

# Hálózati transzformátorok méretezése

ETO 621.314.21.001.2

A dolgozat célja olyan számítási eljárás megadása, amelynek segítségével gyorsan és a gyakorlat igényeit kielégítő pontossággal lehet transzformátorokat méretezni. A célt könnyen használható formulák (táblázatok) segítségével kívánjuk elérni. A levezetések azt a szemléletet tükrözik, hogy a transzformátor és az azt követő egyenirányító egység nem méretezhető egymástól függetlenül. (Az egyenirányító egység  $\frac{U_{\text{eff}}}{U_e}$  feszültségátételét befolyásolja az egyenirányító kör részét képező transzformátor ellenállása, viszont a transzformátor méretezéséhez már ismerni kell  $U_{\text{eff}}$  értékét.)

## 1. Az áramösszetevők vizsgálata részben lineáris terhelés esetén

Tekintsük az 1. ábra szerinti egyszerűsített helyettesítő kapcsolást.  $R_{12}$  jelentsen egy lineáris,  $R_{13}$  pedig egy folyási szög üzemi terhelést.

Jelölések:

- $R_r$  = transzformátor tekercs egyenáramú ellenállása,
- $I_v$  = a vasvesztésből származó áramösszetevő,
- $I_L$  = a primer induktivitás árama,
- $\ddot{u}_2, \ddot{u}_3$  = az ideális transzformátor áttételei,
- $I_{2\text{eff}}$  = az  $R_{12}$ -n átfolyó terhelő áram effektív értéke,
- $I_{3\text{eff}}$  = az  $R_{13}$ -on átfolyó folyási szög üzemi áram effektív értéke,
- $I_{31\text{eff}}, I_{32\text{eff}}, \dots$  = az  $R_{13}$ -on átfolyó folyási szög üzemi áram első, második stb. harmonikusának effektív értéke.

A nem szinuszos terhelő áramra írható:

$$I_{3\text{eff}}^2 = I_{31\text{eff}}^2 + I_{32\text{eff}}^2 + I_{33\text{eff}}^2 + \dots \quad (1.2)$$

A primer wattos áram alapharmonikusa:

$$I_{11\text{eff}} = \ddot{u}_2 I_{21\text{eff}} + \ddot{u}_3 I_{31\text{eff}} + I_v \quad (1.3)$$

A hálózathoz felvett áram effektív értéke:

$$I_{1\text{eff}}^2 = I_{11\text{eff}}^2 + I_L^2 + \ddot{u}_3^2 I_{32\text{eff}}^2 + \ddot{u}_3^2 I_{33\text{eff}}^2 + \dots \quad (1.4)$$

$$I_{1\text{eff}}^2 = I_{11\text{eff}}^2 + I_L^2 + \ddot{u}_3^2 (I_{3\text{eff}}^2 - I_{31\text{eff}}^2) \quad (1.5)$$

A hálózathoz teljesítményfelvételt csak az  $I_{11\text{eff}}$  áramösszetevő okoz. A többi komponens és az induktíváram ún. lengő teljesítményt hoz létre, ezért csak a rézvesztés növekedése szempontjából kell jelenlétüket figyelembe venni.

Az induktív és a magasabb rendszámú harmonikusokból származó áramösszetevők egyszerű figyelembevétele érdekében vezessük be a  $k$  áramtényező fogalmát.

$$k_{\text{pr}} = k_1 = \frac{I_{1\text{eff}}}{I_{11\text{eff}}} > 1, \quad (1.6)$$

$$k_2 = \frac{I_{2\text{eff}}}{I_{21\text{eff}}} \cong 1, \quad (1.7)$$

$$k_3 = \frac{I_{3\text{eff}}}{I_{31\text{eff}}} > 1. \quad (1.8)$$

A primer oldal áramtényezője értelemszerűen az 1. tekercs áramtényezőjével egyezik meg. A szekunder oldal áramtényezőjét  $k_2$ -ből és  $k_3$ -ból súlyozott átlagképzéssel számíthatjuk ki:

$$k_{\text{sz}} = \frac{k_2 P_2 + k_3 P_3}{P_2 + P_3} = \frac{k_2 P_2 + k_3 P_3}{P_h} = \frac{P_{\text{sz1}}}{P_h}, \quad (1.9)$$

ahol

$P_2$  = a 2. tekercsből kivett hasznos teljesítmény,

$P_3$  = a 3. tekercsből kivett hasznos teljesítmény,

$P_h$  = az eredő hasznos teljesítmény,

$P_{\text{sz1}}$  = a szekunder oldali látszólagos teljesítmény.

