61. ÉVFOLYAM 1968. 4. SZÁM

ELEKTROTECHNIKA

A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET
(A MŰSZAKI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI EGYESÜLETEK TAGJA) HIVATALOS KÖZLÖNYE

Официальный орган Венгерского Электротехнического Общества – Official Organ of the Hungarian Electrotechnical Association – Organe officiel de l'Association Électrotechnique Hongroise – Organo ufficiale dell'Associazione Elettrotecnica Ungherese – Offizielles Organ des Ungarischen Elektrotechnischen Vereines

Szerkesztőség: Budapest V., Szabadság tér 17.
Az egyesület címe: Budapest V., Szabadság tér 17. Távbeszélő: 126–313.

Egyenáramú gépek átviteli függvényeinek meghatározása jel-folyam ábrákkal

MAGYAR PÉTER, BARS RUTH és Dr. CSÁKI FRIGYES, Budapest*

A szabályozástechnikában a – szemléletességük és az egyszerűségük miatt egyre gyakrabban alkalmazott – jel-folyam ábrák tulajdonságaival, megszerkesztésével, egyszerűsítésével és alkalmazásaival egy korábbi „Elektrotechnika" cikk [1] és bőséges irodalom foglalkozik [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Az Elektrotechnikában korábban megjelent [1] cikk folytatásaként először bemutatjuk a jel-folyam ábrák általános képletét, az ún. MASON-formulát. Segítségével elkerülhetők a bonyolultabb rendszereket jelképező jel-folyam ábrák kimenő- és bemenőjele között kapcsolatot teremtő átviteli függvény (vagy tényező) meghatározásához szükséges hosszadalmas, habár mindvégig tervszerű egyszerűsítések, és az eredmény közvetlenül felírható.

A Mason-féle általános képlet levezetése a hozzáférhető irodalomban [3, 4, 5] megtalálható, ezért az alábbiakban csak felépítését tárgyaljuk röviden.

1. A jel-folyam ábrák általános képlete

Mason általános képletét átviteli függvényekre adjuk meg [2], de természetesen értelemszerűen alkalmazható frekvencia függvényekre vagy átviteli tényezőkre is:

$$W(s) = \frac{\sum_k W_k(s) \cdot \Delta_k(s)}{\Delta(s)}, \qquad (1\text{-}1)$$

vagy rövidített írásmóddal

$$W(s) = \frac{\sum_k W_k \cdot \Delta_k}{\Delta}. \qquad (1\text{-}2)$$

Ebben a képletben W az eredő átviteli függvény, W_k a k-adik előrevezető út átviteli függvénye. Továbbá Δ a jel-folyam ábra által képviselt egyenletrendszer determinánsa, amely a következő képlettel számítható ki:

$$\Delta = 1 - \sum_{m1} P^{(1)}_{m1} + \sum_{m2} P^{(2)}_{m2} - \sum_{m3} P^{(3)}_{m3} + \ldots, \qquad (1\text{-}3)$$

ahol $P^{(1)}_{m1}$ az m_1-edik H_i hurok átviteli függvénye; $P^{(2)}_{m2}$ két-két különálló (egymással nem érintkező, vagyis közös csomóponttal nem rendelkező) H_i és H_j hurok átviteli függvényének m_2-edik szorzata; $P^{(3)}_{m3}$ három-három H_i, H_j és H_k hurok átviteli függvényének m_3-adik szorzata, és így tovább ... A Δ rendszer-determináns kiszámításához az előforduló összegezéseket ki kell terjeszteni az összes lehetséges kombinációkra. Végül Δ_k a k-adik előrevezető úttal nem érintkező jel-folyam ábra vonatkozó részének Δ determinánsa, más szóval a k-adik aldeterminánsa.

A Δ (illetve Δ_k) determináns tehát végeredményben a

$$\Delta = 1 - \sum_i H_i + \sum_{i,j} H_i H_j - \sum_{i,j,k} H_i H_j H_k + \ldots \qquad (1\text{-}4)$$

képlettel számítható ki.

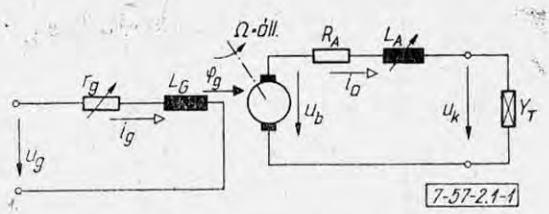
2. Példák egyenáramú gépek átviteli függvényeinek meghatározására

Az alábbiakban több példán mutatjuk be a Mason-féle általános képlet felhasználását. Példaként a szabályozástechnikában gyakran alkalmazott egyenáramú villamos gépeket választottuk, amelyek átviteli tényezői munkapontfüggőek, és a viselkedésüket leíró egyenletek nemlineárisak, pl. előfordul két függő változó szorzata. A probléma egyszerűsítésére munkapont körüli kis változásokat tételezünk fel, mert ekkor az átviteli tényező állandónak vehető és az egyenletek lineárissá vá-

*DR. CSÁKI FRIGYES okl. gépészmérnök, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja, egyetemi tanár, a Budapesti Műszaki Egyetem Automatizálási Tanszékének vezetője;

BARS RUTH okl. villamosmérnök, a tanszék tanársegédje;

MAGYAR PÉTER okl. villamosmérnök, a tanszék gyakornoka (Budapest XI., Egry J. u. 18.)



2.1 – 1. ábra. Külsőgerjesztésű generátor

lása miatt a LAPLACE-transzformáció alkalmazható. A módszer részleteivel kapcsolatban az irodalomra [8] utalunk.

