

Fázisforgató Transzformátorok

XXIII. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia
Visegrád

Gurszky Gábor
- 2025 Április 03 -



Tartalom

1. Hogyan működik?
2. Főbb típusok
3. Konstrukció
4. Példák

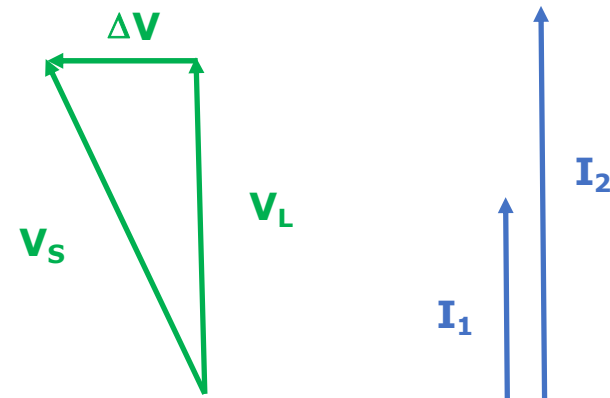
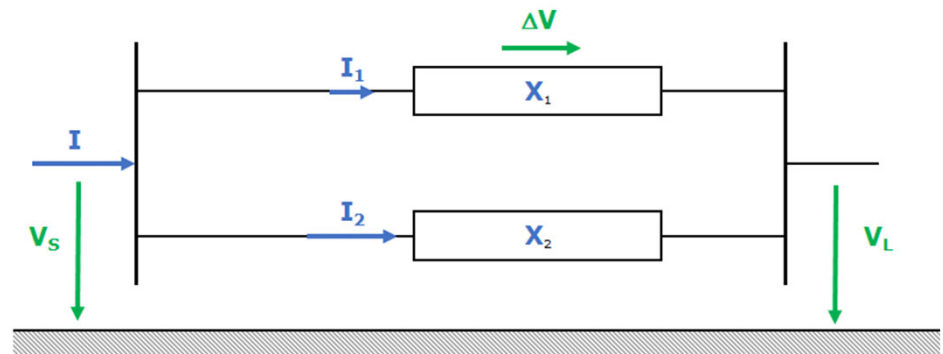
1. Fázisforgató transzformátorok működése, célja

A fázisforgató transzformátorok legfőbb szerepe a meglévő hálózatok hatékonyabb kihasználása. Segítségükkel szabályozható a hálózat elemein áramló hatásos teljesítmény eloszlása vagy két független hálózat közötti teljesítménycsere.

Alkalmazásukkal elkerülhető új hálózati átvivő kapacitások létesítése vagy a meglévők bővítése. Ezen kívül szerepet kaphatnak a hálózat tranziens stabilitásának növelésében.

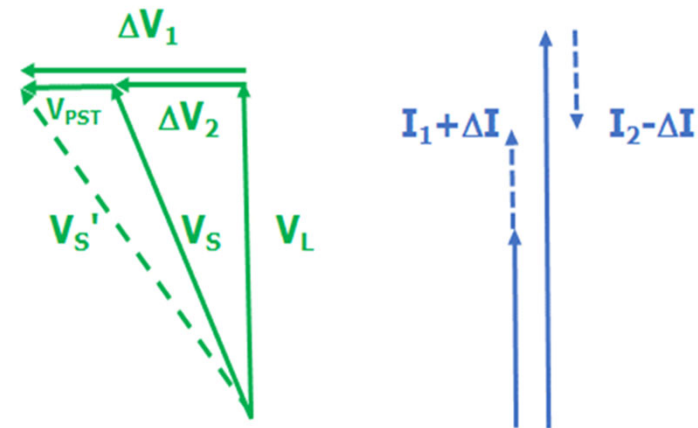
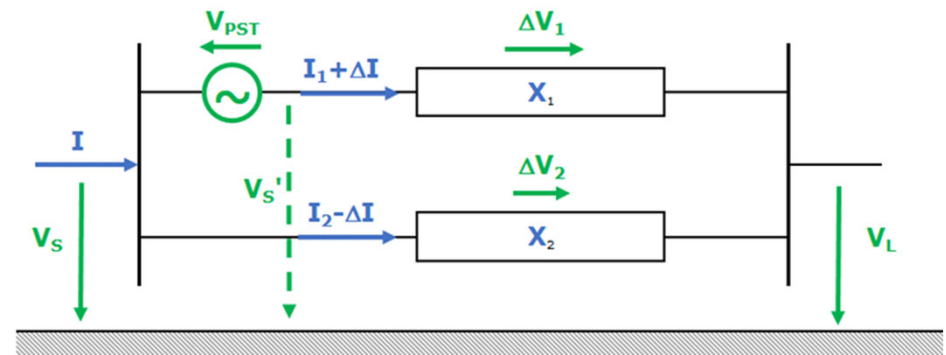
1. Működés

- Két távvezeték közötti árameloszlás a vezetékek impedanciájától függ.
- Ez a „természetes” eloszlás különösen rossz hatásfokú lehet, ha az impedanciák nagyon különbözőek.
- Például, ha $X_1 = 2 \cdot X_2$, akkor $I_2 = 2 \cdot I_1$
- Nem vihető át a két összeköttetés maximális kapacitásának összege. ($S_1 + S_2$)



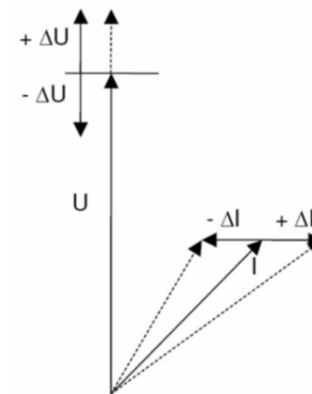
1. Működés

- Egy új feszültségforrás beiktatásával a két hálózat között kiegyenlítő áram generálható ami biztosítja a hálózatok azonos (maximális) terhelését.
- A rendszerfeszültségre merőleges összetevő az 1-es ágba növeli, a 2-es ágba csökkenti az áramot.
- Mindkét távvezetéken beállítható a maximális kapacitáshoz tartozó áram.
- A két összeköttetés maximális kapacitásának összege átvihető. (S_1+S_2)

