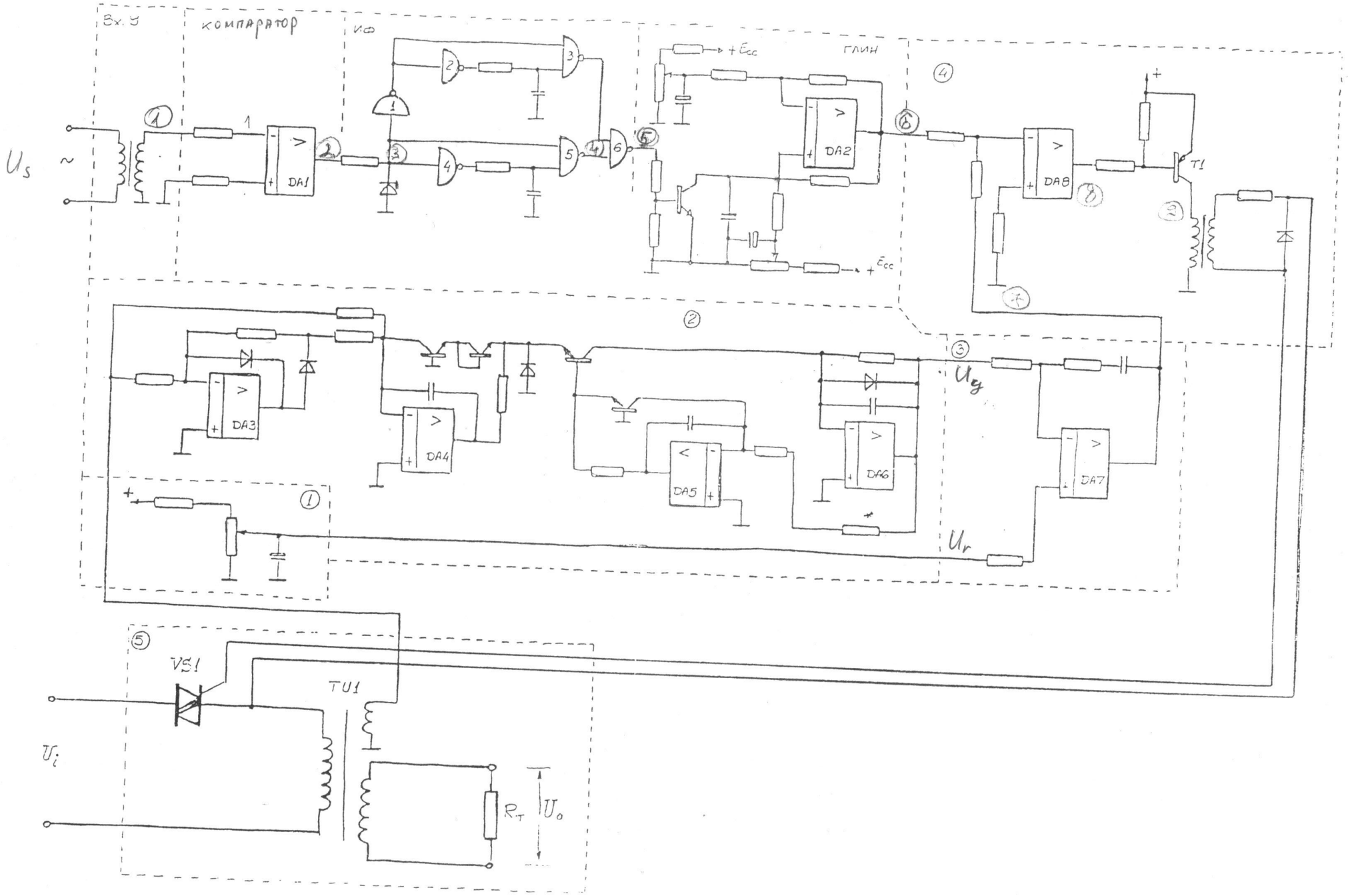
$$W_{ов}(p) = \frac{K_{ов}}{Tp+1}$$

$$W_{(p)} = \frac{y(p)}{r(p)} = \frac{W_1 \cdot W_0}{1 + W_1 \cdot W_0 \cdot W_{ов}} = \dots\dots\dots\dots =$$

$$= \frac{}{T^2 p^2 + p + K_{ов} \cdot K' p + K'' \cdot K_{ов}}$$

a_0, a_1, a_2

$K' = K_п \cdot K_{глин}$; $K'' = \frac{1}{T_I} \cdot K_{глин}$

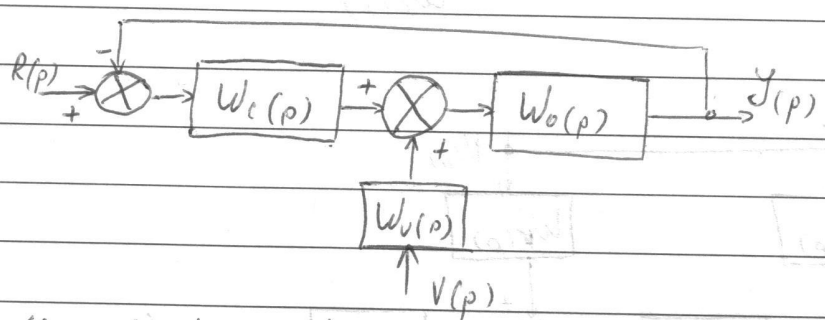

Вх. У
компаратор
ИФ
ГЛИН
U_s
DA1
DA2
DA3
DA4
DA5
DA6
DA7
DA8
T1
U_y
U_r
VS1
TU1
U_i
R_T
U_o

