

ZF6HP26 típusú váltó áttételének a meghatározása

Derivation of ZF6HP26 Speed Transmission

ZSILA K.F.¹, TIBA Zs.²

¹Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi és Közúti Járművek Tanszék, zsilaklaudia22@gmail.com

²Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi és Közúti Járművek Tanszék, tiba@eng.unideb.hu

Absztrakt. Az automatizálás egyre nagyobb mértékű elterjedésének köszönhetően megjelentek automata sebességváltók, amelyek áttétel módosítása a sorba kapcsolt bolygóművek megfelelő elemeinek fékezéséből, illetve összekapcsolásából adódik. A tanulmány középpontja egy ZF6HP26 típusú sebességváltó. A sebességváltó szétszerelése után a megszámlolt fogszámok ismeretében levezettük az áttételeket a szakirodalomban publikált fordulatszámegyenletek felhasználásával. Az egyes fokozatok áttételeit paraméteresen vezettük le, amelybe a fogszámok behelyettesítésével megkaptuk a gyártó által is publikált áttételeket.

Abstract. Due to the increasing importance of automation, automatic transmissions have appeared. The different ratios of the transmission may be achieved by braking and coupling the corresponding elements of the planetary gear sets connected in series. The focus of the study is on the ZF6HP26 transmission. After disassembly and clarifying the teeth number of the gears, we derived the equations parametricly providing the ratios using the speed equations published in the literature. The ratio of each gear is calculated by substituting the particular teeth numbers into the derived equations.

Kulcsszavak: automata sebességváltó, bolygóműves sebességváltó, Lepelletier koncepció, Ravigneaux-bolygómű

Keywords: automatic gearbox, gearbox of planetary gearset, Lepelletier-concept, Ravigneaux-planetary gearset

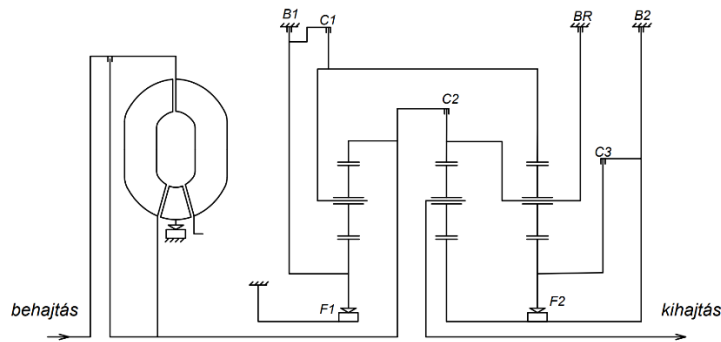
Bevezetés

A legelterjedtebb automata váltók a bolygóműves sebességváltók, melyek a hidrodinamikus nyomatékváltó mellett mechanikus bolygóműves részből állnak. A bolygóműves automata váltók az áttétel levezetése szempontjából két csoportba sorolhatók attól függően, hogy csak sorba kapcsolt elemi bolygóműveket, vagy összetett bolygómű egységeket is tartalmaznak. Mindkét csoportnál a behajtás mindig a hidrodinamikus nyomatékváltón keresztül történik, viszont a fordulatszámegyenletek felírásánál egy jelentősebb különbség lesz.

1. Sorbakapcsolt bolygóműves sebességváltók

A sorba kapcsolt elemi bolygóművek áttétele egyszerűen levezethető az ismert fordulatszám egyenletek alapján. Az alap fordulatszámegyenletekből kifejezve a behajtás és a kihajtás fordulatszám hányadosát

megkapjuk a sebességváltó áttételét. Egy ilyen automataváltó az 5-sebességfokozatú W5A 580 Mercedes Benz váltó is, mely az 1.ábrán látható.



1. ábra: 5-fokozatú W5A 580 Mercedes Benz sebességváltó

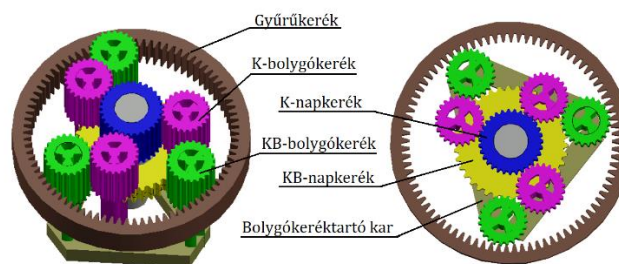
Forrás: A [2] alapján

A bolygóműves váltók szempontjából egy másik koncepció az összetett bolygóművek alkalmazása, pl. a Ravigneaux egység, ahol egy KB és egy K típusú egyszerű bolygómű kapcsolatát a közös karra szerelt, egymással kapcsolódó bolygókerekek biztosítják.