Ha a szekunder oldalon több nemlineáris terhelésű tekercs van, a számítás a fentiekhez hasonlóan:

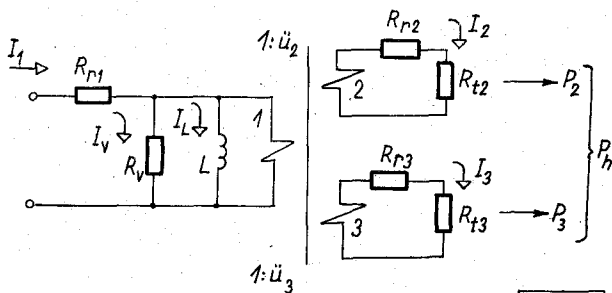
$$I_{11\text{eff}} = \ddot{u}_2 I_{21\text{eff}} + \ddot{u}_3 I_{31\text{eff}} + \ddot{u}_4 I_{41\text{eff}} + \dots + \ddot{u}_n I_{n1\text{eff}} + I_v, \quad (1.10)$$

$$I_{1\text{eff}}^2 = I_{11\text{eff}}^2 + I_L^2 + (\ddot{u}_3 I_{32\text{eff}} + \ddot{u}_4 I_{42\text{eff}} + \dots + \ddot{u}_n I_{n2\text{eff}})^2 + (\ddot{u}_3 I_{33\text{eff}} + \ddot{u}_4 I_{43\text{eff}} + \dots + \ddot{u}_n I_{n3\text{eff}})^2 + \dots \quad (1.11)$$

A magasabb harmonikusokból származó áramösszetevőket – kis hibával – tekercsenként szeparálva vegyük figyelembe:

$$I_{1\text{eff}}^2 = I_{11\text{eff}}^2 + I_L^2 + \ddot{u}_3^2 (I_{3\text{eff}}^2 - I_{31\text{eff}}^2) + \ddot{u}_4^2 (I_{4\text{eff}}^2 - I_{41\text{eff}}^2) + \dots + \ddot{u}_n^2 (I_{n\text{eff}}^2 - I_{n1\text{eff}}^2). \quad (1.12)$$

Beérkezett: 1973. IV. 20.



1. ábra

2. A transzformátorral átvihető hasznos teljesítmény ahol meghatározása

A hálózatról felvett teljesítmény:

$$P_1 = P_h + P_r + P_v = P_h + P_{\text{öv}}, \quad (2.1)$$

$$P_h = P_2 + P_3, \quad (2.2)$$

ahol

$P_h$  = a szekunder oldalon leadott hasznos teljesítmény,

$P_r$  = a teljes rézvesztés,

$P_v$  = a teljes vasvesztés,

$P_{\text{öv}}$  = az összes veszteség.

A teljes rézvesztés a egyes tekercsek rézvesztéseinek összegzésével kapjuk:

$$P_r = P_{r1} + P_{r2} + P_{r3}. \quad (2.3)$$

A primer tekercs rézvesztése:

$$P_{r1} = I_{1\text{eff}}^2 R_{r1} = k_{pr}^2 I_{11\text{eff}}^2 R_{r1}. \quad (2.4)$$

Mivel teljesítményfelvétel csak az alapharmonikus frekvencián van, így írható:

$$P_1 = U_{1\text{eff}} I_{11\text{eff}}. \quad (2.5)$$

Helyettesítsük be  $I_{11\text{eff}}$ -et  $P_{r1}$  képletébe:

$$P_{r1} = k_{pr}^2 \frac{P_1^2}{U_{1\text{eff}}^2} R_{r1}. \quad (2.6)$$

A rézvesztési ellenálláson eső feszültséget első közelítésben figyelmen kívül hagyva, a primer feszültség és a fluxus közötti összefüggés:

$$U_{1\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} n_1 \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} n_1 \omega B A_m, \quad (2.7)$$

ahol

$n_1$  = a primer tekercs menetszáma,

$\omega$  = az átvinni kívánt legkisebb körfrekvencia ( $\omega = 2\pi \cdot 50$  Hz),

$B$  = a megengedett maximális indukció,

$A_m$  = a mágneses magkeresztmetszet.

A primer tekercs huzalellenállásának kiszámítása:

$$R_{r1} = n_1 \varrho \frac{l_k}{A_{r1}}, \quad (2.8)$$

ahol

$n_1$  = a primer tekercs menetszáma,

$\varrho$  = a réz fajlagos ellenállása,

$l_k$  = a tekercsek közepes menethossza,

$A_{r1}$  = a primer tekercs huzal keresztmetszete.