Megjegyezzük, hogy a következő jelöléseket használjuk. Kis betű kis betűs indexszel időben változó mennyiséget jelent. A változást magát deltával különböztetjük meg, míg nagy betű nagybetűs indexszel munkaponti állandó értéket jelent. Például

$$i_g = I_G + \Delta i_g,$$

vagy

$$r_g = R_G + \Delta r_g. \tag{2-1}$$

A Laplace-transzformált nagy betű kisbetűs indexszel, például

$$\mathcal{L}[\Delta i_g] = \Delta I_g(s),$$
$$\mathcal{L}[\Delta r_g] = \Delta R_g(s). \tag{2-2}$$

Végül megemlítjük, hogy például az

$$u_g = r_g \cdot i_g$$

szorzatfüggvény változása

$$\Delta u_g = \Delta(r_g \cdot i_g) = R_G \cdot \Delta i_g + I_G \cdot \Delta r_g, \tag{2-3}$$

illetve a Laplace-transzformáltja

$$\Delta U_g(s) = R_G \cdot \Delta I_g(s) + I_G \cdot \Delta R_g(s). \tag{2-4}$$

2.1 Egyenáramú külsőgerjesztésű generátor

Elsőként vizsgáljunk meg egy tetszőleges $Y_T(s)$ operátoros admittanciával terhelt egyenáramú generátort, amelynek gerjesztőfeszültsége és a gerjesztőköri ellenállása változhat *(2.1 – 1. ábra)*.

A bemenőmennyiségek kis változásait feltételezve, a gép működése a következő egyenletrendszerrel írható le:

$$\begin{aligned}
\Delta U_g(s) &= (R_G + sL_G) \cdot \Delta I_g(s) + I_G \cdot \Delta R_g(s) \\
\Delta \Phi_g(s) &= K_\Phi \cdot \Delta I_g(s) \\
\Delta U_b(s) &= K_U \cdot \Delta \Phi_g(s) \\
\Delta U_k(s) &= \Delta U_b(s) - (R_A + sL_A) \cdot \Delta I_a(s) \\
\Delta I_a(s) &= Y_T(s) \cdot \Delta U_k(s).
\end{aligned} \tag{2.1-1}$$

A $T_G = \dfrac{L_G}{R_G}$ és $T_A = \dfrac{L_A}{R_A}$ időállandók bevezetésével:

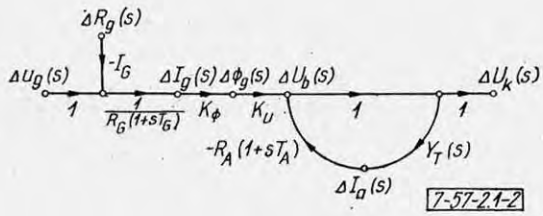
$$\begin{aligned}
\Delta U_g(s) &= R_G(1 + sT_G) \cdot \Delta I_g(s) + I_G \cdot \Delta R_g(s) \\
\Delta \Phi_g(s) &= K_\Phi \cdot \Delta I_g(s)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta U_b(s) &= K_U \cdot \Delta \Phi_g(s) \\
\Delta U_k(s) &= \Delta U_b(s) - R_A(1 + sT_A) \cdot \Delta I_a(s) \\
\Delta I_a(s) &= Y_T(s) \cdot \Delta U_k(s).
\end{aligned} \tag{2.1-2}$$

A (2.1 – 2) egyenletrendszert képviselő jel-folyam ábra látható a *2.1 – 2. ábrán.*

Határozzuk meg a $W(s) = W_{\Delta U_g}^{\Delta U_k}$ átviteli függvényt a Mason-formulával, ahol

$$W(s) = W_{\Delta U_g}^{\Delta U_k} = \frac{\Delta U_k(s)}{\Delta U_g(s)}. \tag{2.1-3}$$



2.1 – 2. ábra. Külsőgerjesztésű generátor egyenletrendszerét jelképező jel-folyam ábra

A 2.1 – 2. ábra jel-folyam ábrájáról az alábbi következtetések vonhatók le:

Csak egy előrevezető ág van, átviteli függvénye:

$$W_1 = \frac{K_\Phi \cdot K_U}{R_G} \frac{1}{1 + sT_G}.$$

Egy hurok van, átviteli függvénye:

$$P_1^{(1)} = H_1 = -R_A(1 + sT_A) \cdot Y_T(s).$$

$(m_1 = 1)$

Különálló hurkok nincsenek,

$$P_{m2}^{(2)} = 0, \quad P_{m3}^{(3)} = 0, \ldots .$$

így

$$\Delta = 1 - H_1 = 1 + R_A(1 + sT_A) \cdot Y_T(s).$$

Mivel a hurok érintkezik az előrevezető ággal, ezért

$$\Delta_1 = 1 - 0 + \ldots = 1.$$

Behelyettesítve az (1 – 2) összefüggésbe:

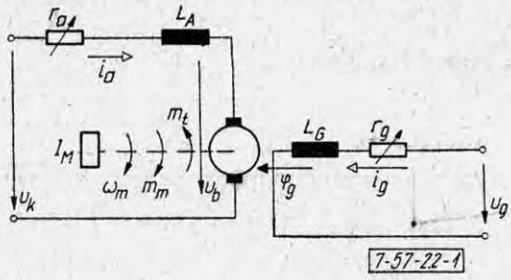
$$W(s) = \frac{W_1 \cdot \Delta_1}{\Delta} =$$

$$= \frac{K_\Phi \cdot K_U}{R_G} \frac{1}{1 + sT_G} \frac{1}{1 + R_A(1 + sT_A) \cdot Y_T(s)}. \tag{2.1-4}$$

A generátort terheljük meg egy $R_T + sL_T$ operátoros impedanciával, például ez jelentheti egy szinkrongép gerjesztőtekercsét, akkor

$$Y_T(s) = \frac{1}{R_T + sL_T}$$

Behelyettesítve a (2.1 – 4.) összefügésbe (2.1 – 3) figyelembevételével



2.2–1. ábra. Külsőgerjesztésű motor

$$W_{\Delta U_g}^{\Delta U_k} = A_G \frac{R_T}{R_T + R_A} \frac{1 + sT_T}{(1 + sT_S)(1 + sT_V)}, \quad (2.1-5)$$

ahol

$A_G = \dfrac{K_\Phi \cdot K_U}{R_G}$ gépállandó,

$T_T = \dfrac{L_T}{R_T}$ a terhelés időállandója,

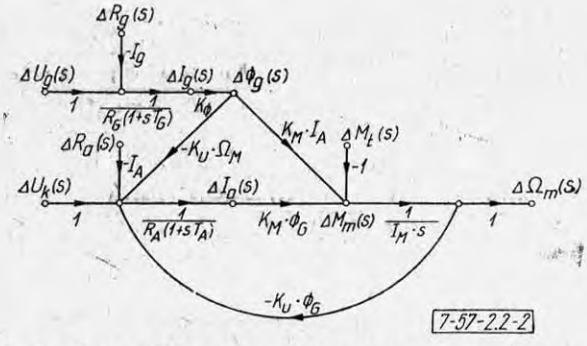
$T_V = \dfrac{L_A + L_T}{R_A + R_T}$ az armatúrakör villamos időállandója.