2. Ravigneaux-bolygómű egység

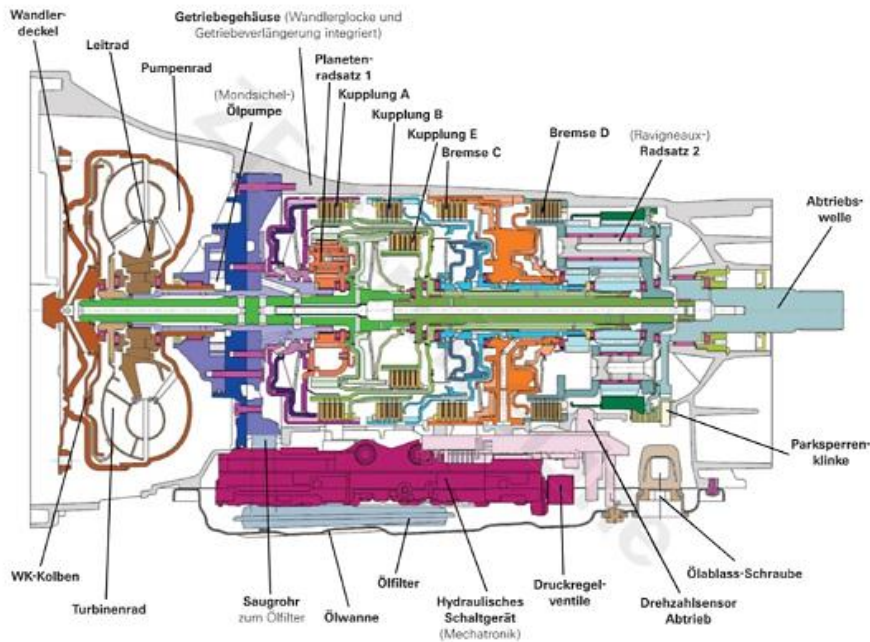
A 2001-ben megjelent ZF6HP sebességváltó elsőként alkalmazta a Lepelletier elrendezésű rendszert, amelyet 1992-ben szabadalmaztatott Pierre Lepelletier. A koncepció egy hagyományos KB-típusú bolygóművet, mint előtét bolygóművet és egy vele sorba kapcsolt Ravigneaux-bolygómű egységet tartalmaz. A Ravigneaux egység (2. ábra) egy K és egy KB bolygóműből áll, amelyek közös karral rendelkeznek és a bolygókerekeik részben egymással részben saját napkerekekkel kapcsolódnak.

A sebességváltóban követve a teljesítményfolyamot az egyes fokozatokban, felírhatók a fordulatszámegyenletek attól függően, hogy az adott bolygóművek mely elemei vannak összekapcsolva, ill. fékezve, melyből az adott fokozat áttétele kifejezhető.



2. ábra: Ravigneaux-bolygómű

3. A ZF6HP26 sebességváltó



3. ábra: ZF6HP26 sebességváltó

Forrás: A [5] alapján

BMW sebességváltót szétszedtük, ezt követően megszámoztuk a fogsámokat, melyeket majd a kapott egyenletekbe behelyettesítve számíthatjuk ki az egyes fokozatokban az áttételeket.

A szétszedett ZF6HP26 sebességváltó bolygóműveinek adatai:

Előtét KB típusú bolygómű:

$$r_{I_1} = 37, r_{I_2} = 16, r_{I_3} = 71$$

Ravigneaux bolygómű egység

KB típus: $r_{II_1} = 38, r_{II_2} = 23, r_{II_3} = 85$

K típusú bolygómű: $r_{III_1} = 31, r_{III_2} = 24$

Alap fordulatszámegyenletek [6] felírása

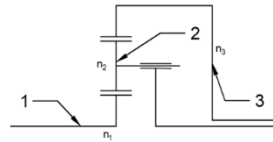
KB-típus (4. ábra):

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} = \left(1 + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (1)$$

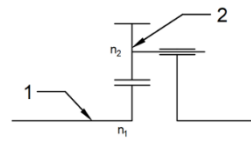
$$n_{II_1} + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{II_3} = \left(1 + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (2)$$

K-típus (5. ábra):

$$n_{III_1} + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = \left(1 + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}}\right) n_k \quad (3)$$



4. ábra: KB-bolygómű



5. ábra: K-bolygómű

Meg kell jegyeznünk, hogy az (1) és (2) összefüggésekben a bolygókerek fordulatszáma alatt a teljes bolygómozgásukból adódó fordulatszámot értjük. Ahhoz, hogy a Ravigneaux bolygómű egység két bolygóművének a kapcsolatát felírjuk, ki kell fejezzük a bolygókerek saját tengelyükhöz (karhoz) viszonyított fordulatszámát.