$A_{r1}$  felírható a tekercs  $F_{r1}$  rézköltési tényezőjének és  $A_{t1}$  tekercselési keresztmetszetének ismeretében:

$$A_{r1} = \frac{F_{r1} A_{t1}}{n_1}. \quad (2.9)$$

$U_{1\text{eff}}$ ,  $R_{r1}$  és  $A_{r1}$  kifejezéseit  $P_{r1}$ -be helyettesítve kapjuk:

$$P_{r1} = \frac{2k_{pr}^2 P_1^2}{F_{r1} A_{t1}} C, \quad (2.10)$$

$$C = \frac{\varrho l_k}{\omega^2 B^2 A_m^2}. \quad (2.11)$$

Egyenletrendezés után:

$$\frac{P_{r1}}{F_{r1} A_{t1}} = \frac{1}{2C} \frac{P_{r1}^2}{k_{pr}^2 P_1^2}. \quad (2.12)$$

Vezessük be a rézvesztési állandó (vagy relatív rézvesztés) fogalmát az alábbi definíció szerint. A primer tekercsre vonatkozóan:

$$\beta_1 = \frac{P_{r1}}{k_{pr} P_1}, \quad (2.13)$$

és ezzel:

$$\frac{P_{r1}}{F_{r1} A_{t1}} = \frac{1}{2C} \beta_1^2. \quad (2.14)$$

A két szekunder tekercsre hasonlóképpen írható, hogy

$$\frac{P_{r2}}{F_{r2} A_{t2}} = \frac{1}{2C} \beta_2^2 \quad (2.15)$$

és

$$\frac{P_{r3}}{F_{r3} A_{t3}} = \frac{1}{2C} \beta_3^2, \quad (2.16)$$

ahol

$$\beta_2 = \frac{P_{r2}}{k_2 P_2}, \quad (2.17)$$

ill.

$$\beta_3 = \frac{P_{r3}}{k_3 P_3}. \quad (2.18)$$

Általánosságban igaz, hogy az  $i$ -edik tekercsre

$$\frac{P_{ri}}{F_{ri} A_{ti}} = \frac{1}{2C} \beta_i^2. \quad (2.19)$$

Ha a különböző tekercsek közepes menethosszait egyformán  $l_k$ -nak tekintjük, és az egyenlet mindkét oldalát  $l_k$ -val osztjuk, akkor az  $i$ -edik tekercs egy-egy réztérfogatában keletkező veszteségi (hő) teljesítményt kapjuk:

$$\frac{P_{ri}}{F_{ri} A_{ti} l_k} = \frac{1}{2C} \frac{\beta_i^2}{l_k}. \quad (2.20)$$

Méretezzük a transzformátort úgy, hogy az egy-egy réztérfogatban keletkező hőmennyiség az összes tekercsben azonos értékű legyen:

$$\frac{P_{r1}}{F_{r1} A_{t1} l_k} = \frac{P_{r2}}{F_{r2} A_{t2} l_k} = \frac{P_{r3}}{F_{r3} A_{t3} l_k} = \frac{P_{ri}}{F_{ri} A_{ti} l_k}. \quad (2.21)$$

Ekkor:

$$\frac{1}{2C} \frac{\beta_1^2}{l_k} = \frac{1}{2C} \frac{\beta_2^2}{l_k} = \frac{1}{2C} \frac{\beta_3^2}{l_k} = \dots = \frac{1}{2C} \frac{\beta_i^2}{l_k}. \quad (2.22)$$

Ennek az a feltétele, hogy

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_i \quad (2.23)$$

legyen.

Határozzuk meg  $\beta_1$  értékét a transzformátor rézvesztésének függvényében:

$$F_{r1}A_{t1} = P_{r1} \frac{2C}{\beta_1^2}, \quad (2.24)$$

$$F_{r2}A_{t2} = P_{r2} \frac{2C}{\beta_1^2}, \quad (2.25)$$

$$\vdots$$

$$F_{ri}A_{ti} = P_{ri} \frac{2C}{\beta_1^2}. \quad (2.26)$$

Az egyenleteket összeadva:

$$F_{r1}A_{t1} + F_{r2}A_{t2} + \dots + F_{ri}A_{ti} + \dots = \sum_i F_{ri}A_{ti} = F_r A_t, \quad (2.27)$$

ahol

$A_t$  = a transzformátor tekercselési keresztmetszetének területe,

$F_r$  = a transzformátor rézkitöltési tényezője és

$F_r A_t$  = a transzformátor teljes rézkeresztmetszetének területe.

$$F_r A_t = \sum_i F_{ri} A_{ti} = \frac{2C}{\beta_1^2} (P_{r1} + P_{r2} + \dots + P_{ri} + \dots) =$$

$$= \frac{2C}{\beta_1^2} P_r. \quad (2.28)$$

Ebből:

$$\beta_1^2 = P_r \frac{2C}{F_r A_t}. \quad (2.29)$$

Az egyes tekercsek rézvesztési tényezőjén ( $\beta_1$ ) kívül definiáljunk a teljes transzformátorra is egy rézvesztési tényezőt a következőképpen:

$$\beta = \frac{P_r}{P_1}. \quad (2.30)$$

Határozzuk meg, milyen összefüggés van  $\beta_1$  és  $\beta$  között.