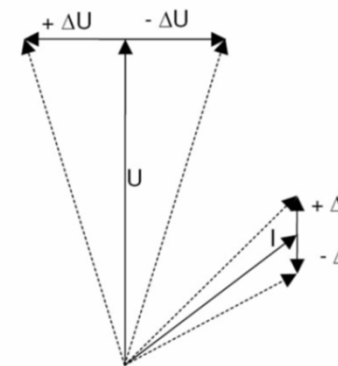


1. Működés

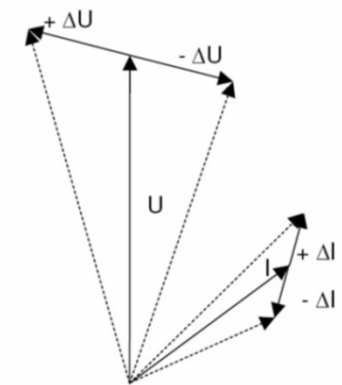
- A hagyományos feszültség szabályzó transzformátorok a feszültség amplitúdóját változtatják. Ez látható a bal oldali ábrán.
- Egy elméleti fázisforgató transzformátor csak a feszültség fázishelyzetét változtatja a középső ábrához hasonlóan.
- Valóságos esetekben az eredmény a harmadik, jobboldali ábra szerinti, vagyis a feszültség nagysága és szöghelyzete is változik. Ennek oka részben a transzformátor impedanciája, ami mindig jelen van, másrészt lehetnek konstrukciós okai is.
- Igény esetén a fázisforgató transzformátorokban a fázisszabályozás mellett feszültség szabályozás is tervezetten megoldható.



Q változik



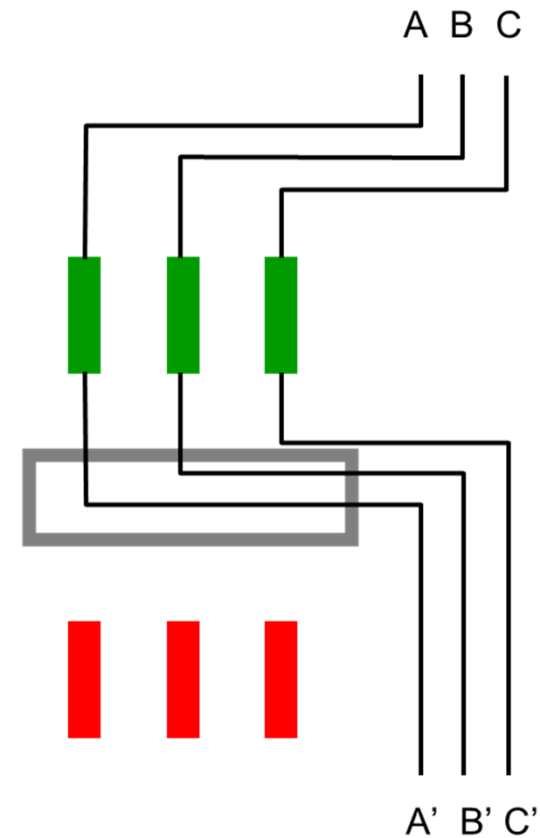
P változik



Q és P is változik

1. Működés

- Hogy elérjük a korábban leírt célt, három dologra van szükségünk.
 1. Egy **tekercset** sorba kell kötnünk a hálózat fázisaival
 2. Kell egy másik **tekercs**, ami a szükséges feszültséget fogja indukálni a soros **tekercsbe**.
 3. Valamint szükség van egy zárt vasmagra, hogy a berendezésünk hatékonyan működjön.



2. Fázisforgató transzformátorok főbb típusai

Mint láttuk, egy fázisforgató transzformátor feladata alapvetően nagyon egyszerű. Egy jól meghatározott fáziseltérést hoz létre a be- és kimenet között. Ugyanakkor ennek a megvalósítására számtalan lehetőség adódik, a megfelelő megoldást a követelmények függvényében kell kiválasztani.

A kimenő feszültségnek változatlanul kell-e lennie, vagy némi eltérés a bemenő feszültségtől megengedett?

Okoz-e gondot, ha nulla állásban zéró impedanciát képvisel?

A megkívánt teljesítmény egy aktív résszel megvalósítható, vagy szükség van külön gerjesztő transzformátorra? Esetleg több transzformátorral sorosan vagy párhuzamosan?

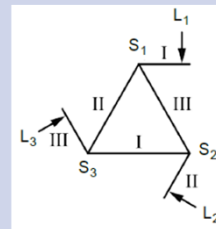
2. Típusok

A fázisforgató transzformátorokat különböző szempontok szerint lehet osztályozni:

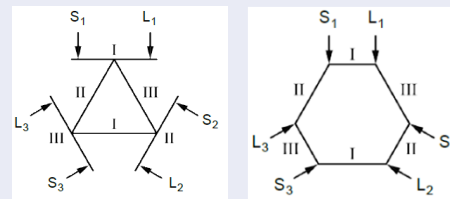
- Kvadratikus – nem kvadratikus
- Szimmetrikus – aszimmetrikus
- Egy- vagy kétmagos
- Egy- vagy kéttartányos