A bolygókerek karhoz viszonyított fordulatszámát kifejező fordulatszámeqyenletek : KB-típusú bolygómű

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} = \left(1 + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (4)$$

Peremfeltétel:

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} = n_k \quad (5)$$

K-típusú bolygómű

$$n_{III_1} + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = \left(1 + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}}\right) n_k \quad (6)$$

Peremfeltétel:

$$n_{III_1} + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_k \quad (7)$$

A kapott egyenletekbe behelyettesítve a Ravigneaux-bolygómű fogszámokat teljesül az egyenlőség vagyis meghatározható az áttétel is.

1.1. Ravigneaux-bolygómű áttétel számítás

A Ravigneaux-bolygómű egység áttételének meghatározásával számos tanulmány, cikk foglalkozik. Egy számítási módot ismertet a [1] tanulmány is, amely nem tartalmazza a bolygómű egység összes lehetséges kapcsolási módjában az áttétel meghatározását. Ennek megfelelően nem alkalmas a ZF6HP26 típusú sebességváltó áttételszámítására.

Egy ZF váltó áttételének meghatározásának módja megegyezik a sorba kapcsolt elemi bolygóművekével és ugyanazok a fordulatszám egyenletek alkalmazhatóak, bizonyos peremfeltételek mellett.

Az alábbi táblázat mutatja a gyártó által publikált áttételeket az egyes fokozatokban. Amelyben az A, B és az E tengelykapcsolókat, a C és a D betűk fékeket jelentenek. Zölddel vannak jelölve azok a tengelykapcsolók, melyek aktívak. Pirossal a működő fékek. A fehér szín mutatja az elfordulni képes szerkezeti elemeket, vagyis amelyek szabadságfoka nincs lekötve így a végáttétel számításban nem játszanak szerepet. Például az első fokozatban az A tengelykapcsoló és a D fék működik, az áttétel megadásánál ezt vesszük figyelembe.

	A	B	C	D	E	Áttétel
1						4,171
2						2,340
3						1,521
4						1,143
5						0,867
6						0,691
Hátrameneti						-3,403

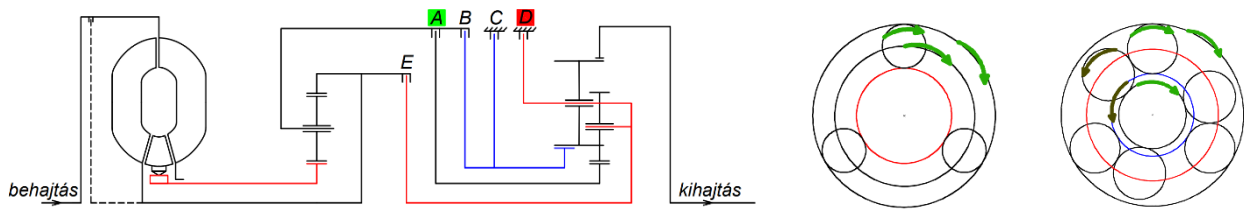
1. táblázat: Gyártó által publikált áttételek

Forrás: A [4] alapján

4. Áttételek megadása

Az ábrákon kék szín mutatja azokat a részeket, melyek az áttétel számításában nem játszanak szerepet. Piros szín a fékezett szakaszt. A forgási viszonyokat szemléltető ábrákon a baloldali az előtét bolygóművet a jobb oldali a Ravigneaux-bolygóművet ábrázolja.