$$\beta = \frac{P_r}{P_1} = \frac{P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + \dots}{P_1} =$$

$$= \frac{P_{r1}}{P_1} + \frac{P_{r2} + P_{r3} + \dots}{P_1}. \quad (2.31)$$

Mivel

$$P_{r1} = k_{pr} \beta_1 P_1, \quad (2.32)$$

$$P_{r2} = k_2 \beta_1 P_2, \quad (2.33)$$

$$P_{r3} = k_3 \beta_1 P_3, \quad (2.34)$$

$$\vdots$$

$$P_{ri} = k_i \beta_1 P_i, \quad (2.35)$$

így

$$\beta = k_{pr} \beta_1 + \beta_1 \frac{k_2 P_2 + k_3 P_3 + \dots + k_i P_i + \dots}{P_1}. \quad (2.36)$$

Osszuk el a tört számlálóját és nevezőjét  $P_h$ -val:

$$\beta = k_{pr} \beta_1 + \beta_1 \frac{k_2 P_2 + k_3 P_3 + \dots + k_i P_i + \dots}{\frac{P_h}{P_1}}. \quad (2.37)$$

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$k_{sz} = \frac{k_2 P_2 + k_3 P_3 + \dots + k_i P_i + \dots}{P_h}, \quad (2.38)$$

$$\eta = \frac{P_h}{P_1} \text{ a transzformátor hatásfoka.} \quad (2.39)$$

Behelyettesítve:

$$\beta = k_{pr} \beta_1 + k_{sz} \beta_1 \eta. \quad (2.40)$$

Ebből

$$\beta_1 = \frac{\beta}{k_{pr} + \eta k_{sz}}. \quad (2.41)$$

Foglaljuk össze az eddigi egyenleteket:

$$\beta = \beta_1 (k_{pr} + \eta k_{sz}), \quad (2.42)$$

$$\beta = \frac{P_r}{P_1},$$

$$\beta_1 = \sqrt{P_r} \sqrt{\frac{2C}{F_r A_t}}, \quad (2.43)$$

$$\eta = \frac{P_h}{P_1},$$

$$P_1 = P_h + P_{\ddot{v}}.$$

Tételezzük fel, hogy egy adott vasmag esetén a megengedhető maximális rézvesztés ( $P_r$ ) és az összes veszteség ( $P_{\ddot{v}}$ ) előre kiszámítható, adott érték. Ezt figyelembe véve az ismeretlen tényezők száma csak öt ( $\beta$ ,  $\beta_1$ ,  $\eta$ ,  $P_1$ ,  $P_h$ ), és az egyenletek száma is öt.

Oldjuk meg az egyenletrendszert  $P_h$ -ra:

$$P_h = \frac{\omega B}{k_{or} + k_{sz}} \sqrt{\frac{P_r}{2A_{tr}}} - \frac{k_{pr}}{k_{pr} + k_{sz}} P_{\ddot{v}}, \quad (2.44)$$

ahol

$$A_{tr} = \frac{\rho l_k}{F_r A_t A_m^2}. \quad (2.45)$$

Az  $A_{tr}$  tényező értéke csak a vasmag méretétől függ, értékét katalógusok is megadják [3], dimenziója  $\Omega/m^4$ .

Rendezzük az egyenletet úgy, hogy a jobb oldalon csak állandó tényezők legyenek:

$$\left( \frac{k_{pr} + k_{sz}}{2} \right) P_h = \frac{\omega B}{2} \sqrt{\frac{P_r}{2A_{tr}}} - \frac{k_{pr}}{2} P_{\ddot{v}}. \quad (2.46)$$

$k_{pr}$ -nek a gyakorlatban előforduló értékeit figyelembe véve a következő elhanyagolás növeli a méretezés biztonságát:

$$\left( \frac{k_{pr} + k_{sz}}{2} \right) P_h = \frac{\omega B}{2} \sqrt{\frac{P_r}{2A_{tr}}} - 0,7 P_{\ddot{v}}. \quad (2.47)$$

Ha a terhelés szinuszos, akkor

$$k_{pr} = \frac{\sqrt{I_{11}^{2\text{eff}} + I_L^2}}{I_{11}^{\text{eff}}} \cong 1, \quad (2.48)$$

$$k_{sz} = 1, \quad (2.49)$$

és a (2.46) egyenlet jobb oldala közvetlenül  $P_h$ -t adja.