17.11.2010 г. Електронни регулатори лекция № 9

Въпрос 10. Принципи на регулиране

- По [redacted] отклонение
- По смущение
- Комбиниран

①



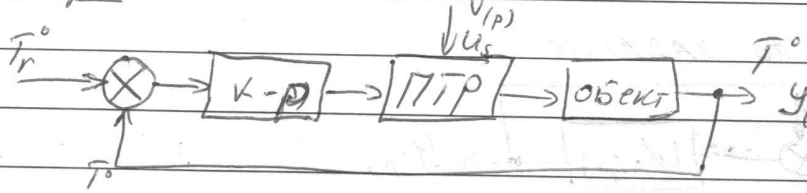
② $Y(p) = W_{c(p)} \cdot W_{o(p)} \cdot R_{(p)} + W_{v(p)} \cdot V_{(p)}$ - на отворена верига

③ $\frac{Y(p)}{R(p)} = \frac{W_{c(p)} \cdot W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} \cdot W_{o(p)}}$ - по задание

④ $\frac{Y(p)}{V(p)} = \frac{W_{v(p)} \cdot W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} \cdot W_{o(p)}}$ - по смущение

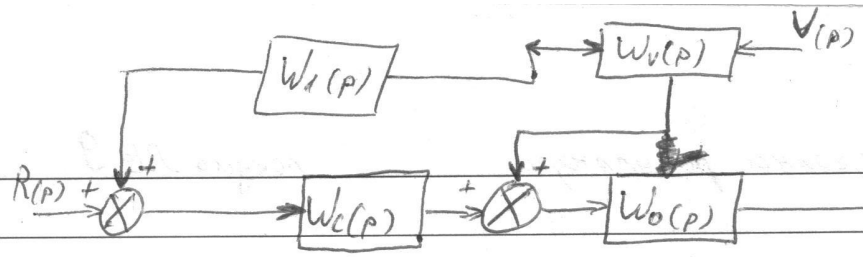
⑤ $Y(p) = \frac{W_{c(p)} \cdot W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} \cdot W_{o(p)}} \cdot R_{(p)} + \frac{W_{v(p)} \cdot W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} W_{o(p)}} \cdot V_{(p)}$

Пример:



По откроение!!!

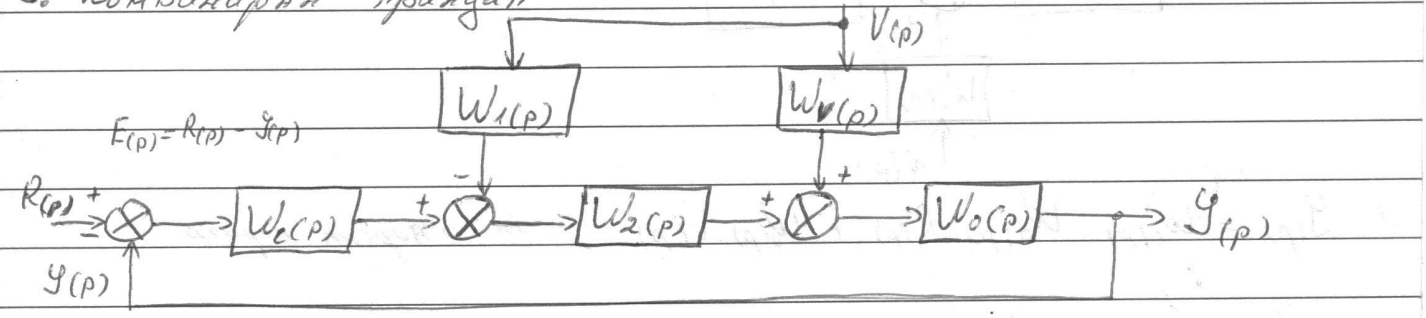
2. По смущение:



⑤ $Y_{(p)} = W_{c(p)} \cdot W_{o(p)} \cdot R_{(p)} + \underbrace{\left[W_{v(p)} + W_{1(p)} \cdot W_{c(p)} \right]}_{\parallel 0} W_{o(p)} \cdot V_{(p)}$

⑥ $W_{v(p)} + W_{1(p)} \cdot W_{c(p)} = 0 \Rightarrow$ ⑦ $W_{1(p)} = \dfrac{W_{v(p)}}{W_{c(p)}}$

3. Комбиниран принцип



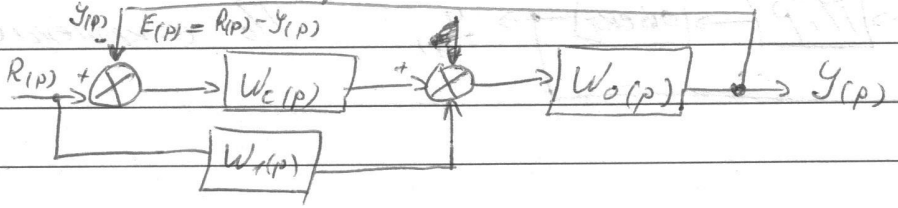
⑧ $Y_{(p)} = W_{c(p)} \cdot W_{2(p)} \cdot W_{o(p)} \left[R_{(p)} - Y_{(p)} \right] + \left[W_{v(p)} \cdot W_{o(p)} - W_{1(p)} \cdot W_{2(p)} \cdot W_{o(p)} \right] \cdot V_{(p)}$