2.2 Egyenáramú külsőgerjesztésű motor

A *2.2–1. ábra* alapján, az ábra jelöléseit felhasználva felírható a gép működését leíró egyenletrendszer Laplace-transzformált alakban, ha kis változásokat tételezünk fel:

$$\begin{aligned}
\Delta U_k(s) &= (R_A + sL_A) \cdot \Delta I_a(s) + I_A \cdot \Delta R_a(s) + \Delta U_b(s) \\
\Delta U_b(s) &= K_U \cdot \Phi_G \cdot \Delta\Omega_m(s) + K_U \cdot \Omega_M \cdot \Delta\Phi_g(s) \\
\Delta M_m(s) &= K_M \cdot I_A \cdot \Delta\Phi_g(s) + K_M \cdot \Phi_G \cdot \Delta I_a(s) \\
\Delta M_m(s) - \Delta M_t(s) &= J_M \cdot s \cdot \Delta\Omega_m(s) \\
\Delta U_g(s) &= (R_G + sL_G) \cdot \Delta I_g(s) + I_G \cdot \Delta R_g(s) \\
\Delta\Phi_g(s) &= K_\Phi \cdot \Delta I_g(s). \qquad (2.2\text{-}1)
\end{aligned}$$

Bevezetve a $T_V = \dfrac{L_A}{R_A}$ és $T_G = \dfrac{L_G}{R_G}$ időállandókat, a (2.2–1) egyenletrendszert jelképező jel-folyam ábrát a *2.2–2. ábra* mutatja.



2.2–2. ábra. Külsőgerjesztésű motor egyenletrendszerét jelképező jel-folyam ábra

Határozzuk meg a szögsebességváltozás, mint kimenőjel és a terhelőnyomatékváltozás, mint bemenőjel között érvényes átviteli függvényt:

$$W(s) = W_{\Delta M_t}^{\Delta\Omega_m} = \frac{\Delta\Omega_m(s)}{\Delta M_t(s)}. \qquad (2.2-2)$$

A bemenőjel és a kimenőjel között csak egy előrevezető ág van:

$$W_1 = -\frac{1}{J_M \cdot s}.$$

A jel-folyam ábra egy hurkot tartalmaz, melynek átviteli függvénye:

$$P_1^{(1)} = H_1 = -\frac{K_M \cdot K_U \cdot \Phi_G^2}{R_A \cdot J_M} \frac{1}{s(1 + sT_V)} = -\frac{1}{sT_M(1 + sT_V)}, \quad (m_1 = 1)$$

ahol

$$T_M = \frac{R_A \cdot J_M}{K_M \cdot K_U \cdot \Phi_G^2}$$

a motor elektromechanikai időállandója.

A J_M a motor tengelyén levő összes tömeg tehetetlenségi nyomatékát jelenti.

Különálló hurkok nincsenek,

$$P_{m2}^{(2)} = 0, \quad P_{m3}^{(3)} = 0, \ \ldots, \ \text{így}$$
$$\Delta = 1 - H_1.$$

Mivel a H_1 hurok érintkezik az előrevezető ággal,

$$\Delta_1 = 1 - 0 + 0 - \ldots = 1.$$

Behelyettesítve (1–2) összefüggésbe és figyelembe véve (2.2–2)-t

$$W_{\Delta M_t}^{\Delta\Omega_m} = -\frac{R_A}{K_M \cdot K_U \cdot \Phi_G^2} \frac{1 + sT_V}{1 + sT_M + s^2 T_M T_V}. \qquad (2.2-3)$$

A jel-folyam ábra alapján hasonló módon határozhatók meg egyéb átviteli függvények is. A *2.2–1. táblázatban* összefoglalva megadjuk a külsőgerjesztésű motorra vonatkozó összes átviteli függvényt.

2.3 Ward-Leonard gépcsoport

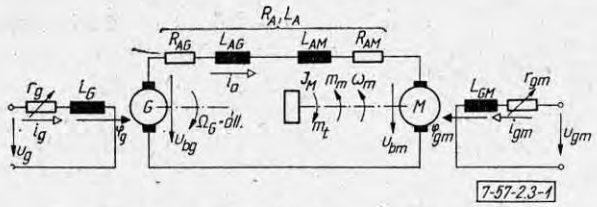
A gépcsoportot jellemző egyenletrendszer felírását a fenti elvek alapján végezzük el, azaz kis változásokat feltételezve az egyenletrendszert linearizáljuk, és azonnal a Laplace-transzformált alakot írjuk fel. Az egyszerűség céljából feltételeztük, hogy a generátor szögsebessége még tranziens változást sem szenvedhet, $\omega_g = \Omega_G = \text{áll}$. Az egyenletrendszerben használt jelölések megegyeznek az ábra jelöléseivel.

$$\begin{aligned}
\Delta U_g(s) &= (R_G + sL_G) \cdot \Delta I_g(s) + I_G \cdot \Delta R_g(s) \\
\Delta\Phi_g(s) &= C_G \cdot \Delta I_g(s) \\
\Delta U_{bg}(s) &= K_G \cdot \Delta\Phi_g(s),
\end{aligned}$$