Kvadratikus

Aszimmetrikus

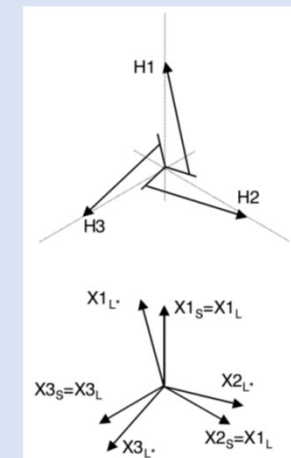


Szimmetrikus



Nem kvadratikus

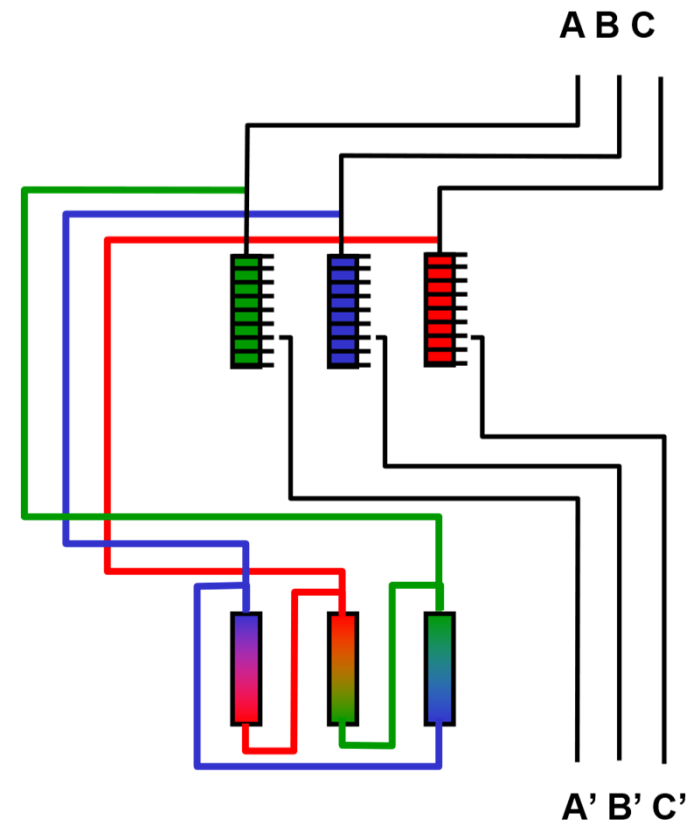
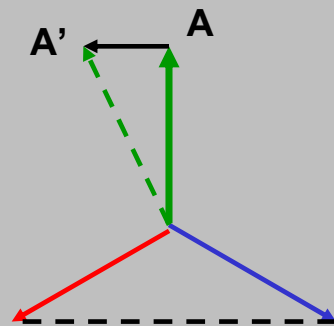
Aszimmetrikus
(hálózati transzformátor fázisforgató képességgel)



2. Típusok - egymagos

- Extendált delta kapcsolás

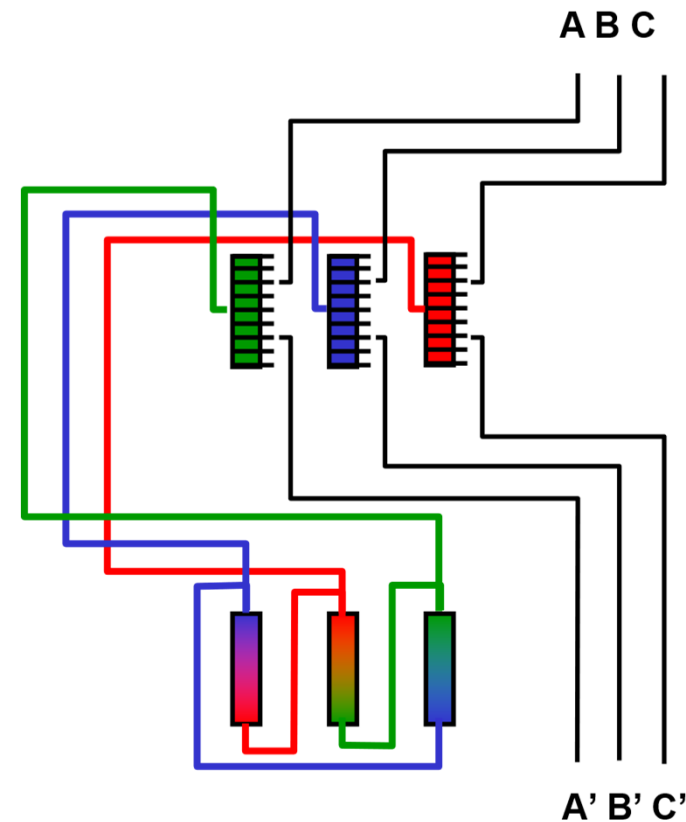
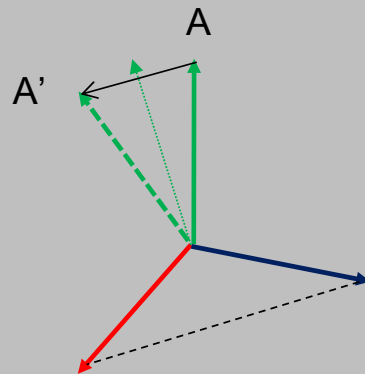
1. A B-C fázis közötti (vonali) feszültséget injektáljuk az A fázisba
2. Fokozatkapcsolóval a forgatási szög változtatható nulla és maximum között
3. A kimeneti feszültség (A') amplitúdója változik a szög függvényében.



2. Típusok - egymagos

- T-típusú extendált delta kapcsolás

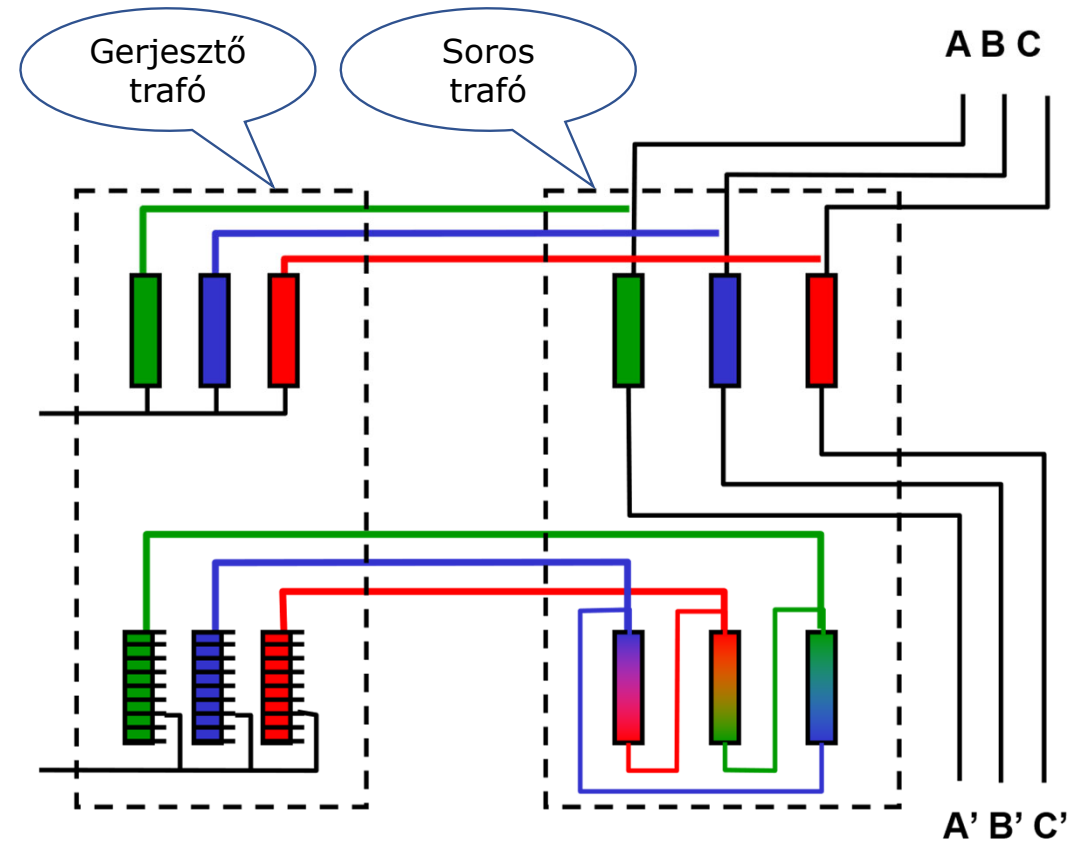
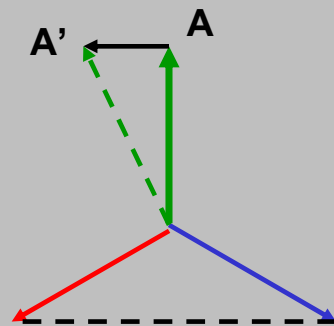
1. A gerjesztő tekercset a soros tekercs közepéről táplálva szimmetrikussá válik a szög szabályozás
2. A kimeneti feszültség (A') amplitúdója NEM változik a szög függvényében.
3. Fázisonként 2 fokozatkapcsolóra van szükség