⑨ За затворена с-ма

$$Y_{(p)} = \frac{W_{c(p)} W_{2(p)} \cdot W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} \cdot W_{2(p)} \cdot W_{o(p)}} \cdot R_{(p)} + \frac{\left[W_{v(p)} + W_{1(p)} \cdot W_{2(p)} \right] W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} \cdot W_{2(p)} W_{o(p)}} \cdot V_{p}$$

⑩ $W_{v(p)} = W_{1(p)} \cdot W_{2(p)}$

4. Допълнителна връзка по задание



⑪ $Y_{(p)} = W_{c(p)} \cdot W_{o(p)} \cdot E_{(p)} - W_{1(p)} \cdot W_{o(p)} \cdot R_{(p)}$

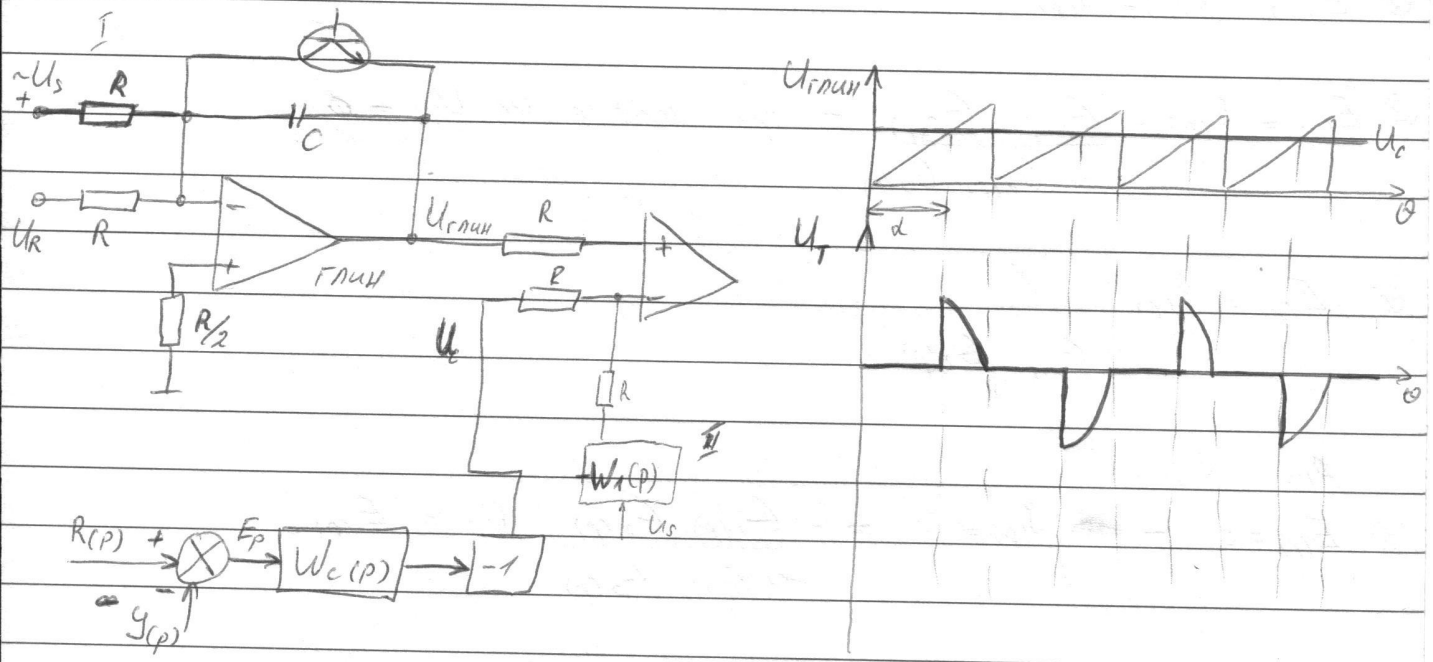
(12) $Y_{(p)} = W_{c(p)} \cdot W_{o(p)} \left[R_{(p)} - Y_{(p)} \right] + W_{z(p)} \cdot W_{o(p)} \cdot R_{(p)}$

(13) $\frac{V_{(p)}}{R_{(p)}} = \frac{W_{c(p)} \cdot W_{o(p)} + W_{z(p)} \cdot W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} \cdot W_{o(p)}}$

(14) $\frac{E_{(p)}}{R(p)} = \frac{1 - W_{1(p)} \cdot W_{o(p)}}{1 + W_{c(p)} \cdot W_{o(p)}}$

Практически пример:

Как да въведем директна връзка по смущение.

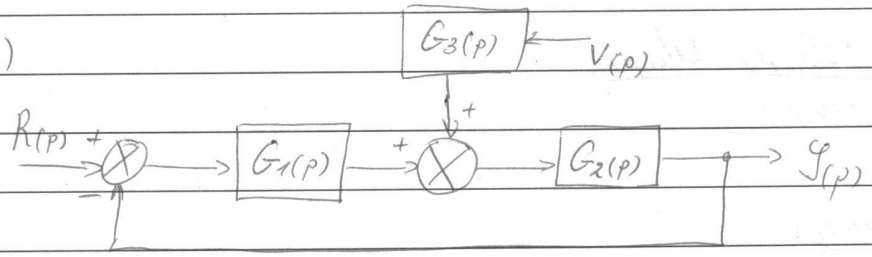


I $\sim U_s \uparrow$, $\alpha \downarrow$, $U_T \approx const$

II $U_s \uparrow$, $\alpha \uparrow$, $U_T \approx const$

Въпрос № 9. Точност на регулаторите

1.)