2.2.–1. táblázat

A külsőgerjesztésű motor átviteli függvényei

Kimenőjel	Bemenőjel	Átviteli függvény
$\Delta\Omega_m(s)$	$\Delta U_k(s)$	$W_{\Delta U_k}^{\Delta\Omega_m} = \frac{1}{K_U\Phi_G}\,\frac{1}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
	$\Delta R_a(s)$	$W_{\Delta R_a}^{\Delta\Omega_m} = -\frac{I_A}{K_U\cdot\Phi_G}\,\frac{1}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
	$\Delta U_g(s)$	$W_{\Delta U_g}^{\Delta\Omega_m} = -\frac{K\Phi\cdot\Omega_M}{R_G\cdot\Phi_G}\left(1-\frac{I_AR_A}{K_U\cdot\Omega_M\cdot\Phi_G}\right)\frac{1-sT_V\frac{I_AR_A}{K_U\Omega_M\Phi_G-I_AR_A}}{(1+sT_G)(1+sT_M+s^2T_MT_V)}$
	$\Delta R_g(s)$	$W_{\Delta R_g}^{\Delta\Omega_m} = \frac{K\Phi\cdot\Omega_M\cdot I_G}{R_G\cdot\Phi_G}\left(1-\frac{I_A\cdot R_A}{K_U\Omega_M\Phi_G}\right)\frac{1-sT_V\frac{I_A\cdot R_A}{K_U\Omega_M\Phi_G-I_A\cdot R_A}}{(1+sT_G)(1+sT_M+s^2T_MT_V)}$
	$\Delta M_t(s)$	$W_{\Delta M_t}^{\Delta\Omega_m} = -\frac{R_A}{K_MK_U\Phi^2G}\,\frac{1+sT_V}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
$\Delta I_a(s)$	$\Delta U_k(s)$	$W_{\Delta U_k}^{\Delta I_a} = \frac{1}{R_A}\,\frac{sT_M}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
	$\Delta R_a(s)$	$W_{\Delta R_a}^{\Delta I_a} = -\frac{I_A}{R_A}\,\frac{sT_M}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
	$\Delta U_g(s)$	$W_{\Delta U_g}^{\Delta I_a} = -\frac{K\Phi I_A}{R_G\cdot\Phi_G}\,\frac{1+sT_M\frac{K_U\cdot\Omega_M\cdot\Phi_G}{I_A\cdot R_A}}{(1+sT_G)(1+sT_M+s^2T_M\cdot T_V)}$
	$\Delta R_g(s)$	$W_{\Delta R_g}^{\Delta I_a} = \frac{K\Phi\cdot I_AI_G}{R_G\cdot\Phi_G}\,\frac{1+sT_M\frac{K_U\cdot\Omega_M\cdot\Phi_G}{I_A\cdot R_A}}{(1+sT_G)(1+sT_M+s^2T_MT_V)}$
	$\Delta M_t(s)$	$W_{\Delta M_t}^{\Delta I_a} = \frac{1}{K_M\cdot\Phi_G}\,\frac{1}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
$\Delta M_m(s)$	$\Delta U_k(s)$	$W_{\Delta U_k}^{\Delta M_m} = \frac{K_M\cdot\Phi_G}{R_A}\,\frac{sT_M}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
	$\Delta R_a(s)$	$W_{\Delta R_a}^{\Delta M_m} = -\frac{K_M\cdot\Phi_G\cdot I_A}{R_A}\,\frac{sT_M}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$
	$\Delta U_g(s)$	$W_{\Delta U_g}^{\Delta M_m} = -\frac{K\Phi K_M\cdot I_A}{R_G}\,\frac{K_U\cdot\Omega_M\cdot\Phi_G-I_AR_A}{I_A\cdot R_A}\,\frac{sT_M\left(1-sT_V\frac{I_A\cdot R_A}{K_U\cdot\Omega_M\cdot\Phi_G-I_A\cdot R_A}\right)}{(1+sT_G)(1+sT_M+s^2T_MT_V)}$
	$\Delta R_g(s)$	$W_{\Delta R_g}^{\Delta M_m} = \frac{K\Phi K_MI_AI_G}{R_G}\,\frac{K_U\Omega_M\Phi_G-I_AR_A}{I_A\cdot R_A}\,\frac{sT_M\left(1-sT_V\frac{I_A\cdot R_A}{K_U\Omega_M\Phi_G-I_AR_A}\right)}{(1+sT_G)(1+sT_M+s^2T_MT_V)}$
	$\Delta M_t(s)$	$W_{\Delta M_t}^{\Delta M_m} = \frac{1}{1+sT_M+s^2T_MT_V}$



2.3–1. ábra. Ward–Leonard gépcsoport

$$\Delta U_{gm}(s) = (R_{GM} + sL_{GM}) \cdot \Delta I_{gm}(s) + I_{GM} \cdot \Delta R_{gm}(s)$$
$$\Delta \Phi_{gm}(s) = C_M \cdot \Delta I_{gm}(s)$$
$$\Delta U_{bm}(s) = K_U \cdot \Phi_{GM} \cdot \Delta \Omega_m(s) + K_U \cdot \Omega_M \cdot \Delta \Phi_{gm}(s),$$
$$\Delta U_{bg}(s) - \Delta U_{bm}(s) = (R_A + sL_A) \cdot \Delta I_a(s)$$
$$\Delta M_m(s) = K_M \cdot \Phi_{GM} \cdot \Delta I_a(s) + K_M \cdot I_A \cdot \Delta \Phi_{gm}(s)$$
$$\Delta M_m(s) - \Delta M_t(s) = J_M \cdot s \cdot \Delta \Omega_m(s). \qquad (2.3-1)$$

A (2.3–1) egyenletrendszert jelképező jel-folyam ábrában felhasználtuk az alábbi jelöléseket:

$T_G = \dfrac{L_G}{R_G}$ a generátor gerjesztőköri időállandója,

$T_{GM} = \dfrac{L_{GM}}{R_{GM}}$ a motor gerjesztőköri időállandója,

$T_V = \dfrac{L_A}{R_A}$ az armatúrakör villamos időállandója.