2. Típusok - kétmagos

- Nagyobb feszültség szint vagy teljesítmény eléréséhez alkalmazható egy közbenső kör.

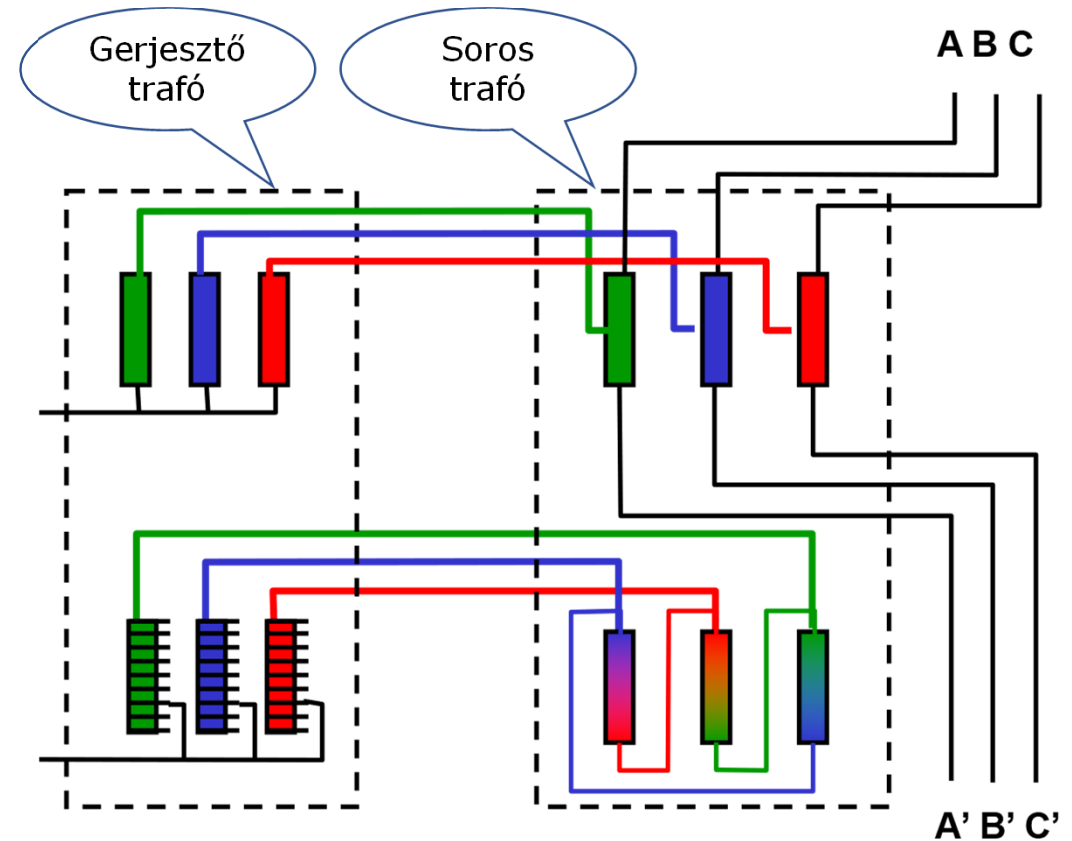
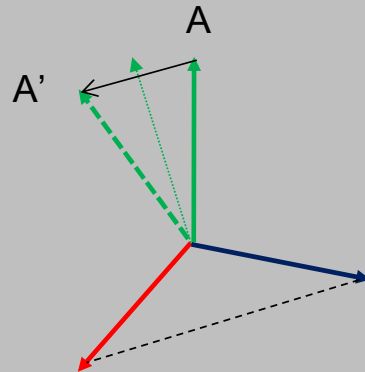
1. Fokozatkapcsoló a vonali végekről csillagpontba kerül.
2. Belső kör feszültsége „szabadon” változtatható.
3. Soros transzformátor rövidzárási vesztesége és impedanciája 0 állásban is maximális