1. fokozat



6. ábra: Első fokozat és az egymáshoz viszonyított forgásirányok

Előtét bolygómu fordulatszám egyenlete

$$n_{I_1} + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}} n_{I_3} = \left(1 + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}}\right) n_{I_k} \quad (8)$$

Peremfeltétel: $n_{I_1} = 0$, $n_{I_3} = n_m$ behelyettesítése a (8) egyenletbe

$$n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (9)$$

Ravigneaux-bolygómu fordulatszám egyenletei

K-típusú bolygómu:

$$n_{III_1} + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_k \quad (10)$$

Peremfeltétel: $n_{III_1} = n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m$, $n_k = 0$ behelyettesítése a (10) egyenletbe

$$n_{III_2} = -\frac{r_{III_1}}{r_{III_2}} \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (11)$$

Bolygókerek közötti peremfeltétel:

$$n_{III_2} = -\frac{r_{II_2}}{r_{III_2}} n_{II_2} \quad (12)$$

Behelyettesítve a (11)-be a (12) egyenletet:

$$n_{II_2} = \frac{r_{III_1}}{r_{II_2}} \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (13)$$

KB-típusú bolygómű:

$$n_{II_2} - \frac{r_{II_3}}{r_{II_2}} n_{II_3} = n_k \quad (14)$$

Peremfeltétel: $n_{II_3} = n_{ki}$, $n_k = 0$ behelyettesítése a (14) egyenletbe

$$n_{II_2} = \frac{r_{II_3}}{r_{II_2}} n_{ki} \quad (15)$$

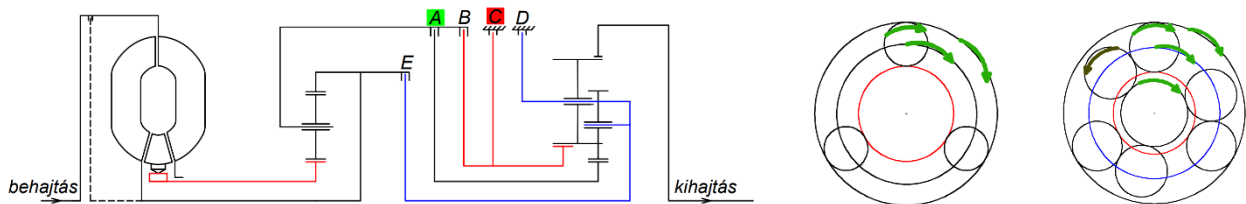
A (13) és a (15) egyenlet egyenlő:

$$\frac{r_{II_3}}{r_{II_2}} n_{ki} = \frac{r_{III_1}}{r_{II_2}} \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (16)$$

A (16) egyenletből a motor és a kihajtás fordulatszámának hányadosával kiszámítható az áttétel:

$$i = \frac{n_m}{n_{ki}} = \frac{r_{II_3} (r_{I_1} + r_{I_3})}{r_{III_1} r_{I_3}} = \frac{85 \cdot 108}{31 \cdot 71} = \mathbf{4,171} \quad (17)$$

2. fokozat



7. ábra: Második fokozat és az egymáshoz viszonyított forgásirányok

Előtét bolygómű fordulatszám egyenlete

$$n_{I_1} + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}} n_{I_3} = \left(1 + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}}\right) n_{I_k} \quad (18)$$

Peremfeltétel: $n_{I_1} = 0$, $n_{I_3} = n_m$ behelyettesítése a (18) egyenletbe

$$n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (19)$$

Ravigneaux-bolygómű fordulatszám egyenletei

K-típusú bolygómű:

$$n_{III_1} + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_k \quad (20)$$

Peremfeltétel: $n_{III_1} = n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m$ behelyettesítése a (20) egyenletbe

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_k \quad (21)$$

$$n_{III_2} = \frac{r_{III_1}}{r_{III_2}} n_k - \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{III_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (22)$$

Bolygókerék közötti peremfeltétel:

$$n_{III_2} = -\frac{r_{II_2}}{r_{III_2}} n_{II_2} \quad (23)$$

Behelyettesítve a (22)-be a (23) egyenletet:

$$n_{II_2} = -\frac{r_{III_1}}{r_{II_2}} n_k + \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{II_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (24)$$

KB-típusú bolygómu:

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{II_3} = \left(1 + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (25)$$

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} = n_k \quad (26)$$

Peremfeltétel: $n_{II_1} = 0$, $n_{II_3} = n_{ki}$ behelyettesítése a (25) egyenletbe

$$n_k = \frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} \quad (27)$$

Peremfeltétel: $n_{II_1} = 0$, $n_{II_3} = n_{ki}$ behelyettesítése a (26) egyenletbe

$$n_{II_2} = \frac{r_{II_1}}{r_{II_2}} \frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} \quad (28)$$

A (24) és a (28) egyenlet egyenlő:

$$\frac{r_{II_1} r_{II_3}}{r_{II_2} (r_{II_1} + r_{II_3})} n_{ki} = -\frac{r_{III_1}}{r_{II_2}} n_k + \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{II_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (29)$$