Példaként határozzuk meg az armatúraköri áram mint kimenőjel és a generátor gerjesztőfeszültsége mint bemenőjel közötti átviteli függvényt, kis változások esetére.

$$W(s) = W_{\Delta U_g}^{\Delta I_a} = \frac{\Delta I_a(s)}{\Delta U_g(s)}. \qquad (2.3\text{-}2)$$

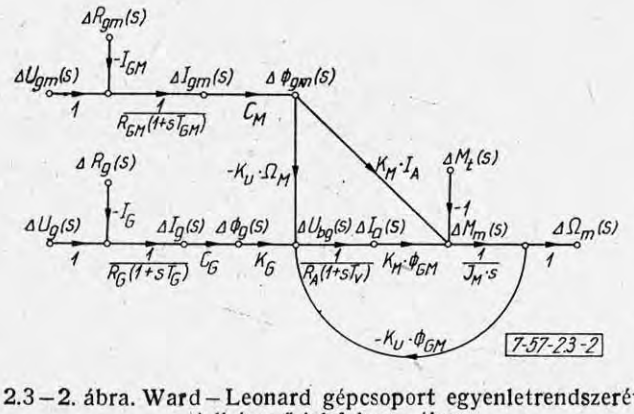
Egy előrevezető ág van, ennek átviteli függvénye:

$$W_1 = \frac{C_G \cdot K_G}{R_G \cdot R_A} \cdot \frac{1}{(1+sT_G)(1+sT_V)}.$$

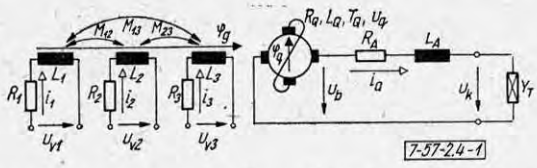
Egy hurok van, különálló hurkok nincsenek:

$$P_1^{(1)} = H_1 = -\frac{K_M \cdot K_U \cdot \Phi_{GM}^2}{J_M \cdot R_A} \cdot \frac{1}{s(1+sT_V)} = -\frac{1}{sT_M(1+sT_V)},$$

$(m_1 = 1)$



2.3–2. ábra. Ward–Leonard gépcsoport egyenletrendszerét jelképező jel-folyam ábra



2.4–1. ábra. Amplidin, pólusonként 3 vezérlőtekercscsel

ahol $T_M = \dfrac{J_M \cdot R_A}{K_M \cdot K_U \cdot K_{GM}^2}$

a motor elektromechanikai időállandója.

$$P_{m2}^{(2)} = 0, \quad P_{m3}^{(3)} = 0 \ldots .$$

Így

$$\Delta = 1 - H_1 = \frac{1 + sT_M(1+sT_V)}{sT_M(1+sT_V)}; \text{ és}$$
$$\Delta_1 = 1 - 0 + 0 + \ldots = 1.$$

Helyettesítve az (1–2) Mason-formulába, és figyelembe véve (2.3–2)-t:

$$W_{\Delta U_g}^{\Delta I_a} = \frac{C_G \cdot K_G}{R_G \cdot R_A} \cdot \frac{s \cdot T_M}{(1+sT_G)(1+sT_M+s^2T_MT_V)} \qquad (2.3-3)$$

2.4 Amplidin

Amplidin esetén a fentiekhez képest a számítást megnehezítő új körülmény lép fel, ugyanis egy póluson gyakran több vezérlőtekercset alkalmaznak. Az egymással induktivan csatolt tekercsek miatt fizikailag is bonyolultabbá válik a rendszer, megnő a folyamatot leíró egyenletek száma, és ezzel együtt a számítási munka. Tekintsük azt a gyakorlatban előforduló gyakori esetet, amikor az amplidin három vezérlőtekercsét használják fel; és vizsgáljuk a gerjesztőkör átviteli függvényét, kimenőjelként a gerjesztőkör fluxusának megváltozását, bemenőjelként a vezérlőfeszültség megváltozását tekintve.

$$W(s) = W_{\Delta U_{v1}}^{\Delta \Phi_g} = \frac{\Delta \Phi_g(s)}{\Delta U_{v1}(s)}. \qquad (2.4-1)$$

A gerjesztőkör (2.4–1) átviteli függvényének meghatározását nagymértékben megkönnyítjük, és nagy hibát nem követünk el, ha azt a szokásos elhanyagolást tesszük, hogy a vezérlőtekercsek szórási induktivitását elhanyagoljuk,

$$L_S = 0, \qquad (2.4-2)$$

azaz feltételezzük, hogy a teljes tekercsmenetszám kapcsolódik a φ_g pólusfluxussal.

Ha a vezérlőkör adatait azonos menetszámra redukáljuk, akkor szükségszerűen

$$L_{V1} = L_{V2} = L_{V2} = L_V, \qquad (2.4-3)$$

ahol L_{V1}, L_{V2}, L_{V3} jelentik a közös menetszámra redukált vezérlőtekercs induktivitásokat.

Ezek után a (2.4–3) alapján fizikailag is, de $M_{ik} = \sqrt{L_i \cdot L_k}$ alapján matematikailag is következik, hogy

$$M_{12} = M_{23} = M_{13} = L_V. \qquad (2.4-4)$$

A (2.4–3) és (2.4–4) összefüggések segítségével az időállandók számát lecsökkentettük, így a számítás áttekinthetőbbé vált.

Írjuk fel a *2.4–1. ábra* alapján kis változások feltételezésével a vezérlőkört leíró linearizált és Laplace-transzformált egyenletrendszert:

$$\begin{aligned}
\Delta U_{v1}(s) &= (R_1 + sL_{V1})\cdot\Delta I_1(s) + sM_{12}\cdot\Delta I_2(s) + sM_{13}\cdot\Delta I_3(s)\\
\Delta U_{v2}(s) &= sM_{12}\cdot\Delta I_1(s) + (R_2 + sL_{V2})\Delta I_2(s) + sM_{23}\cdot\Delta I_3(s)\\
\Delta U_{v3}(s) &= s\cdot M_{13}\cdot\Delta I_1(s) + sM_{23}\cdot\Delta I_2(s) + (R_3 + sL_{V3})\Delta I_3(s)\\
\Delta\Phi_g(s) &= C_G[\Delta I_1(s) + \Delta I_2(s) + \Delta I_3(s)],
\end{aligned} \qquad (2.4-5)$$