Folyási szög üzemű terhelésnél  $\frac{k_{pr} + k_{sz}}{2}$ -t úgy vehetjük figyelembe, hogy a (2.46) egyenlet jobb oldalának értékét kb. 30%-kal csökkentjük.

Számítsuk ki  $\beta_1$  értékét.

$$\beta_1 = \sqrt{P_r} \sqrt{\frac{2C}{F_r A_t}} = \sqrt{P_r} \frac{2Ql_k}{\omega^2 B^2 A_m^2 F_r A_t}, \quad (2.50)$$

$$\beta_1 = \sqrt{P_r} \frac{2A_{tr}}{\omega^2 B^2} = \frac{1}{\omega B} \sqrt{2P_r A_{tr}}. \quad (2.51)$$

Fejezzük ki  $\beta_1$  képletéből  $\omega B$ -t, és helyettesítsük be  $P_h$ -ba:

$$\omega B = \frac{\sqrt{2P_r A_{tr}}}{\beta_1}, \quad (2.52)$$

$$\frac{k_{pr} + k_{sz}}{2} P_h = \frac{\sqrt{2P_r A_{tr}}}{2\beta_1} \sqrt{\frac{P_r}{2A_{tr}}} - 0,7 P_{\text{öv}} \quad (2.53)$$

$$\frac{k_{pr} + k_{sz}}{2} P_h = \frac{P_r}{2\beta_1} - 0,7 P_{\text{öv}}. \quad (2.54)$$

Az eredményeket összefoglalva azt mondhatjuk, hogy teljesen teletekerített csévetestet alapul véve, a  $\beta_1$  rézvesztési állandó értéke csak a transzformátor méretétől és a vas anyagától függ, ezért értéke a (2.51) szerint előre kiszámítható.

A transzformátorral átvihető hasznos teljesítmény  $\beta_1$  ismeretében, lineáris terhelés esetén szintén előre meghatározható, folyási szög üzemű terhelésnél pedig megbecsülhető a (2.54) összefüggés alapján.

### 3. A menetszámok meghatározása

Induljunk ki a 2. ábra szerinti helyettesítő képből

#### 3.1 A belső feszültségesések

A primer oldalon:

$$U'_{1\text{eff}} \cong U_{1\text{eff}} - I_{11\text{eff}} R_{r1}, \quad (3.1)$$

$$\frac{U'_{1\text{eff}}}{U_{1\text{eff}}} = 1 - \frac{I_{11\text{eff}} R_{r1}}{U_{1\text{eff}}}, \quad (3.2)$$

$$\beta_1 = \frac{P_{r1}}{k_1 P_1} = \frac{I_{11\text{eff}}^2 R_{r1}}{k_1 U_{1\text{eff}} I_{11\text{eff}}} = \frac{k_1 I_{11\text{eff}} R_{r1}}{U_{1\text{eff}}}, \quad (3.3)$$

$$\frac{U'_{1\text{eff}}}{U_{1\text{eff}}} = 1 - \frac{\beta_1}{k_1} \cong 1 - \beta_1. \quad (3.4)$$

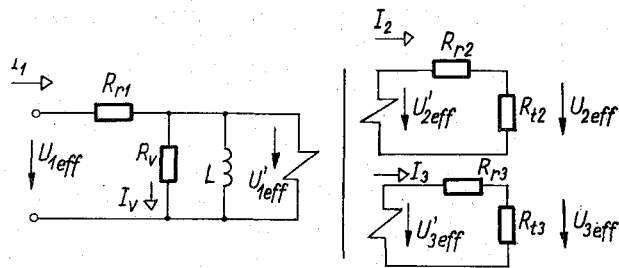
A szekunder oldalon:

$$U'_{2\text{eff}} \cong I_{21\text{eff}} R_{r2} + U_{2\text{eff}}, \quad (3.5)$$

$$\frac{U'_{2\text{eff}}}{U_{2\text{eff}}} = \frac{I_{21\text{eff}} R_{r2}}{U_{2\text{eff}}} + 1, \quad (3.6)$$

$$\beta_2 = \frac{P_{r2}}{k_2 P_2} = \frac{I_{21\text{eff}}^2 R_{r2}}{k_2 U_{2\text{eff}} I_{21\text{eff}}} = \frac{k_2 I_{21\text{eff}} R_{r2}}{U_{2\text{eff}}}, \quad (3.7)$$

$$\frac{U'_{2\text{eff}}}{U_{2\text{eff}}} = 1 + \frac{\beta_2}{k_2} \cong 1 + \beta_2, \quad (3.8)$$



2. ábra

mivel  $\beta_2 = \beta_1$ , így

$$\frac{U'_{2\text{eff}}}{U_{2\text{eff}}} \cong 1 + \beta_1. \quad (3.9)$$

Hasonlóképpen:

$$\frac{U'_{3\text{eff}}}{U_{3\text{eff}}} \cong 1 + \beta_1. \quad (3.10)$$

#### 3.2 A feszültség és a menetszám közötti összefüggés

A primer oldalon:

$$U'_{1\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} n_1 \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} n_1 \omega B A_m. \quad (3.11)$$