A (27) egyenlet beírása a (29) egyenletbe:

$$\frac{r_{II_1} r_{II_3}}{r_{II_2} (r_{II_1} + r_{II_3})} n_{ki} = -\frac{r_{III_1} r_{II_3}}{r_{II_2} (r_{II_1} + r_{II_3})} n_{ki} + \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{II_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (30)$$

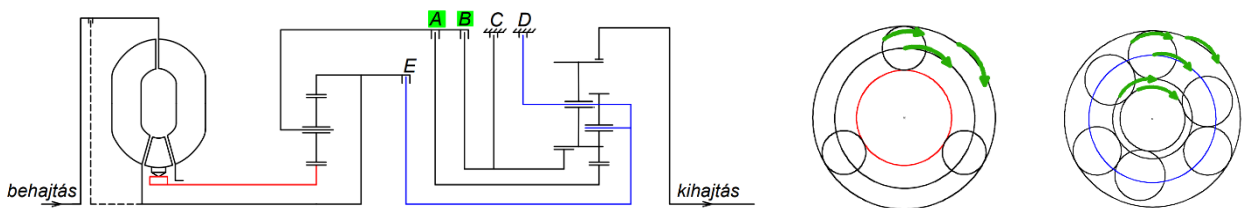
A (30) egyoldalra való rendezés:

$$\frac{r_{II_3}(r_{II_1} + r_{III_1})}{r_{II_2}(r_{II_1} + r_{II_3})} n_{ki} = \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{II_2}(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (31)$$

A (31) egyenletből a motor és a kihajtás fordulatszámának hányadosával kiszámítható az áttétel:

$$i = \frac{n_m}{n_{ki}} = \frac{r_{II_3}(r_{II_1} + r_{III_1})(r_{I_1} + r_{I_3})}{r_{III_1} r_{I_3}(r_{II_1} + r_{II_3})} = \frac{85 \cdot 69 \cdot 108}{31 \cdot 71 \cdot 123} = \mathbf{2,340} \quad (32)$$

3. fokozat



8. ábra: Harmadik fokozat és az egymáshoz viszonyított forgásirányok

Előtét bolygómű fordulatszám egyenlete

$$n_{I_1} + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}} n_{I_3} = \left(1 + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}}\right) n_{I_k} \quad (33)$$

Peremfeltétel: $n_{I_1} = 0$, $n_{I_3} = n_m$ behelyettesítése a (33) egyenletbe

$$n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (34)$$

Ravigneaux-bolygómű fordulatszám egyenletei

K-típusú bolygómű:

$$n_{III_1} + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_k \quad (35)$$

Peremfeltétel: $n_{III_1} = n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m$ behelyettesítése a (35) egyenletbe

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_k \quad (36)$$

Kifejezve a bolygókerék fordulatszámát

$$n_{III_2} = \frac{r_{III_1}}{r_{III_2}} n_k - \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{III_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (37)$$

Bolygókerékek közötti peremfeltétel:

$$n_{III_2} = -\frac{r_{II_2}}{r_{III_2}} n_{II_2} \quad (38)$$

Behelyettesítve a (37)-be a (38) egyenletet:

$$n_{II_2} = -\frac{r_{III_1}}{r_{II_2}} n_k + \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{II_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (39)$$

KB-típusú bolygómű:

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{II_3} = \left(1 + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (40)$$

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} = n_k \quad (41)$$

Peremfeltétel: $n_{II_1} = n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m$, $n_{II_3} = n_{ki}$ behelyettesítése a (40) egyenletbe

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} = \frac{r_{II_1} + r_{II_3}}{r_{II_1}} n_k \quad (42)$$

$$n_k = \frac{r_{II_1} r_{I_3}}{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} \quad (43)$$

Peremfeltétel: $n_{II_1} = n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m$, $n_{II_3} = n_{ki}$ behelyettesítése a (41) egyenletbe

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} = n_k \quad (44)$$

A (43) és (44) egyenletek azonosak:

$$\frac{r_{II_1} r_{I_3}}{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} \quad (45)$$

A (45) egyenlet rendezve:

$$\frac{r_{II_1} r_{I_3} - r_{I_3} (r_{II_1} + r_{II_3})}{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} = \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} \quad (46)$$

A (40)-be a (46) egyenletet behelyettesítve:

$$\frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} - \frac{r_{I_3} r_{II_3}}{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m = \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} \left(-\frac{r_{III_1}}{r_{II_2}} n_k + \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{II_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \right) \quad (47)$$