2. Típusok - kétmagos

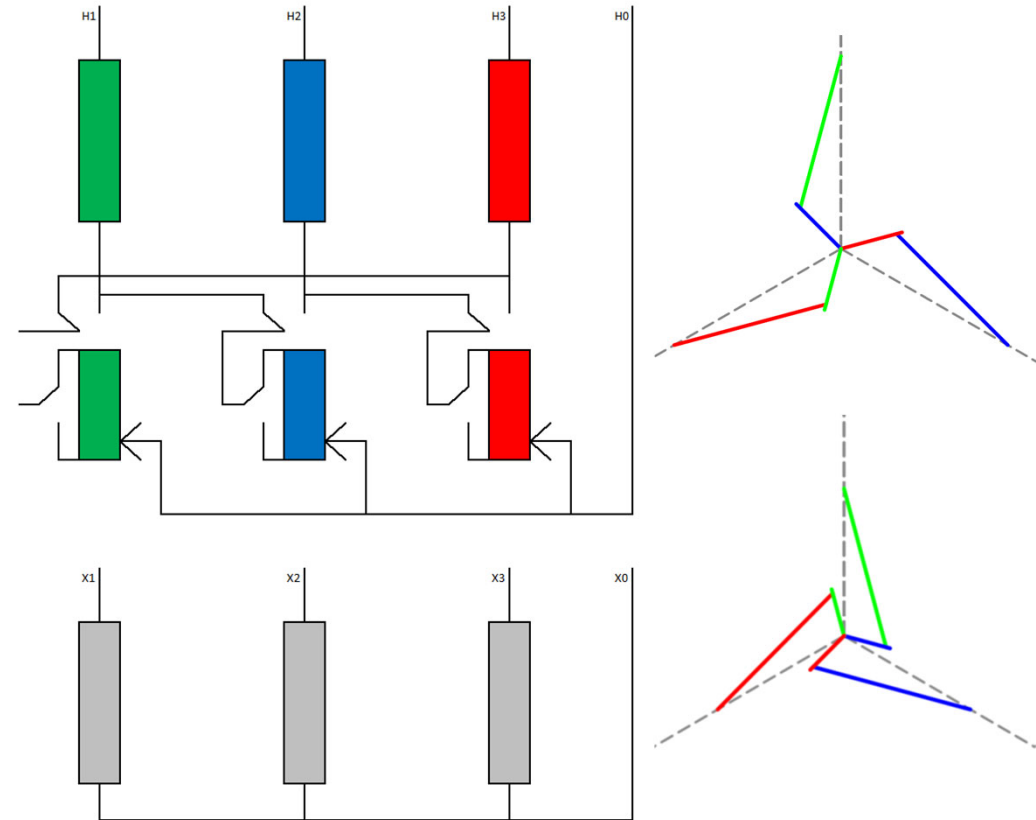
- Gerjesztő tekercset a soros tekercs közepéről táplálva szimmetrikussá válik a szög szabályozás

1. Gerjesztő transzformátor főtekercse próbafeszültségeknél nagyobb terhelést kaphat hibás tervezés esetén
2. T-delta kapcsolás 6 fokozatkapcsolójához képest 1 is elegendő



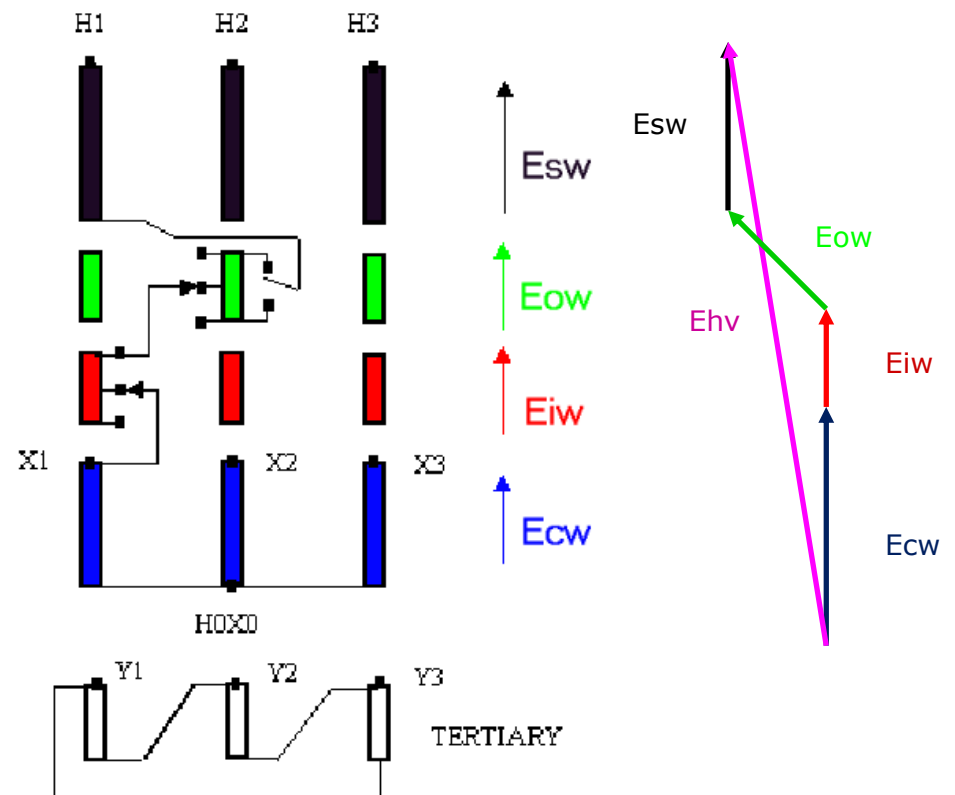
2. Típusok – nem kvadratikus

- Hálózati szabályzós transzformátorokkal is elérhető fázisforgatás
- 1. Másik fázis szabályzó tekercsét kell a főtekercshez kötni
- 2. Hátrány, hogy a kimenő fázisfeszültség változik (aszimmetrikus szabályzás)
- 3. Funkciók közötti átkapcsoláshoz feszültség mentesíteni kell
- 4. Ha szükség van feszültség- ÉS fázisszabályzásra, lehetséges további szabályzótekercseket beépíteni



2. Típusok – nem kvadratikus

- Autótranszformátor segítségével különböző feszültségű hálózatok között is megvalósítható fázisforgatás
1. Megvalósítható az ábrán látható módon,
 2. Vagy a tercier tekercs vonali feszültsége segédtranszformátoron keresztül a csillagpontba injektálható. Ekkor kvadratikus, de nem szimmetrikus szabályzást kapunk.



3. Fázisforgató transzformátorok konstrukciós kérdései

Egy fázisforgató transzformátor ugyanúgy épül fel mint a többi hálózati transzformátor. Lemezelt vasmag, papír szigetelésű tekercsek, olajtöltés, hegesztett acél szekrény.

Mégis, a szokatlan tekercskapcsolások, hálózatba sorosan bekötött elemek miatt egy ilyen transzformátor viselkedése, szigeteléstechikája nagyon különleges. Megtervezése, legyártása magasan képzett munkaerőt igényel.