① $Y(p) = \dfrac{G_1(p) \cdot G_2(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} R(p) + \dfrac{G_3(p) \cdot G_2(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} \cdot V(p)$

② $E(p) = R(p) - Y(p)$

③ $E(p) = R(p) - \dfrac{G_1(p) \cdot G_2(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)}$ = при условие че $V(p) = 0$

④ $E(p) = R(p) \dfrac{1}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)}$

Ако $R(p) = 0$

⑤ $E(p) = 0$ — $Y(p) = \ldots = -\dfrac{G_3(p) \cdot G_2(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} V_p = E(p)$

2.) Тип на системата: $G_1(p) \cdot G_2(p) = \dfrac{k \cdot (\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1) \ldots (\tau_m p + 1)}{p^i (T_1 p + 1)(T_2 p + 1) \ldots (T_n p + 1)}$

при $n > m$

Типа на системата зависи от i $\quad i = 0$; $i = 1$; $i = 2$

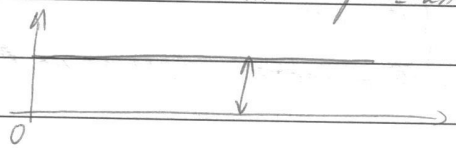
$e(t) = ?$ — в установен режим стойност на грешката.

$e(t) = \lim\limits_{t \to \infty} e(t) = e(\infty)$

$\lim_{t\to\infty} f(t) = \lim_{p\to 0} F(p) = f(\infty)$ | $\lim_{t\to 0} f(t) = \lim_{p\to\infty} p \cdot F(p) = f(0)$

$e_{уст.}(t) = \lim_{t\to\infty} e(t) = e(\infty) = \lim_{p\to 0} p \cdot F_{(p)}$

3. Изменение на грешката при стъпково изменение



$v(t) = 0$ за $t \leq 0$

или

$R(p) = \frac{a}{p}$; $V(p) = \frac{a}{p}$ $\quad v(t) = a$ за $t > 0$

– изменение на грешката по задание

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = e(\infty) = \lim_{p\to 0} p \cdot \frac{1}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} \cdot \frac{a}{p} = \lim_{p\to 0} \frac{a}{1 - G_1(p) \cdot G_2(p)}$$

– – // – по смущение

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = e(\infty) = \lim_{p\to 0} p \frac{G_2(p) \cdot G_3(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} \cdot \frac{a}{p} = \lim_{p\to 0} \frac{-G_2(p) \cdot G_3(p) \cdot a}{1 + G_1(p) G_2(p)}$$

4. Системи тип 0

– по задание

$$e_{уст.}(t) = \lim_{p\to 0} \frac{a}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} \; ; \; \lim_{p\to 0} G_1(p) \cdot G_2(p) \to K$$

$$\Rightarrow \boxed{e_{уст.}(t) = e(\infty) = \frac{a}{1+K} = const}$$

– по смущение

$$e_{уст.}(t) = e(\infty) = \lim_{p\to 0} p \cdot \frac{-G_3(p) \cdot G_2(p) \cdot a}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} = \frac{a \cdot K}{1+K} = const$$

5. Системи тип 1

– по задание

$$e_{уст.}(t) = e(\infty) = \lim_{p \to 0} \frac{a}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} = 0, \quad G_1(p) \cdot G_2(p) \underset{p \to 0}{\to} \infty$$

– по смущение

$$e_{уст.}(t) = e(\infty) = \lim_{p \to 0} p \cdot \frac{-G_2(p) \cdot G_3(p) a}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} \begin{cases} ① = 0 \\ ② = \text{неопр.} \end{cases}$$ Правило на Лопитал

Има 2 случая в зависимост от индивидуалния вид на $G_1(p)$ и $G_2(p)$

① Ако интегрирането е в $G_1(p) \Rightarrow G_2(p) \cdot G_3(p) \to k \to const$

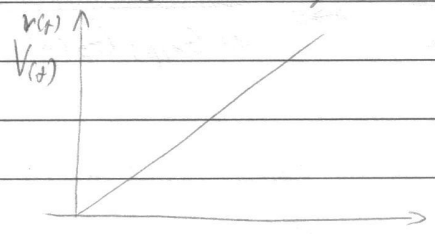
② Ако интегрирането е в $G_2(p) \Rightarrow \lim_{p \to 0} G_2(p) \cdot G_3(p) \to \infty$

$$e_{уст.}(t) = e(\infty) = \lim_{p \to 0} - \frac{(G_2(p) \cdot G_3(p) \cdot a)'}{(1 + G_1(p) \cdot G_2(p))'} = \frac{a \cdot K_1}{K_2} = const$$

6. Системи тип 2

– по задание

7. Изменение на грешката по линеен закон



$$V(t) \begin{cases} 0 \text{ за } t \le 0 \\ a.t \text{ за } t > 0 \end{cases} \to R(p) = a/p^2 \qquad V(p) = a/p^2$$

– по задание

$$\underset{t \to \infty}{e(t)} = e(\infty) = \lim_{p \to 0} p \frac{1}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} \frac{a}{p^2} = \lim_{p \to 0} \frac{a}{[1 + G_1(p) \cdot G_2(p)]p}$$

– по смущение

$$\underset{t \to \infty}{e(t)} = e(\infty) = \lim_{p \to 0} p \cdot \frac{-G_2(p) \cdot G_3(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)} \cdot \frac{a}{p^2} = \lim_{p \to 0} - \frac{a G_2(p) \cdot G_2(p)}{[1 + G_1(p) \cdot G_2(p)]p}$$