A (47) zárójelfelbontás:

$$\frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} - \frac{r_{I_3} r_{II_3}}{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m = -\frac{r_{III_1}}{r_{II_1}} n_k + \frac{r_{III_1} r_{I_3}}{r_{II_1} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (48)$$

$$\frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} n_{ki} + \frac{r_{III_1}}{r_{II_1}} n_k = \frac{r_{I_3} (r_{III_1} (r_{II_1} + r_{II_3}) + r_{II_1} r_{II_3})}{r_{II_1} (r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (49)$$

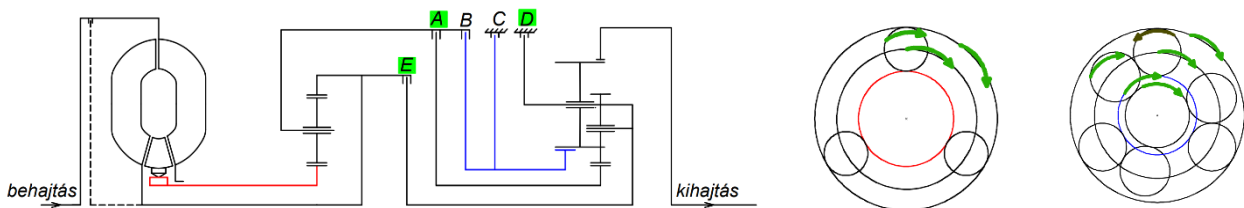
A (49) egyenletbe behelyettesítve a (43):

$$\frac{r_{II_3} (r_{II_1} + r_{III_1})}{r_{II_1} (r_{II_1} + r_{II_3})} n_{ki} = \frac{r_{I_3} r_{II_3} (r_{II_1} + r_{III_1})}{r_{II_1} (r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (50)$$

A (50) egyenletből a motor és a kihajtás fordulatszámának hányadosával kiszámítható az áttétel:

$$i = \frac{n_m}{n_{ki}} = \frac{r_{I_1} + r_{I_3}}{r_{I_3}} = \frac{108}{71} = \mathbf{1,521} \quad (51)$$

4. fokozat



9. ábra: Negyedik fokozat és az egymáshoz viszonyított forgásirányok

Előtét bolygómu fordulatszám egyenlete

$$n_{I_1} + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}} n_{I_3} = \left(1 + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}} \right) n_{I_k} \quad (52)$$

Peremfeltétel: $n_{I_1} = 0$, $n_{I_3} = n_m$ behelyettesítése a (33) egyenletbe

$$n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (53)$$

Ravigneaux-bolygó mű fordulatszám egyenletei

K-típusú bolygó mű:

$$n_{III_1} + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_k \quad (54)$$

Peremfeltétel: $n_{III_1} = n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m$, $n_k = n_m$ behelyettesítése a (54) egyenletbe

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{III_2}}{r_{III_1}} n_{III_2} = n_m \quad (55)$$

$$n_{III_2} = \frac{r_{I_1} r_{III_1}}{r_{III_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (56)$$

Bolygókerek közötti peremfeltétel:

$$n_{III_2} = -\frac{r_{II_2}}{r_{III_2}} n_{II_2} \quad (57)$$

Behelyettesítve a (56)-be a (57) egyenletet:

$$n_{II_2} = -\frac{r_{I_1} r_{III_1}}{r_{II_2} (r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (58)$$

KB-típusú bolygó mű:

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{II_3} = \left(1 + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (59)$$

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} = n_k \quad (60)$$

Peremfeltétel: $n_k = n_m$, $n_{II_3} = n_{ki}$ behelyettesítése a (59) egyenletbe

$$n_{II_1} = \frac{r_{II_1} + r_{II_3}}{r_{II_1}} n_m - \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} \quad (61)$$

Peremfeltétel: $n_k = n_m$, $n_{II_3} = n_{ki}$ behelyettesítése a (60) egyenletbe

$$n_{II_1} = n_m - \frac{r_{II_2}}{r_{II_1}} n_{II_2} \quad (62)$$

A (62) egyenletbe behelyettesítve a (58) egyenletet

$$n_{II_1} = \frac{r_{II_1}(r_{I_1} + r_{I_3}) + r_{III_1} r_{I_1}}{r_{II_1}(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (63)$$

A (61) és (63) egyenlő:

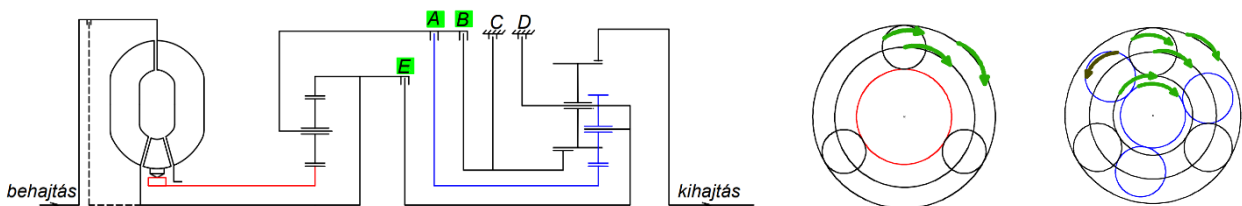
$$\frac{r_{II_1} + r_{II_3}}{r_{II_1}} n_m - \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} = \frac{r_{II_1}(r_{I_1} + r_{I_3}) + r_{III_1} r_{I_1}}{r_{II_1}(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (64)$$

$$\frac{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3}) - r_{II_1}(r_{I_1} + r_{I_3}) - r_{III_1} r_{I_1}}{r_{II_1}(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m = \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} \quad (65)$$

A (65) egyenletből a motor és a kihajtás fordulatszámának hányadosával kiszámítható az áttétel:

$$i = \frac{n_m}{n_{ki}} = \frac{r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3})}{r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3}) - r_{III_1} r_{I_1}} = \frac{85 \cdot 108}{108 \cdot 85 - 31 \cdot 37} = \mathbf{1,143} \quad (66)$$

5. fokozat



10. ábra: Ötödik fokozat és az egymáshoz viszonyított forgásirányok

Előtét bolygómű fordulatszám egyenlete

$$n_{I_1} + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}} n_{I_3} = \left(1 + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}}\right) n_{I_k} \quad (67)$$

Peremfeltétel: $n_{I_1} = 0$, $n_{I_3} = n_m$ behelyettesítése a (67) egyenletbe

$$n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (68)$$

Ravigneaux-bolygómű fordulatszám egyenletei

KB-típusú bolygómű:

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{II_3} = \left(1 + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (69)$$

Peremfeltétel: $n_k = n_m$, $n_{II_1} = n_{I_k}$, $n_{II_3} = n_{ki}$ behelyettesítése a (69) egyenletbe

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} = \frac{r_{II_1} + r_{II_3}}{r_{II_1}} n_m \quad (70)$$

A (49) egyenletet átrendezve:

$$\frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} = \frac{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3}) - r_{II_1} r_{I_3}}{r_{II_1}(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (71)$$

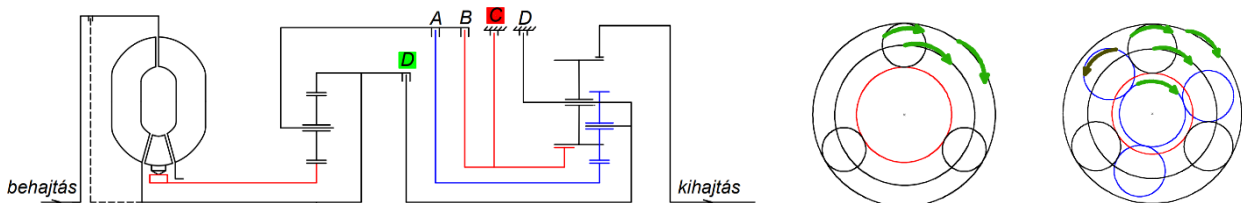
$$n_{ki} = \frac{(r_{II_1} + r_{II_3})(r_{I_1} + r_{I_3}) - r_{II_1} r_{I_3}}{r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (72)$$

$$n_{ki} = \frac{r_{II_1} r_{I_1} + r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3})}{r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3})} n_m \quad (73)$$

A (73) egyenletből a motor és a kihajtás fordulatszámának hányadosával kiszámítható az áttétel:

$$i = \frac{n_m}{n_{ki}} = \frac{r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3})}{r_{II_1} r_{I_1} + r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3})} = \frac{85 \cdot 108}{38 \cdot 37 + 85 \cdot 108} = \mathbf{0,867} \quad (74)$$

6. fokozat



11. ábra: Hatodik fokozat és az egymáshoz viszonyított forgásirányok

Ravigneaux-bolygómű fordulatszám egyenletei

KB-típusú bolygómű:

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{II_3} = \left(1 + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (75)$$