3. Konstrukció

A tervezés megkezdése előtt nagyon fontos alaposan tisztázni az igényeket, hogy az ügyfél és a gyártó ugyanúgy érte-e a specifikációt:

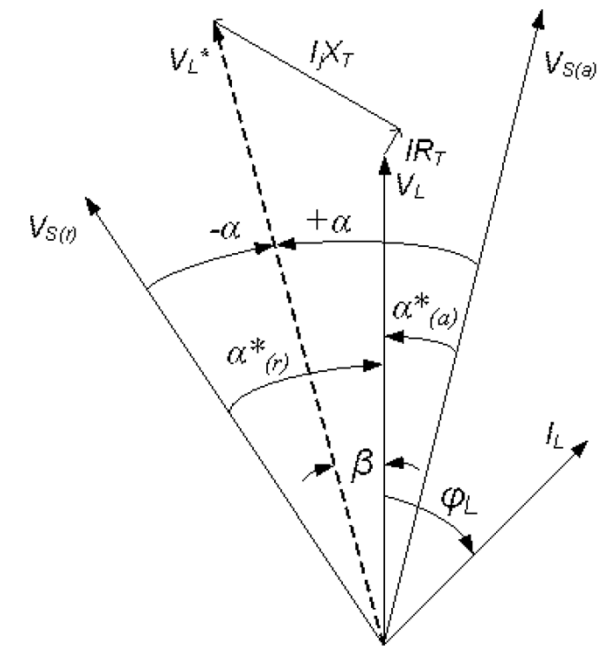
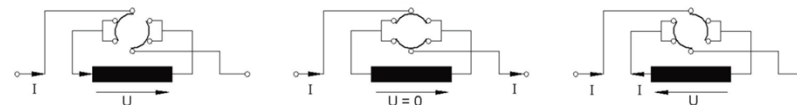
- Mekkora teljesítményt kell szabályozni?
- Mekkora fázisforgatást kell elérni (üresjárásban vagy terhelés alatt?)
- A szabályzás szimmetrikus legyen-e?
- Kell-e irányváltás (advance-retard) s ha igen lehet-e feszültség mentesíteni a transzformátort?
- Választott illetve lehetséges sémák
 - Választható fokozatkapcsolók
 - Hálózat zárlati teljesítménye
 - Impedancia előírások
 - Szállítási korlátok



3. Konstrukció

A fázisforgató transzformátorok fokozatkapcsolói általában nagyobb igénybevételnek vannak kitéve, mint a többi hálózati transzformátoré. A megfelelő típus kiválasztása hozzáértést és alapos tervezést igényel.

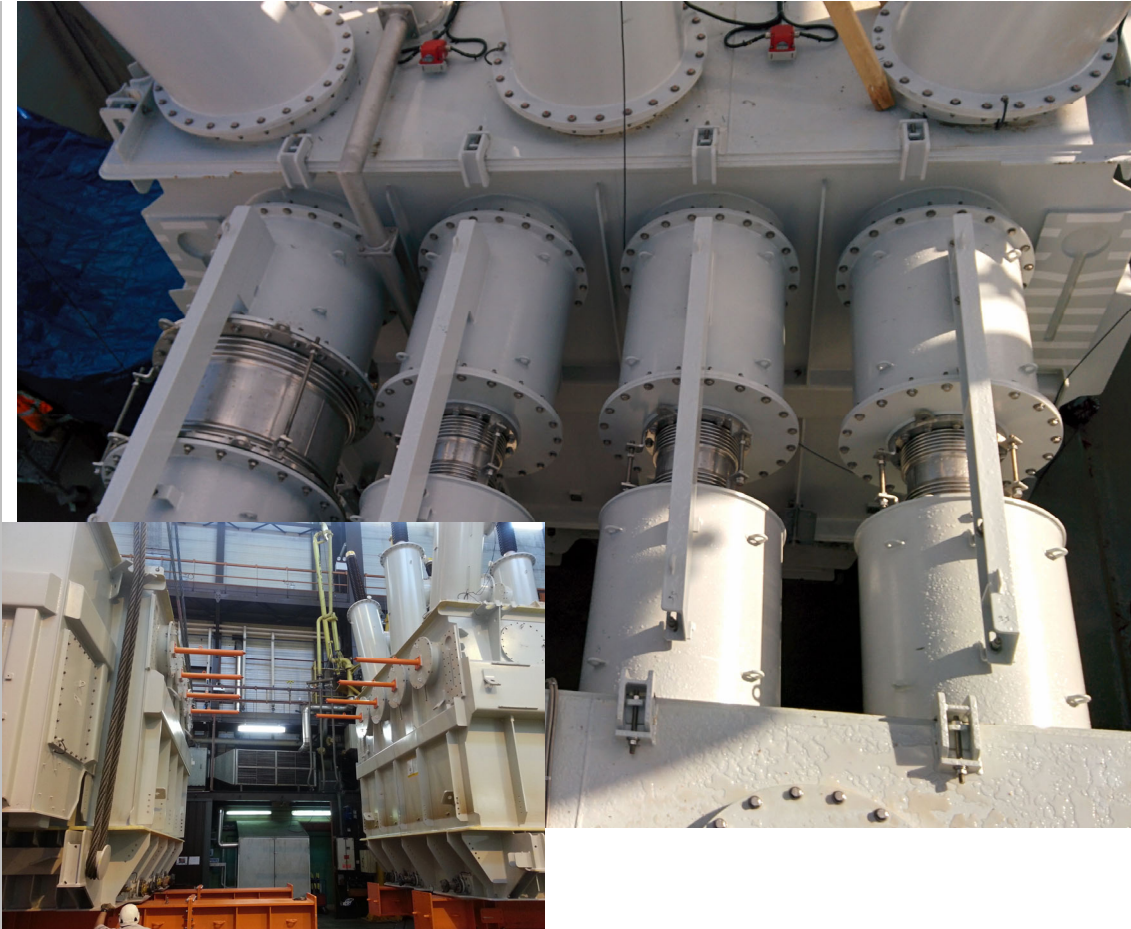
- Egymagos megoldásoknál a fokozatkapcsoló a vonali túlfeszültségeket közvetlenül elszenved, valamint a teljes terhelőáram áthalad rajta.
- Kétmagos megoldást nagy teljesítmény esetén alkalmazunk, ilyenkor a túl nagy áram jelenthet határt.
- Irányváltás közben el kell kerülni az árammegszakadást. Megoldást jelenthet az alsó ábrán látható speciális irányváltó.



3. Konstrukció

Kétmagos fázisforgatóknál, ha két szekrényre van szükség, az összeköttetés az egyik kritikus pont. 3 hálózati feszültségszintű és több kisfeszültségű összeköttetést kell megvalósítani.