– Системи тип 0

* по ЗАДАЩИЕ y по смущение:

т.к. $\lim_{p \to 0} G_1(p) \cdot G_2(p) \to K$

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e(\infty) \to \infty$$

– Системи тип 1

* по ЗАДАЩИЕ

$G_1(p) \cdot G_2(p)$ $\underset{p \to 0}{\text{ще е}}$ $\frac{K}{p}$

$$\Rightarrow e(\infty) = \lim_{p \to \infty} \frac{a}{p\left(1 + \frac{K}{p}\right)}$$

$$\frac{1 + K/p}{1/p}$$ и прилагаме Лопитал $\frac{\infty}{\infty}$

$$\Rightarrow e(p) = \lim_{p \to 0} \frac{\frac{a}{-K/p^2}}{-\frac{1}{p^2}} \to \frac{a}{K}$$

* по смущение

т.к $\lim_{p \to 0} G_1(p) \cdot G_2(p)$ $\underset{p \to 0}{\text{ще е}}$ K/p

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e(\infty) = \lim_{p \to 0} - \frac{a \cdot G_2(p)\, G_3(p)}{\underbrace{p \cdot (1 + K/p)}_{\to K}}$$

$$\lim_{p \to 0} - \frac{a \cdot G_2(p) \cdot G_3(p)}{K} \begin{cases} ① & -aK'/K \\ ② & \infty \end{cases}$$

Има два случая:

① интегриращо е в $G_1(p)$

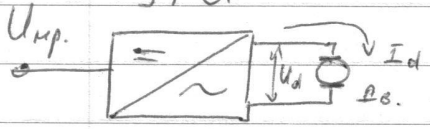
② интегриращо е в $G_2(p)$

Системи тип	Статично изменение на $r(t), V(t)$		Линейно изменение на $r(t), V(t)$	
	по задание	по смущение	по задание	по смущение
0	$\frac{a}{1+K} = const$	$\frac{-a.K'}{1+K} = const$	∞	∞
1	0	инт. в G_1 $= 0$ инт. в G_2 $= \frac{a.K_2}{K_2} = const$	$\frac{a}{K} = const$	инт. в G_1 $= -\frac{a.K'}{K} = const$ инт. в G_2 $= \infty$

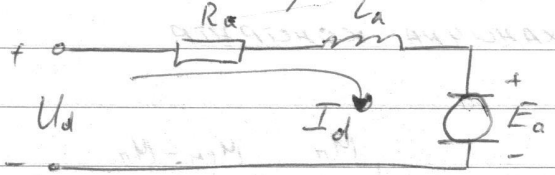
Електронни регулатори – лекция №

Въпрос № 8

АР на оборотите на постояннотоков двигател



Двигател с паралелно възбуждане



① $U_d = L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + R_a L_a + E_a \rightarrow U_d = R_a \cdot I_a + E_a$

$T_e = \frac{L_a}{R_a}$ – електр. времеконстанта t

② $E_a = \underbrace{C_e \cdot \phi}_{K_e} \omega_p$; $C_e = \frac{p \cdot N}{a}$

C_e – ел. константа

p – бр. полюси в статора

N – общ бр на проводниците в роторната намотка

ϕ – поток

ω_p – ъглова скорост на ротора

a – половината от

③ $\boxed{U_d = R_a \cdot I_a + K_e \cdot \omega_p}$ – основно уравнение на роторната верига в установен режим

$$\omega_p = \frac{U_d - R_a . I_a}{K_e}$$

④ $$M_{ем} = J . \frac{d\omega_p}{dt} + M_c . \omega_c + M_п$$

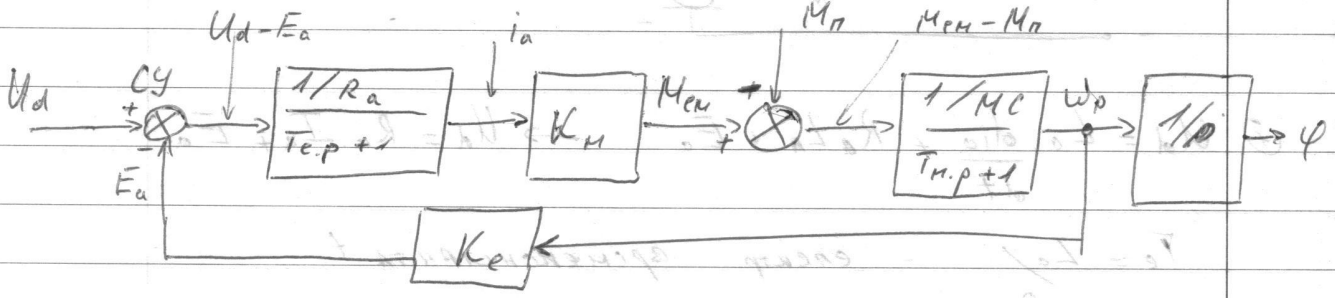
J - инерционен момент

$M_п$ - полезен момент

M_c - съпротивителен момент

⑤ $$T_м = \frac{J}{M_c} \quad ; \quad M_{ем} = C_м . \phi . I_a$$

$$C_м = \frac{p . N}{2\pi a}$$ - механична константа



$$\omega_p = \frac{d\varphi}{dt}$$ φ - ъгъл на завъртане на ротора

Основни предавателни ф-и.