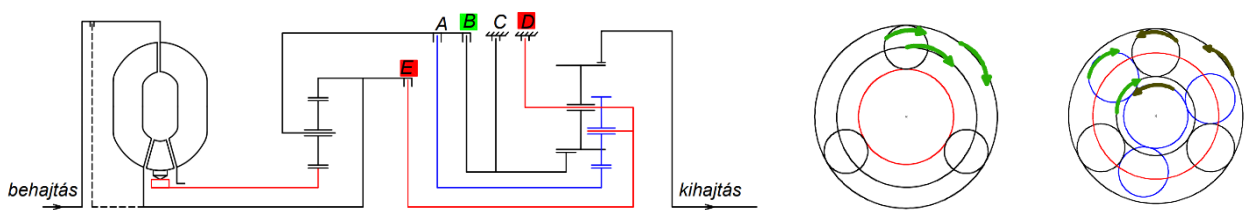
Peremfeltétel: $n_{II_1} = 0$, $n_{II_3} = n_{ki}$, $n_k = n_m$ behelyettesítése a (75) egyenletbe

$$\frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} = \frac{r_{II_1} + r_{II_3}}{r_{II_1}} n_m \quad (76)$$

A (76) egyenletből a motor és a kihajtás fordulatszámának hányadosával kiszámítható az áttétel:

$$i = \frac{n_m}{n_{ki}} = \frac{r_{II_3}}{r_{II_1} + r_{II_3}} = \frac{85}{123} = \mathbf{0,691} \quad (77)$$

Hátrameneti fokozat



12. ábra: Hátrameneti fokozat és az egymáshoz viszonyított forgásirányok

Előtét bolygómű fordulatszám egyenlete

$$n_{I_1} + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}} n_{I_3} = \left(1 + \frac{r_{I_3}}{r_{I_1}}\right) n_{I_k} \quad (78)$$

Peremfeltétel: $n_{I_1} = 0$, $n_{I_3} = n_m$ behelyettesítése a (78) egyenletbe

$$n_{I_k} = \frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m \quad (79)$$

Ravigneaux-bolygómű fordulatszám egyenletei

KB-típusú bolygómu:

$$n_{II_1} + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{II_3} = \left(1 + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}}\right) n_k \quad (80)$$

Peremfeltétel: $n_k = 0$, $n_{II_3} = n_{ki}$, $n_{II_1} = n_{Ik}$ behelyettesítése a (80) egyenletbe

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m + \frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} = 0 \quad (81)$$

$$\frac{r_{I_3}}{r_{I_1} + r_{I_3}} n_m = -\frac{r_{II_3}}{r_{II_1}} n_{ki} \quad (82)$$

A (82) egyenletből a motor és a kihajtás fordulatszámának hányadosával kiszámítható az áttétel:

$$i = \frac{n_m}{n_{ki}} = -\frac{r_{II_3}(r_{I_1} + r_{I_3})}{r_{II_1} r_{I_3}} = -\frac{85 \cdot 108}{38 \cdot 71} = -3,403 \quad (83)$$

5. Konklúzió

A kapott eredmények egyeznek a gyár által publikált áttételekkel. A levezetett egyenleteket megvizsgálva látható, hogy nem tartalmazzák a bolygókerekek fogszámát, tehát az áttételt nem befolyásolja, a bolygókerekek fogszáma.

Természetesen többféle módszerrel is meghatározható az áttétel, de ennél a számítási eljárással levezettük azokat az összefüggéseket, melyek alapját adják a sebességváltó újratervezésének más áttételekkel.

Hivatkozások

- [1] Milan Novaković, Blaža Stojanović, Miloš Milisavljević, Slavica Miladinović - The Kinematic Analysis of Ravigneaux Planetary Gear Set. Technical Diagnostic. 2016. 15(1), pp. 7-12.
- [2] Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz, Wolfgang Novak - Automotive Transmissions, Fundamentals, Selection, Design and Application. Berlin: Springer, 2010. ISBN: 978-3-642-16214-5
- [3] Essam L. Esmail Professor, Tamather N. Ali Lecturer, Hamed A. Hussen, Anahed H. Juber - Kinematic analysis of automatic transmissions with planetary gear trains. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2018. 9 (11) pp. 2213-2225.
- [4] Heribert Scherer - ZF 6-Speed Automatic Transmission for Passeng. SAE transactions. 2003. pp. 726-734.
- [5] Protruck Kft. ZF Service Partner belső vállalati anyag.
- [6] Tochtermann - Bodensein: Gépelemek I. és II. Műszaki Könyvkiadó 1986