Fejezzük ki  $n_1$ -et:

$$n_1 = \frac{\sqrt{2} U'_{1\text{eff}}}{\omega B A_m} = \frac{\sqrt{2} U_{1\text{eff}}}{\omega B A_m} (1 - \beta_1). \quad (3.12)$$

A voltonkénti menetszám:

$$\frac{n_1}{U_{1\text{eff}}} = \frac{\sqrt{2}}{\omega B A_m} (1 - \beta_1) = \frac{1,41 \cdot 10^4}{314 B A_m [\text{cm}^2]} (1 - \beta_1). \quad (3.13)$$

$$\frac{n_1}{U_{1\text{eff}}} = \frac{45}{B A_m [\text{cm}^2]} (1 - \beta_1), \quad (3.14)$$

$$A_m = F_v A_g, \quad (3.15)$$

ahol

$A_m$  = a mágneses mag keresztmetszete,  
 $F_v$  = vaskitöltési tényező,  
 $A_g$  = geometriai magkeresztmetszet,  
 $B$  = indukció Tesla-ban.

$$\frac{n_1}{U_{1\text{eff}}} = \frac{45}{B F_v A_g [\text{cm}^2]} (1 - \beta_1). \quad (3.16)$$

A szekunder oldalra hasonlóképpen írható:

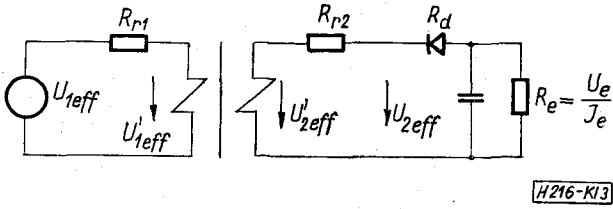
$$U'_{2\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} n_2 \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} n_2 \omega B A_m, \quad (3.17)$$

$$n_2 = \frac{\sqrt{2} U'_{2\text{eff}}}{\omega B A_m} = \frac{\sqrt{2} U_{2\text{eff}}}{\omega B A_m} (1 + \beta_1). \quad (3.18)$$

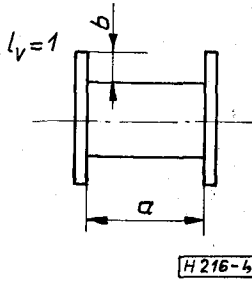
A voltonkénti menetszám:

$$\frac{n_2}{U_{2\text{eff}}} = \frac{\sqrt{2}}{\omega B A_m} (1 + \beta_1) = \frac{1,41 \cdot 10^4}{314 B A_m [\text{cm}^2]} (1 + \beta_1), \quad (3.19)$$

$$\frac{n_2}{U_{2\text{eff}}} = \frac{45}{B F_v A_g [\text{cm}^2]} (1 + \beta_1), \quad (3.20)$$



3. ábra



4. ábra

H216-K13

H216-4

$$R_{r2} = \frac{\beta_1 U_{2eff} I_{21eff}}{k_2 I_{21eff}^2} = \frac{\beta_1 U_{2eff}}{k_2 I_{21eff}}, \quad (3.30)$$

$$R_{r2} = n_2 \frac{\varrho l_k}{A_{r2}}, \quad (3.31)$$

$$A_{r2} = \frac{45}{BF_v A_g} \frac{1 + \beta_1}{\beta_1} \varrho l_k I_{2eff}, \quad (3.32)$$

és a másik szekunder tekercsre:

$$A_{r3} = \frac{45}{BF_v A_g} \frac{1 + \beta_1}{\beta_1} \varrho l_k I_{3eff}. \quad (3.33)$$

### 3.4 A transzformátor szerepe az egyenirányító körben

A transzformátor szekunder tekercsének ellenállása és a primer tekercs betranszformált ellenállása az egyenirányítókör  $R_b$ -ellenállásának részét képezi, ezért nagysága közvetlenül befolyásolja a folyási szögét és ezen keresztül az egész egyenirányító kör viselkedését (3. ábra).