- Предав. ф-я на отворената с-ма по задание:

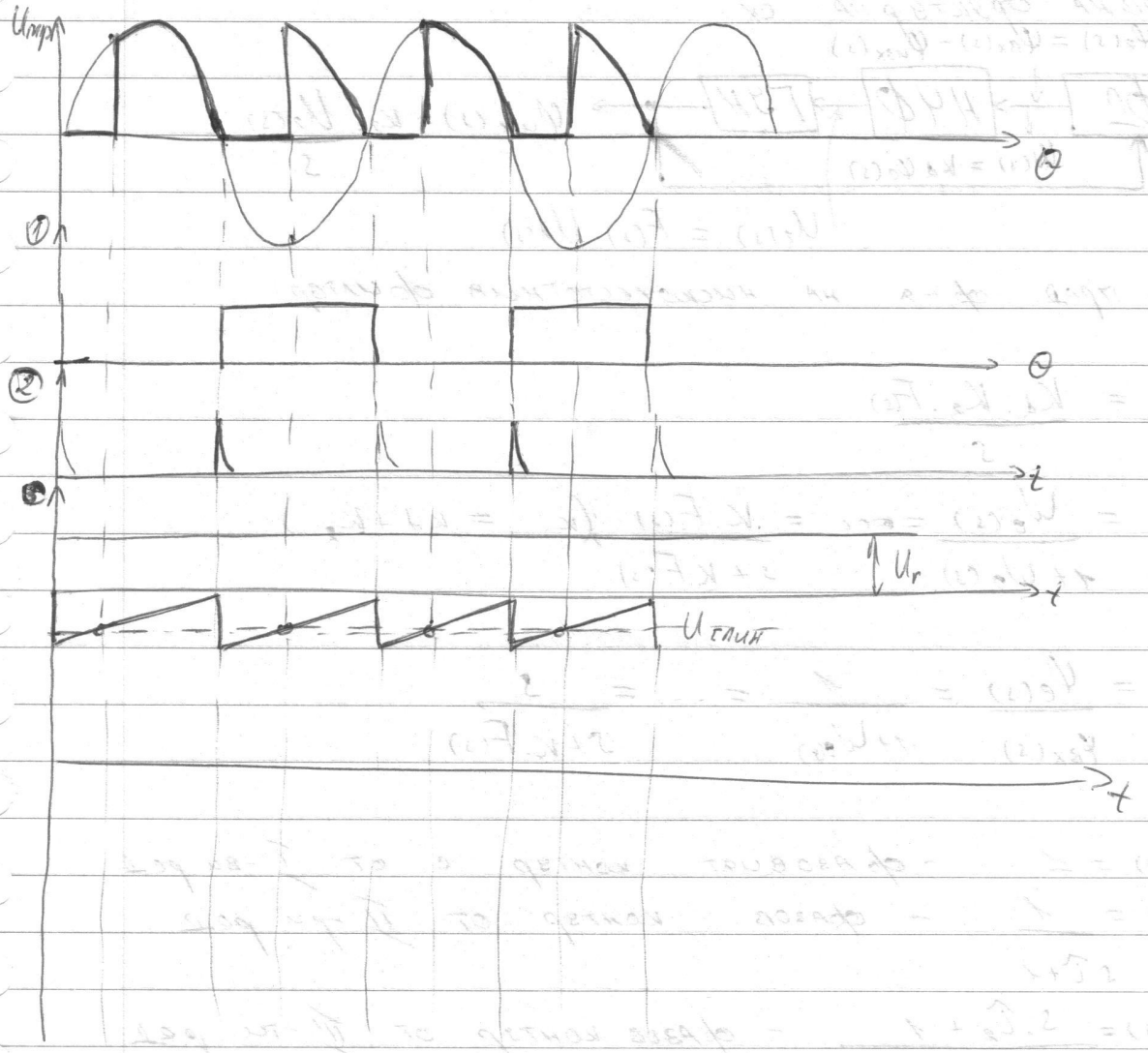
① $$W_o(p) = \frac{1/R_a}{T_{ep}+1} . K_м . \frac{1/M_c}{T_м p + 1}$$

- по смущение

② $$M_o(p) = \frac{1/M_c}{T_м p + 1}$$

Общая передаточная ф-я

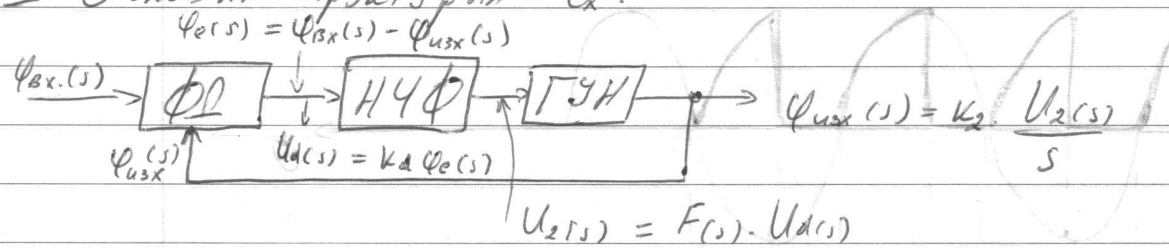
$$W_{(p)} = \frac{W_{разд}(p)}{1 + K_e \cdot W_{разд}(p)} \cdot U_{d(p)} - \frac{M_{0\,см}(p)}{1 + K_e M_{0\,см}(p)} M_{0(p)}$$



Въпрос №13

Сх. за фазова настройка на честота

1 Основна структурна сх.