ahol R_1, R_2 és R_3 jelentik a vezérlőtekercsek azonos menetszámra redukált ellenállásait, C_G gépállandó. Figyelembe véve (2.4–3) és (2.4–4) összefüggéseket, valamint bevezetve a

$$T_{V1} = \frac{L_V}{R_1},\quad T_{V2} = \frac{L_V}{R_1} \text{ és a } T_{V3} = \frac{L_V}{R_3} \qquad (2.4-6)$$

vezérlőköri időállandókat:

$$\begin{aligned}
\Delta U_{V1}(s) &= R_1(1 + sT_{V1})\cdot\Delta I_1(s) + sL_V\cdot\Delta I_2(s) + sL_V\cdot\Delta I_3(s)\\
\Delta U_{V2}(s) &= s\cdot L_V\cdot\Delta I_1(s) + R_2(1 + sT_{V2})\Delta I_2(s) + sL_V\cdot\Delta I_3(s)\\
\Delta U_{V3}(s) &= s\cdot L_V\cdot\Delta I_1(s) + sL_V\cdot\Delta I_2(s) + R_3(1 + sT_{V3})\cdot\Delta I_3(s)\\
\Delta\Phi_g(s) &= C_G[\Delta I_1(s) + \Delta I_2(s) + \Delta I_3(s)].
\end{aligned} \qquad (2.4-7)$$

A (2.4–7) egyenletrendszert jelképező jel-folyam ábra látható a *2.4–2. ábrán.*

A jel-folyam ábra áttekinthetőségét nagymértékben megnövelhetjük, ha a $\Delta U_{vi}(s)$ csomópontba befutó ágakat áthelyezzük a $\Delta I_i(s)$ csomópontba, és alkalmazzuk a (2.4–6) összefüggéseket *(2.4–3. ábra).*

A 2.4–3. ábrán látható törvényszerűség alapján tetszőleges számú egymással csatolt tekercsből álló vezérlőtekercsrendszer jel-folyam ábrája könnyen felrajzolható.

Határozzuk meg ezekután, milyen átviteli függvény érvényes a jel-folyam ábra $\Delta\Phi_g(s)$ kimenő pontja és az egyik bemenet, pl. a $\Delta U_{V1}(s)$ pont között.

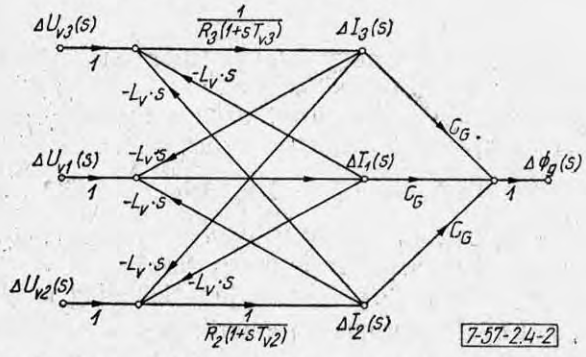
$$W(s) = W_{\Delta U_{v1}}^{\Delta\Phi_g} = \frac{\Delta\Phi_g(s)}{\Delta U_{v1}(s)} \qquad (2.4-8)$$

Öt előrevezető ág van, átviteli függvényeik rendre:

$$W_1 = \frac{C_G}{R_1}\,\frac{1}{1 + sT_{V1}}$$

$$W_2 = \frac{C_G}{R_1}\,\frac{-sT_{V3}}{(1 + sT_{V1})(1 + sT_{V3})}$$

$$W_3 = \frac{C_G}{R_1}\,\frac{-sT_{V2}}{(1 + sT_{V1})(1 + sT_{V2})}$$



2.4–2. ábra. Három egymással csatolt vezérlőtekercs egyletrendszerének jel-folyam ábrája

$$W_4 = \frac{C_G}{R_1}\,\frac{s^2T_{V2}T_{V3}}{(1 + sT_{V1})(1 + sT_{V2})(1 + sT_{V3})}$$

$$W_5 = \frac{C_G}{R_1}\,\frac{s^2T_{V2}T_{V3}}{(1 + sT_{V1})(1 + sT_{V2})(1 + sT_{V3})}.$$

A $W_i (1 < i < 5)$ átviteli függvényű előrevezető ágak, és a H_i hurkok könnyebb felismerhetősége céljából a *2.4–4. ábra* mutatja elhelyezkedésüket a jel-folyam ábrán.

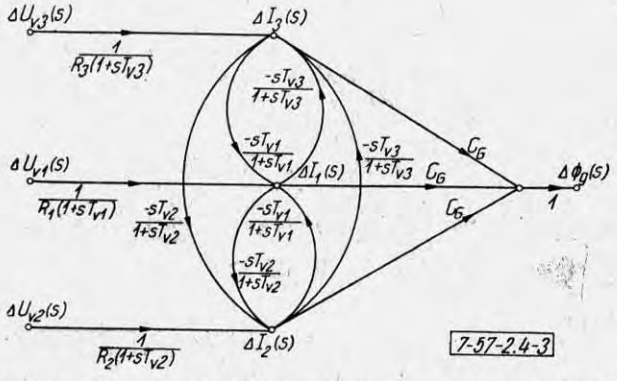
A jel-folyam ábrában öt hurok van, átviteli függvényeik rendre:

$$P_1^{(1)} = H_1 = \frac{s^2T_{V1}T_{V2}}{(1 + sT_{V1})(1 + sT_{V2})}$$

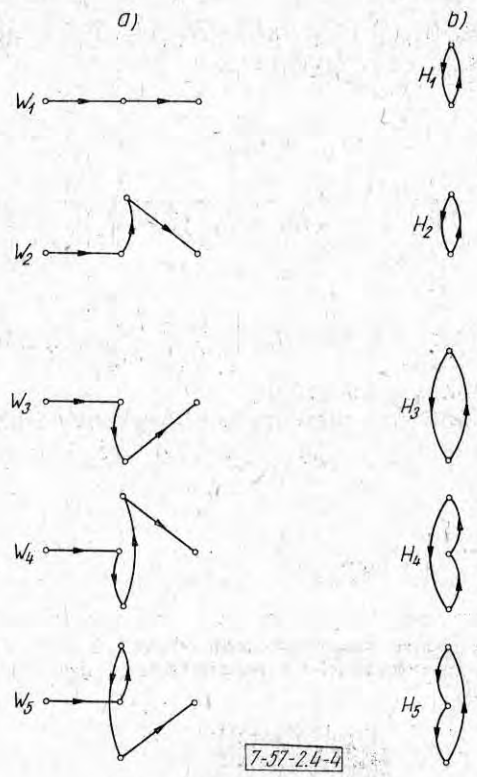
$$P_2^{(1)} = H_2 = \frac{s^2T_{V1}T_{V3}}{(1 + sT_{V1})(1 + sT_3)}$$