- Olajtöltésű tokozott összekötések használata ajánlott zárlatvédelem és megbízhatóság miatt.
- A transzformátor gyártása, majd telepítése közben fokozatosan kell ügyelni a két egység precíz illesztésére. Bár rugalmas elem mindig beépítésre kerül, ezek túlterhelését is el kell kerülni.



4. Példák fázisforgató transzformátorokra

1. PST – Szimmetrikus 2 magos
2. QB – Quadrature Booster (Aszimmetrikus PST)

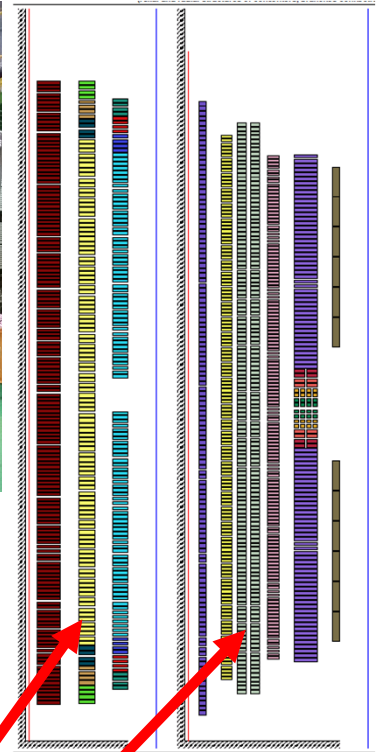
4. Példák - 1

- 230/230±15% kV; 200MVA ±70° cseréje
- Új teljesítmény: 300 MVA (+50% télen)
 - Új fázisforgatás: ±86°
 - Új feszültség szabályzás: 86°-nál
 - Impedancia: marad 10% @100 MVA
- Többszörös újratervezés, miután ügyfél szembesült bizonyos követelmények tarthatatlanságával:
- Feszültség szabályzás csökkentve ~±13.5%
 - Impedancia csökkentve ~8.5% @100MVA
 - Fázisforgatás alapeset: ±50°, valamint Bias tekercssel 0-86° vagy -86-0°; átkapcsolás feszültségmentesítés után



Fokozatkapcsolók:
3+3* db OLTC
3 db DETC
* +3 db CST (árameloszlás szabályzó tr.)

Tekercsek:
Soros tr.: 3
Gerjesztő tr.: 7!



4. Példák - 1

230±15%kV; 300MVA ±86°

Méreték

H x Sz x M: 16 x 16 x 9 m

Tömegek

- Aktív rész: 223t + 255t
- Szekrény: 92t + 89t
- Olaj: 134t + 150t
- Összesen: 449t + 493t= 942t

Veszteségek

- Üresjárás: 181 + 155 kW
- Rövidzárás: 1088 + 1114 kW



4. Példák - 2

400kV; 2750MVA $\pm 11.3^\circ$ (beépített teljesítmény 2 x 540 MVA)

- Tartós túlterhelés: 3100 ~ 3300 MVA
- 10 perces teljesítmény: 3100 – 4125 MVA



4. Példák - 2



400kV; 2750MVA $\pm 11.3^\circ$
• ONAN / ODAF

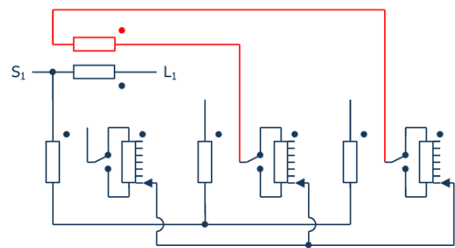
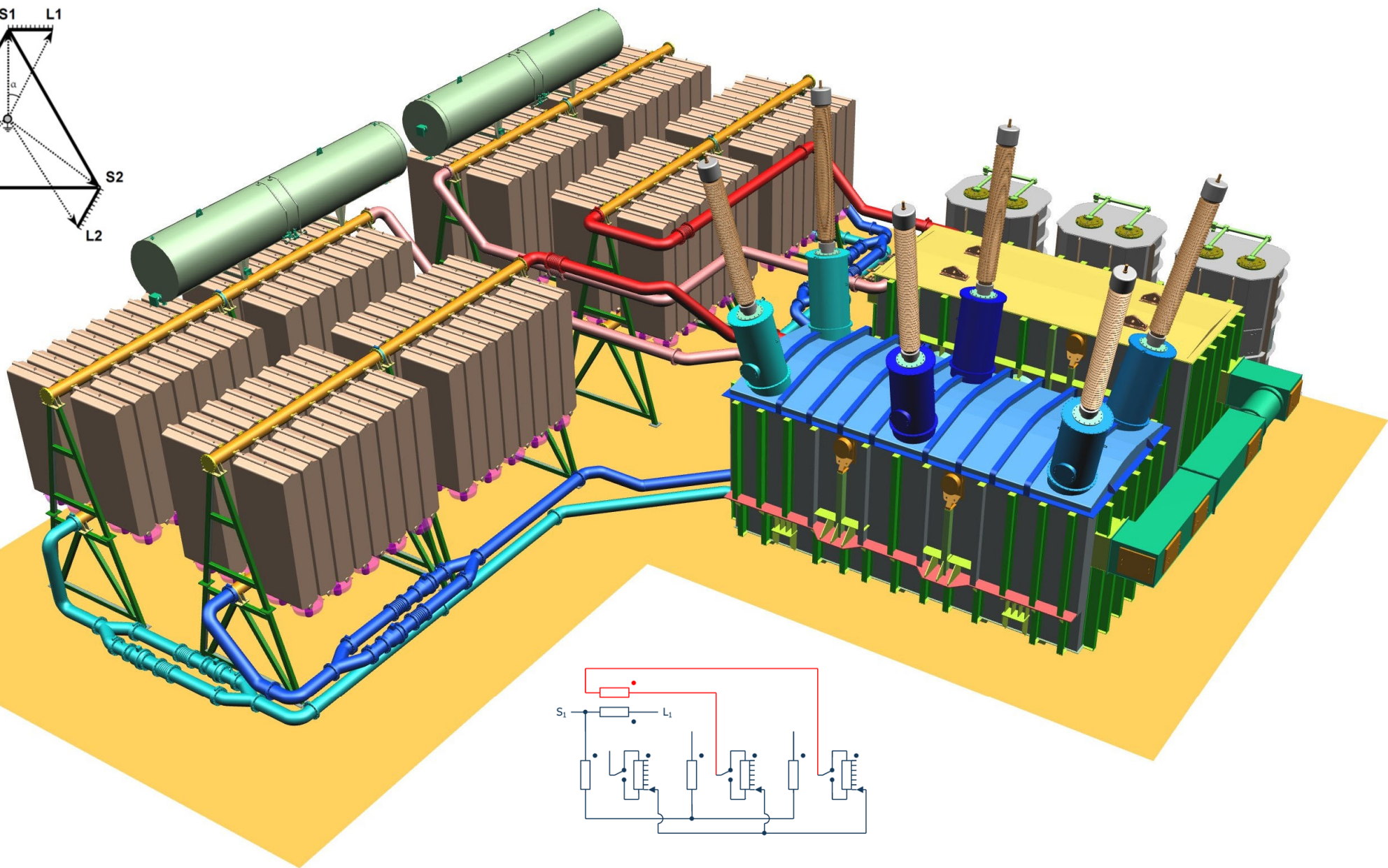
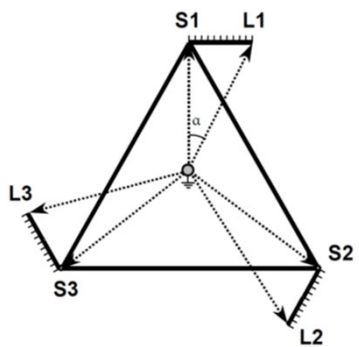
4. Példák - 2