Határozzuk meg, hogy a transzformátor mekkora ellenállást visz be az egyenirányító körbe. Ehhez  $R_{r1}$  és  $R_{r2}$  értékét kell kiszámítani. Az eddigiek ismeretében ezt a következőképpen tesszük:

$$n_1 = \frac{45}{BF_v A_g} U_{1eff} (1 - \beta_1),$$

$$A_{r1} = \frac{45}{BF_v A_g} \varrho l_k \frac{1 - \beta_1}{\beta_1} I_{1eff}.$$

A két egyenletet egymással elosztva, majd átrendezve:

$$\frac{n_1}{A_{r1}} \varrho l_k = R_{r1} = \frac{U_{1eff}}{I_{1eff}} \beta_1. \quad (3.34)$$

A szekunder tekercs ellenállása ugyanúgy számítható:

$$\frac{n_2}{A_{r2}} \varrho l_k = R_{r2} = \frac{U_{2eff}}{I_{2eff}} \beta_1. \quad (3.35)$$

A 3. ábra szerinti helyettesítő kép alapján a transzformátor ellenállása:

$$R_{tr} = \dot{u}^2 R_{r1} + R_{r2} = \dot{u}^2 \frac{U_{1eff}}{I_{1eff}} \beta_1 + \frac{U_{2eff}}{I_{2eff}} \beta_1, \quad (3.36)$$

$$U_{2eff} = \dot{u} U_{1eff}, \quad (3.37)$$

$$I_{2eff} \cong \frac{I_{1eff}}{\dot{u}}, \quad (3.38)$$

$$R_{tr} = \frac{U_{2eff}}{I_{2eff}} \beta_1 + \frac{U_{2eff}}{I_{2eff}} \beta_1 = 2 \frac{U_{2eff}}{I_{2eff}} \beta_1 = 2R_{r2}. \quad (3.39)$$

Az egyenirányító kör váltakozó áramú belső ellenállása:

$$R_b = R_{tr} + R_d. \quad (3.40)$$

Helyesen megválasztott diódánál, az esetek többségében  $R_d \ll R_{tr}$ . Ezt figyelembe véve:

$$R_b \cong B_{tr} = 2R_{r2} = 2 \frac{U_{2eff}}{I_{2eff}} \beta_1. \quad (3.41)$$

és

$$\frac{n_3}{U_{3eff}} = \frac{45}{BF_v A_g [\text{cm}^2]} (1 + \beta_1). \quad (3.21)$$

### 3.3 A huzalátmérők meghatározása

A tekercsek ellenállását a rézvesztésből számíthatjuk ki:

$$P_{r1} = I_{1eff}^2 R_{r1} = k_1^2 I_{11eff}^2 R_{r1}, \quad (3.22)$$

$$R_{r1} = \frac{P_{r1}}{k_1^2 I_{11eff}^2}. \quad (3.23)$$

A rézvesztés kifejezhető a rézvesztési állandóval és a primer teljesítménnyel:

$$R_{r1} = \frac{k_1 P_1 \beta_1}{k_1^2 I_{11eff}^2} = \frac{U_{1eff} I_{11eff} \beta_1}{k_1 I_{11eff}^2} = \frac{U_{1eff} \beta_1}{k_1 I_{11eff}}, \quad (3.24)$$

másrészt kiszámítható a huzaladatokból a fajlagos ellenállással:

$$R_{r1} = n_1 \frac{\varrho l_k}{A_{r1}}. \quad (3.25)$$

A két egyenletet egymással egyenlővé téve:

$$n_1 \frac{\varrho l_k}{A_{r1}} = \frac{U_{1eff} \beta_1}{k_1 I_{11eff}}. \quad (3.26)$$

Fejezzük ki a huzalkeresztmetszetet:

$$A_{r1} = \frac{k_1 I_{11eff} \varrho l_k}{\beta_1} \frac{n_1}{U_{1eff}} = \frac{45}{BF_v A_g} \varrho l_k \frac{1 - \beta_1}{\beta_1} I_{1eff}. \quad (3.27)$$

A szekunder tekercs huzalkeresztmetszetét is hasonlóképpen lehet kiszámítani:

$$P_{r2} = k_2^2 I_{21eff}^2 R_{r2}, \quad (3.28)$$

$$R_{r2} = \frac{P_{r2}}{k_2^2 I_{21eff}^2} = \frac{k_2 \beta_1 P_2}{k_2^2 I_{21eff}^2} = \frac{\beta_1 P_2}{k_2 I_{21eff}^2}, \quad (3.29)$$