$F(s)$ – пред. ф-я на нискочестотния филтър

① $W_{0(s)} = \frac{K_d \cdot K_2 \cdot F(s)}{s}$

② $W_{з(s)} = \frac{W_{0(s)}}{1 + W_{0(s)}} = \ldots = \frac{K \cdot F(s)}{s + K F(s)}$; $(K = K_d + K_2)$

③ $W_{з(s)} = \frac{\varphi_{e(s)}}{\varphi_{вх(s)}} = \frac{1}{1 + W_{0(s)}} = \ldots = \frac{s}{s + K \cdot F(s)}$

пр. по зад

① ако $F(s) = 1$ – фазовият контур е от I-ви ред

② ако $F(s) = \frac{1}{s \cdot \tau + 1}$ – фазов контур от II-ри ред

③ ако $F(s) = \frac{s \cdot \tau_2 + 1}{s \cdot \tau_1 (s\tau_3 + 1)}$ – фазов контур от III-ти ред

$\lim_{t \to \infty} \varphi_e(t) = \varphi_e(\infty)$

$\lim_{s \to 0} s \cdot \varphi_e(s)$

① Степанс изменение на фазата – $\varphi_{вх.}(s) = \frac{\varphi_{вх}}{s}$

② Линейно изменение на ~~фазата~~ честотата – $\varphi_{вх}(s) = \frac{\Delta\omega}{s^3}$

③ Степанно изменение на честотата – $\varphi_{вх}(s) = \frac{\Delta\omega}{s^2}$

1. Фазов контур от I-ви ред.

– ① $\varphi(\infty) = \lim_{s\to 0} \frac{s}{s+K} \cdot \varphi_{вх}(s) = 0$

– ② $\varphi(\infty) = \lim_{s\to 0} \frac{\Delta\omega}{s+K} = \frac{\Delta\omega}{K} = const$

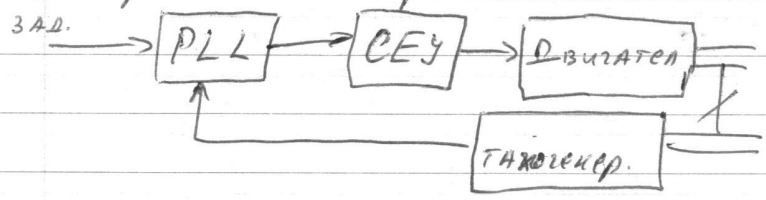
– ③ $\varphi(\infty) = \lim_{s\to 0} \frac{\Delta\omega}{s(s+K)} = \infty$

Изменение на входа	$\varphi_e(\infty)$		
	I-ви ред	II-ри ред	III-ти ред
Степанно на фаз.	0	0	0
Степанно на честот.	$\frac{\Delta\omega}{K} = const$	0	0
линейно на честотата	∞	$\frac{\Delta\omega \cdot \tau}{K} = const$	0

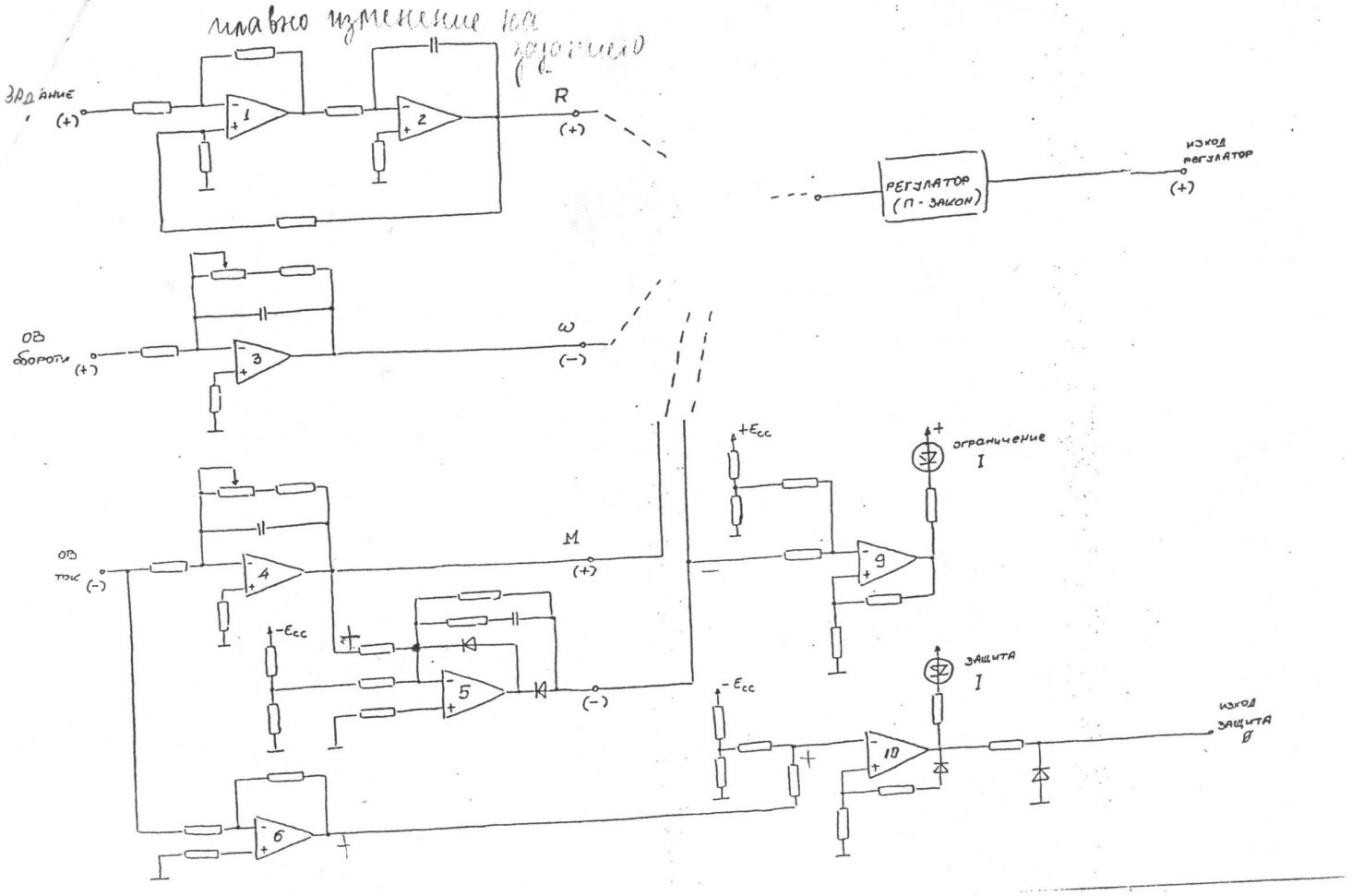
Някои приложения на ск. ВА фазова настройка на честота:

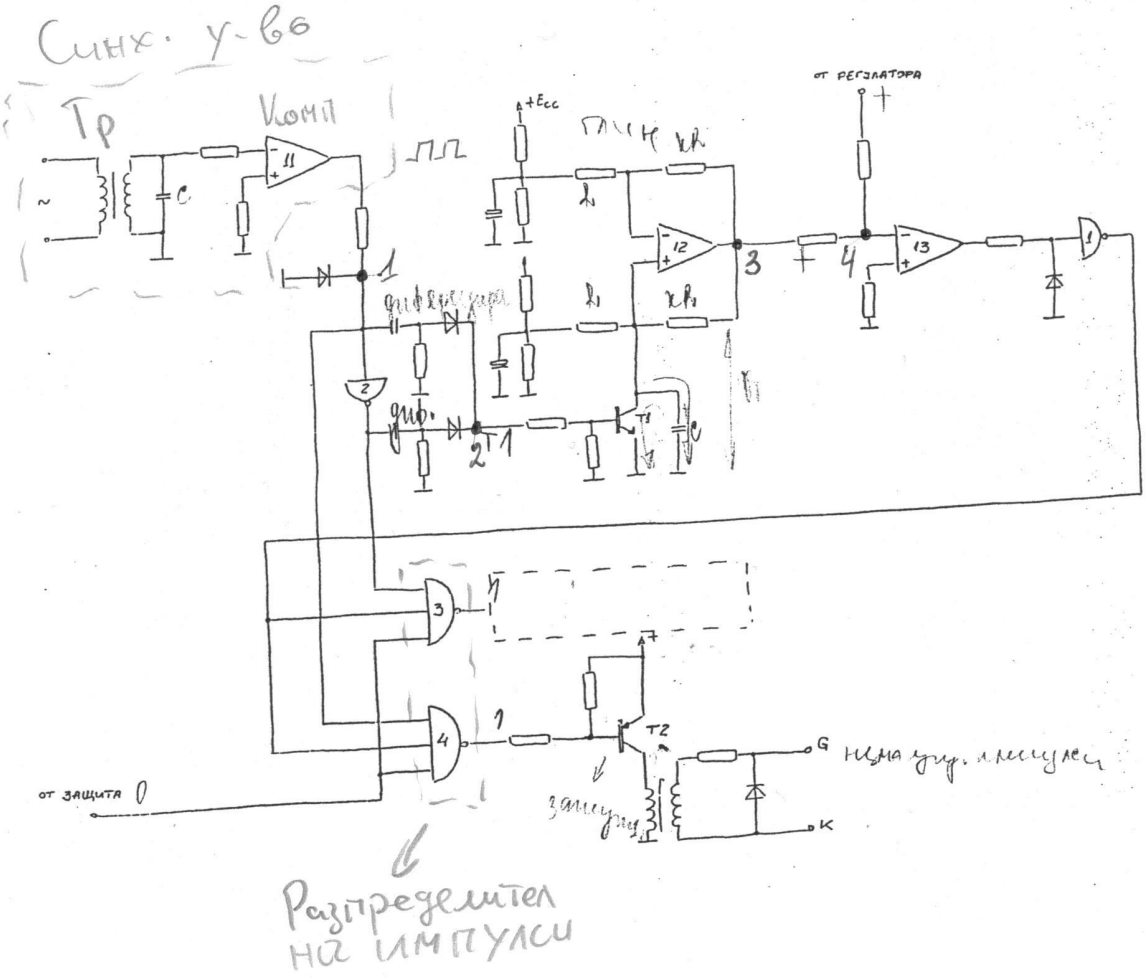
① Генериране на честота n-пъти по висока от вх.

② Управление скоростта на двигател



③ Честотни синтезатори; честотни фазови демодулато-
ри


плавно изменение на задачи
ЗАДАНИЕ
(+)
R
(+)
РЕГУЛАТОР
(П-ЗАКОН)
ИЗХОД РЕГУЛАТОР
(+)
ОВ БОРОТИ
(+)
ω
(−)
+Ecc
ОГРАНИЧЕНИЕ
I
ОВ ТОК
(−)
M
(+)
−Ecc
(−)
ЗАЩИТА
I
−Ecc
ИЗХОД ЗАЩИТА
Ø


Синх. у-во
Тр
Комп
+Ecc
ГЛИН
от РЕГУЛАТОРА
диференцира
диф.
T1
T2
от ЗАЩИТА
G
K
Разпределител на импулси