400kV; 2750MVA
 $\pm 11.3^\circ$

Balról – jobbra

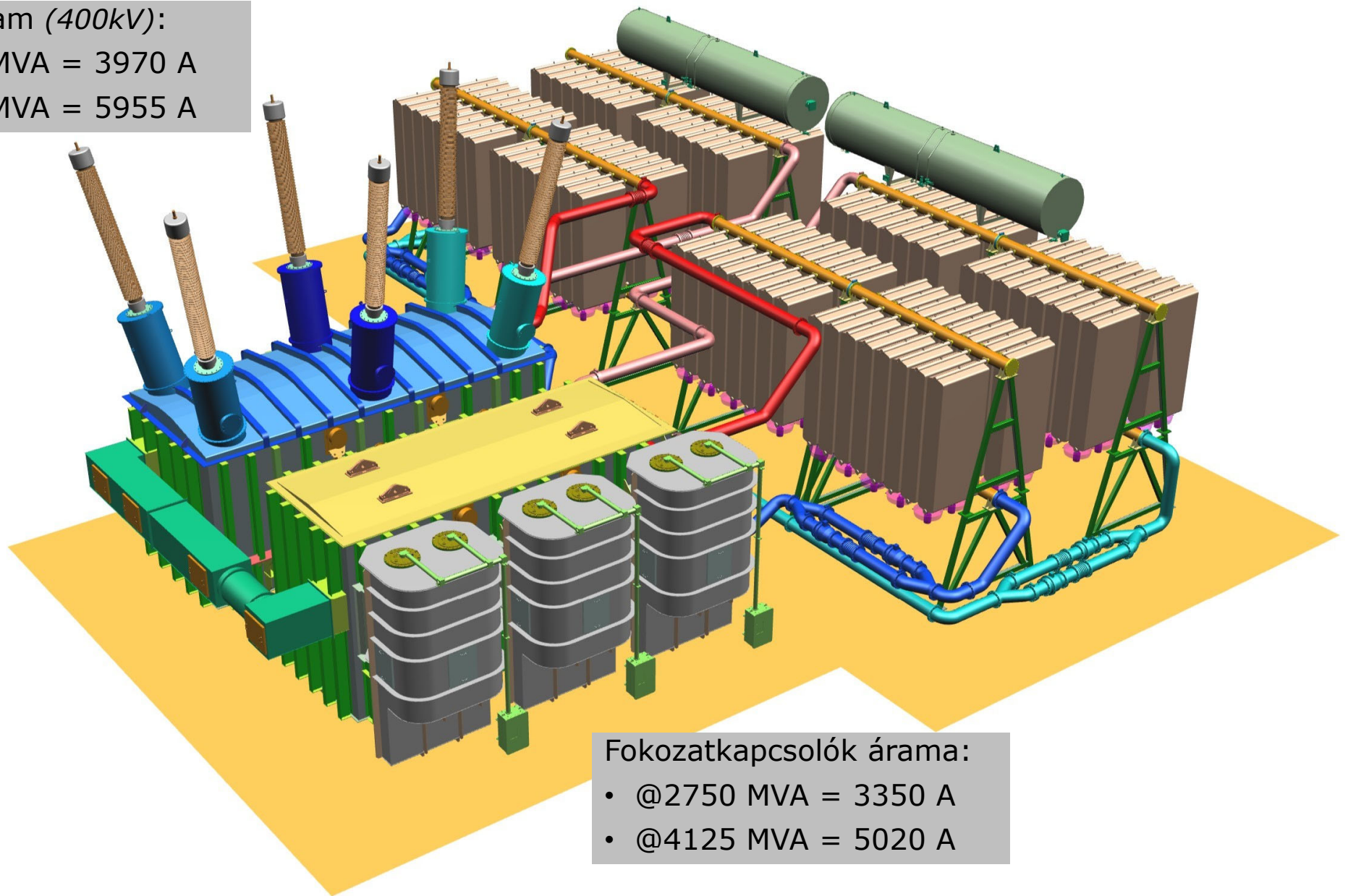
- Nagyfeszültségű átvezetések
- Kisfeszültségű átvezetések
- Fokozatkapcsolók szekrénye





Terhelő áram (400kV):

- @2750 MVA = 3970 A
- @4125 MVA = 5955 A



Fokozatkapcsolók árama:

- @2750 MVA = 3350 A
- @4125 MVA = 5020 A

4. Példák - 2

400kV; 2750MVA $\pm 11.3^\circ$

Méreték

H x Sz x M: $\sim 27 \times 24 \times 11$ m

Tömegek

- Aktív rész: 205t + 230t + 10t
- Szekrény: 150t + 130t + 20t
- Olaj: 167t + 126t + 50t
- Összesen: ~ 1110 t

Veszteségek

- Üresjárás: 135 + 93 kW
- Rövidzárás: 1500 + 1950 kW