$$P_3^{(1)} = H_3 = \frac{s^2T_{V2}T_{V3}}{(1 + sT_{V2})(1 + sT_{V3})}$$

$$P_4^{(1)} = H_4 = \frac{-s^3T_{V1}\cdot T_{V2}\cdot T_{V3}}{(1 + sT_{V1})(1 + sT_{V2})(1 + sT_{V3})}$$



2.4–3. ábra. A 2.4–2. ábra jel-folyam ábrája átalakítás után



2.4–4a. ábra. A 2.4–3. ábra jel-folyam ábrájának előrevezető ágai

2.4–4b. ábra. A 2.4–3. ábra jel-folyam ábrájában található hurkok

$$P_5^{(1)} = H_5 = \frac{-s^3 T_{V1} \cdot T_{V2} \cdot T_{V3}}{(1+sT_{V1})(1+sT_{V2})(1+sT_{V3})}.$$

$(m_1 = 1, 2, 3, 4, 5)$

Különálló hurkok nincsenek;

$$P_{m2}^{(2)} = 0, \quad P_{m3}^{(3)} = 0 \ldots$$

így

$$\Delta = 1-(H_1+H_2+H_3+H_4+H_5)+0+\ldots$$

Helyettesítés után a Δ értékére kapjuk:

$$\Delta = \frac{1+s(T_{V1}+T_{V2}+T_{V3})}{(1+sT_{V1})(1+sT_{V2})(1+T_{V3})}.$$

A W_1 előrevezető úttal a $P_3^{(1)}$ hurok nem érintkezik, ezért

$$\Delta_1 = 1-H_3 = \frac{1+s(T_{V2}+T_{V3})}{(1+sT_{V2})(1+sT_{V3})}.$$

A W_2, W_3 és W_4 előrevezető ágakkal nem érintkező hurkot nem találunk, ezért

$$\Delta_2 = \Delta_3 = \Delta_4 = \Delta_5 \equiv 1.$$

W_k, Δ_k és Δ értékeit (1–2)-be helyettesítve és figyelembe véve a (2.4–8) összefüggést, kapjuk, hogy

$$W_{\Delta U_{v1}}^{\Delta\Phi_g} = \frac{C_G}{R_1} \frac{1}{1+s(T_{V1}+T_{V2}+T_{V3})}. \qquad (2.4-9)$$

Látható, hogy egymással csatolt vezérlőtekercsrendszer alkalmazása azzal a hátránnyal jár, hogy a gerjesztőköri időállandó megnő, amint az a Lenz-törvényből is következik; a vezérlőtekercsek időállandóinak összegével kell számolni.

A továbbiakban vizsgáljuk meg az amplidin armatúrakörét leíró egyenletrendszert és az ennek megfelelő jel-folyam ábrát.

A 2.4–1. ábra jelöléseivel összhangban felírhatjuk a kvadratikus gépre vonatkozó linearizált egyenletrendszer Laplace-transzformált alakját:

$$\Delta U_q(s) = K_1 \cdot \Omega_M \cdot \Delta\Phi_g(s) + K_1 \cdot \Phi_G \cdot \Delta\Omega_m(s)$$

$$\Delta U_q(s) = (R_Q + sL_Q) \cdot \Delta I_q(s)$$

$$\Delta\Phi_q(s) = C_Q \cdot \Delta I_q(s)$$

$$\Delta U_b(s) = K_2 \cdot \Omega_M \cdot \Delta\Phi_q(s) + K_2 \cdot \Phi_Q \cdot \Delta\Omega_m(s)$$

$$\Delta U_k(s) = \Delta U_b(s) - (R_A + sL_A) \cdot \Delta I_a(s)$$

$$\Delta I_a(s) = Y_T(s) \cdot \Delta U_k(s). \qquad (2.4-10)$$

Feltételeztük, hogy a terhelés hatására a φ_g pólusfluxus változatlan, azaz a gép ideálisan kompenzált. A kompenzáló kör időállandója (2.4–9) szerint a vezérlőkör időállandóját növeli meg.

A

$$T_Q = \frac{L_Q}{R_Q}$$

keresztköri időállandó és a

$$T_A = \frac{L_A}{R_A}$$

armatúraköri időállandó bevezetése után a (2.4–10) egyenletrendszernek megfelelő jel-folyam ábrát mutatja a *2.4–5. ábra*.

Határozzuk meg az eddig is minden esetben alkalmazott Mason-formula segítségével a

$$W(s) = W_{\Delta\Phi_g}^{\Delta U_k} = U \frac{\Delta U_k(s)}{\Delta\Phi_g(s)} \qquad (2.4-11)$$

átviteli függvényt.