	$P_b$	$P_1$	$\beta_1$	$\frac{n}{U}$	$\frac{n}{U}(1-\beta_1)$	$\frac{n}{U}(1+\beta_1)$	$\frac{n}{U}(1-\beta_1) \cdot 220 \text{ V}$	$\frac{A_{r1}}{I_{1 \text{ eff}}}$	$\frac{A_{r2}}{I_{2 \text{ eff}}}$	$I_L$	$\Theta_{\text{mm}}$
	[W]	[VA]		[menet/V]	[menet/V]	[menet/V]	[menet/V]	$\left[\frac{\text{mm}^2}{\text{A}}\right]$	$\left[\frac{\text{mm}^2}{\text{A}}\right]$	[A]	[°]
SM 42	6,8	9	0,124	18,4	16,1	20,7	3542	0,23	0,29	0,015	53
SM 55	19	22	0,064	9,1	8,5	9,7	1868	0,3	0,34	0,023	41
SM 65	40	45	0,046	5,9	5,6	6,2	1240	0,34	0,37	0,041	36
SM 74	60	65	0,03	4,2	4,1	4,4	900	0,44	0,46	0,055	31
SM 85 a	80	86	0,024	3,3	3,2	3,4	708	0,46	0,48	0,076	28
SM 85 b	105	112	0,019	2,3	2,3	2,4	506	0,47	0,49	0,100	26
SM 102 a	138	146	0,017	2,5	2,5	2,6	550	0,58	0,6	0,113	25
SM 102 b	178	187	0,012	1,7	1,7	1,7	374	0,66	0,66	0,156	21
	Szekunder hasznos teljesítmény	Primer összes teljesítmény	Relatív feszültségés	Voltókénti menetszám a relatív fesz. és figyelembevétele nélkül	Primer oldali voltókénti menetszám	Szekunder oldali voltókénti menetszám	Primer menet-szám 220 V-ra	Primer áram-sűrűség, recip-roka	Szekunder áram-sűrűség, recip-roka	Üresjárás áram-felvétel 220 V-ról	Az egyenirányító minimális folyási szöge $P_4$ elhanyagolásával

A folyási szög függvényének felhasználásával [1]:

$$U_{2 \text{ eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{U_e} [\Theta] U_e, \quad (3.42)$$

$$I_{2 \text{ eff}} = \frac{p I_{\text{eff}}}{I_e} [\Theta] \frac{I_e}{p}, \quad (3.43)$$

$$R_b = 2\beta_1 \frac{\frac{U_{\text{eff}}}{U_e} U_e}{\frac{p I_{\text{eff}}}{I_e} \frac{I_e}{p}} 2\beta_1 p R_e \frac{\frac{U_{\text{eff}}}{U_e}}{\frac{p I_{\text{eff}}}{I_e}}, \quad (3.44)$$

$$\frac{R_b}{p R_e} = 2\beta_1 \frac{\frac{U_{\text{eff}}}{U_e}}{\frac{p I_{\text{eff}}}{I_e}}. \quad (3.45)$$

Az  $\frac{R_b}{p R_e}$  tört szintén a folyási szög függvénye.

A folyási szögtől függő kifejezéseket összevonva írhatjuk:

$$A(\Theta) = \beta_1, \quad (3.46)$$

ahol:

$$A(\Theta) = \frac{1}{2} \frac{\frac{R_b}{p R_e} \frac{p I_{\text{eff}}}{I_e}}{\frac{U_{\text{eff}}}{U_e}}. \quad (3.47)$$

Mivel a transzformátor által realizálható  $\beta_1$  értéke minden transzformátor-mérethez előre kiszámítható, így az egyenirányító kör méretezéséhez szükséges folyási szög is ismert.

4. Tervezési segédlet

A levezetések alapján előre kiszámíthatók a transzformátorok gyakorlati méretezéséhez szükséges ada-

tok. Az igen nagy terjedelmű számítási munka leírásának mellőzésével a végeredményeket táblázatos formában foglaljuk össze (1. táblázat).

A vasmag-jellemzőknél a Vacuumschmelze cég katalógusadatait vettük figyelembe. Egyéb kiindulási adatok:

$$B = 1,7 \text{ T},$$

$t = 40 \text{ °C}$  megengedett hőmérsékletemelkedés, vasanyag: *Trafoperm N2*,  $A$  kivétel, hőátadási tényezők [3] szerint.

A csévetest adatai a 2. táblázat szerint.

2. táblázat

	$a$	$b$	$p_v$
SM 42	28	7,5	2,3
SM 55	35,5	9	2,5
SM 65	42	11	2,8
SM 74	48	12,5	3
SM 85a	53	12	2,9
SM 85b	53	12	2,9
SM 102a	65	15,5	3,2
SM 102b	65	15,5	3,2

$p_v$ : A tekercskészítéskor számításba vett teljes szigetelőanyag (papír, varnish vászon stb.) vastagsága.

I R O D A L O M

[1] Kálmán I.: Lineáris, töréspontos karakterisztikájú diódát tartalmazó, pufferkondenzátoros kimenetű egyenirányító fokozatok analízise és tervezése. Híradástechnika, XXI. évf. 8. szám  
 [2] Vacuumschmelze GMBH: Schnittbandkerne, 1970  
 [3] Takács F.: Híradástechnikai anyag- és alkatrész-katalógus. Tankönyvkiadó, 1964