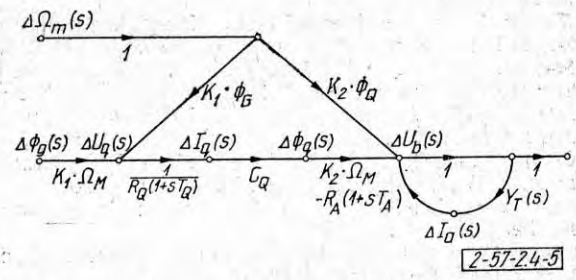
Egy előrevezető ág van, átviteli függvénye:

$$W_1 = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C_Q \cdot \Omega_M^2}{R_Q} \frac{1}{1+sT_Q}.$$

Egy hurok van, átviteli függvénye:

$$P_1^{(1)} = H_1 = -R_A(1+sT_A) \cdot Y_T(s).$$

$(m_1 = 1)$



2.4–5. ábra. Az amplidin armatúrakörének jel-folyam ábrája

Különálló hurkok nincsenek,

$$P_{m2}^{(2)} = 0, \quad P_{m3}^{(3)} = 0, \quad \ldots$$

A rendszer Δ determinánsa és Δ_1 aldeterminánsa:

$$\Delta = 1 - H_1 = 1 + R_A(1 + sT_A) \cdot Y_T(s)$$

$$\Delta_1 = 1.$$

Helyettesítve (1–2)-be és figyelembe véve (2.4–11)-et megkapjuk a keresett átviteli függvényt:

$$W_{\Delta\Phi_g}^{\Delta U_k} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C_Q \cdot \Omega_M^2}{R_Q} \frac{1}{(1 + sT_Q)[1 + R_A(1 + sT_A)Y_T(s)]} \tag{2.4-12}$$

Legyen $Y_T(s) = R_T + sL_T = R_T(1 + sT_T)$ alakú, akkor az átviteli függvényünk a

$$W_{\Delta\Phi_g}^{\Delta U_k} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C_Q \cdot \Omega_M^2}{R_Q} \frac{R_T}{R_A + R_T} \frac{1 + sT_T}{(1 + sT_Q)(1 + sT'_A)} \tag{2.4-13}$$

alakot veszi fel, ahol $T'_A = \frac{L_A + L_T}{R_A + R_T}$ az armatúrakör villamos időállandója.

Az amplidin teljes átviteli függvénye induktív terhelés esetére a (2.4–9) és (2.4–13) szorzatából adódik:

$$W_{\Delta U_{v1}}^{\Delta U_k} = A_A \frac{R_T}{R_A + R_T} \frac{1 + sT_T}{[1 + s(T_{V1} + T_{V2} + T_{V3})](1 + sT_Q)(1 + sT'_A)}, \tag{2.4-14}$$

ahol

$$A_A = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C_Q \cdot C_G \cdot \Omega_M^2}{R_Q \cdot R_1}$$

gépállandó, az amplidin átviteli tényezője.

3. Összefoglalás

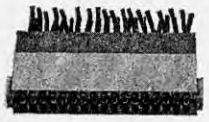
A fenti négy példán egyenáramú gépek különböző átviteli függvényeinek felírásával bemutattuk a jel-folyam ábrák általános képletének, az ún. Mason-formulának alkalmazását. Az ismertetett formula egyszerű felépítésű, könnyen alkalmazható és különösen bonyolultabb rendszerek esetén kevesebb számítási munkát igényel – ezért kevesebb a hiba lehetősége is –, mint az egyenletrendszer Cramer-szabály segítségével történő megoldásakor, vagy a jel-folyam ábra sorozatos egyszerűsítésekor. Legjobb tudomásunk szerint a jel-folyam ábrákat először használtuk a bemutatott feladatok megoldásához.

IRODALOM

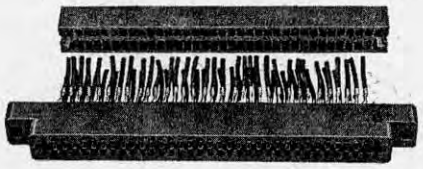
1. Csáki, F.: Jel-folyam ábrák. Elektrotechnika **56** (1963) 185–191.
2. Csáki, F.: Szabályozások dinamikája. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1966.
3. Mason, S. J.: Feedback Theory. Some Properties of Signal-Flow Graphs Proc. IRE **41** (1953) 1144–1156.
4. Mason, S. J.: Feedback Theory. Further Properties of Signal-Flow Graphs. Proc. IRE **44** (1956) 920–926.
5. Mason, S. J. – Zimmermann, H. J.: Electronic Circuits, Signals and Systems. John Wiley, New York, 1960.
6. Chow, Y. – Cassignol, E.: Linear Signal-Flow Graphs and Applications. John Wiley, New York, 1962.
7. Abrahams, J. R. – Coverly, G. P.: Signal Flow Analysis. Pergamon Press, Oxford, 1965.
8. Csáki F. – Bars R.: Automatika II. Jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1966.

Érkezett: 1967. XII.

SK dugaszos csatlakozók határozott érintkezési helyzetekkel nyomtatott áramkörök céljaira



T 2767/50
+ T 2767/49



T 2765/50
+ T 2765/49

A nyomtatott áramkörök alkalmazásával kapcsolatos miniatürizáció sok pólusú, legkisebb méretű dugaszos csatlakozókat követel. Ezeken a követelményeken alapul a max. 34 és max. 70 pólusú TK dugaszos csatlakozó egyéni felszerelésnek megfelelő határozott érintkezési helyzetekkel.

Műszaki adatok:

34 pólusú csúcslefoglalásnál, rasztermeret 2,5 mm, áramerősség érintkezőnként 3 A, közepes feszültség VDE 0110 előírásnak megfelelően A/250 V~, IEC előírásnak megfelelően 400 V~.

70 pólusú csúcslefoglalásnál, rasztermeret, 2,54 mm, áramerősség érintkezőnként 3 A, közepes feszültség VDE 0110 előírásnak megfelelően A/250 V~, IEC előírásnak megfelelően 400 V~.

Az érintkező elemek mindkét kivitelezése szállítható, kívánalom szerint forrasztó- vagy lapítócsatlakozással, vagy forrasztócsúccsal. Az érintkezővégek rögzítéséhez állítóker et, a code-beállításhoz megfelelő code-lapocskák állnak rendelkezésre.

Kérje részletes információkat tartalmazó 43. számú különlenóomatunkat, 512. számú szerkesztési lapunkat és 226/67. számú információs lapunkat.

Látogassa meg kiállításunkat a Budapesti Nemzetközi Vásáron a 27. pavilon 6 sz. standján!

AMPHENOL-TUCHEL ELECTRONICS GMBH, Werbeabteilung, 71 Heilbronn, Postfach 920, Német Szövetségi Köztársaság