

Tevékenység:

Olvassa el a BLDC motorok vezérlését, jegyezze meg a szinkron gép elvi vázlatát a fő irányokkal és a tekercs jelölésekkel, az illesztés célját és szempontjait, lüktető nyomaték keletkezésének okait, a BLDC és a szinkronmotor közti különbségeket, a mágnes elhelyezési módok közül a palástra ragasztott-, az ún. kenyervecni alakú-, a gyűrű alakú és a besüllyesztett („buried”), valamint a külső forgórészes típusokat

1. Az állandó mágneses, áramvektor-szabályozott szinkronmotor elve, szabályozása és tulajdonságai járműhajtásokban

1.1. Az állandó mágneses szinkron motorok főbb sajátosságai

A klasszikus szinkron motor fő tulajdonságai, amint ezt az előző fejezetekből megismerhettük,

- merev, fordulatszám-tartó,
- önmagától nem indul, s ezek miatt járműhajtásra teljességgel alkalmatlan, de
- a legnagyobb teljesítménysűrűségű villamos gép, $\cos \varphi = 1$ -el.

Az előző fejezetekben megismert szinkron gépek, szinkron motorok járműhajtásra alkalmassá tétele régen is vonzó volt, tekintettel a szinkron gépek minden másnál jobb tömeg-kihasználási mutatóira.

Fő akadály a frekvenciához való merev hozzárendelés volt - az inverterek megjelenése leküzdhetővé tette ezt az akadályt.

Az állandó mágnesekkel építhetőség csökkenő gépmérettel adhat ugyanakkora nyomatékot, és elhagyhatóvá válik a gerjesztett póluskerék konstrukciója, vele az egyenáramú gerjesztőrendszer.

Különleges elvi változtatás teszi lehetővé a mindig is a legmerevebb adottságú villamos motorként ismert szinkron motort gyorsan változó sebességű és nyomaték-előjelű, dinamikus üzemi alkalmassá, így szervohajtásokra, vagy éppen járműhajtásokra. Utóbbi nagysebességű üzeme az állandó mágnesek miatt járműhajtásban nem kívánt többlet-feszültségekhez vezethet, amely további megoldandó feladatot jelentett.

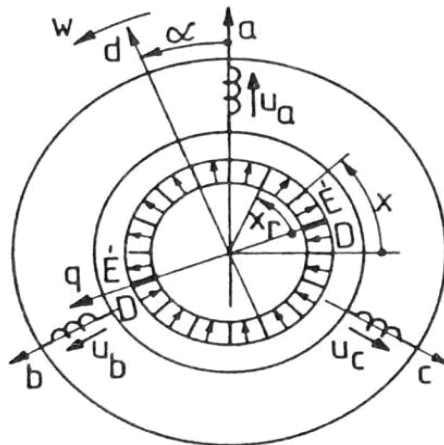
Az önvezérelt, számítógép-irányítású, áramvektor-szabályozású szinkron motor egy sajátos önirányítású rendszer (lásd később) a fenti hátrányoktól mentes tulajdonságokkal:

- *megjelent villamos mozdonyban ($P > 2000 \text{ kW}$)* : 1974
- *robot- és ipari szervohajtásban ($P < 1 \text{ kW}$)*: 1986
- *autóban ($P > 30 \text{ kW}$)* : 1997

1.1. Felépítés. A lüktetőnyomaték csökkentése. A mágnesek anyaga, elrendezése.

Villamos hajtású járművekben és szervohajtásokban gyakorlatilag csak állandómágneses gerjesztésű szinkron motorokat használnak, amelynek elvi elrendezését az 1. ábra szemlélteti. Egyszerűsített jelképi jelöléssel láthatók az *a*, *b*, *c* állórész-tekercsek, amelyek valójában az állórész 1/6 szélességű sávjait foglalják le fázisonként és áramirányonként. Az állórész *a* jelű tekercsének szimmetriatengelye szokásosan az állórész függőleges tengelyvonala is.

Az ábrán lévő szinkronmotor 2 pólusúnak ábrázolt, és az állandómágnessel épült forgórész az É-D irányt, a rotor d tengelyét is jelzi, ez egyúttal a Φ főfluxus iránya is.



1. ábra: szinkron motor egyszerűsített vázlata

Az állandó-mágneses forgórész által létrehozott indukciómező és az állórésztekercsben folyó áram mágneses kölcsönhatása kelti a motor nyomatékát. A nyomaték kerületmenti nagysága az előbbi két tényező aktuális értékeinek szorzatától függ, így a nyomaték csak akkor lesz állandó értékű a szögelfordulás függvényében, kvázistacionárius állapotot feltételezve, ha ezen tényezők egymáshoz úgy illeszkednek, hogy szorzatuk állandó lehessen. A szokásosan szinuszos alakú feszültséggel történő tápláláshoz ezek szerint ilyen alakú indukció eloszlásra, illesztésre van szükség a kerület mentén.

Ha ez nem valósul meg, lüktetőnyomaték keletkezik, melynek aránya igen nagy eltéréseket mutathat. Jelentkezése főként szervohajtásban okoz irányítási zavart a pozíciószabályozásnál, ezért az ott használatos motorok kerületmenti nyomatékgörbéje csak 1% alatti váltakozó összetevőt tartalmazhat. Járműhajtásnál, főként indulásnál zavaró a lüktetés megjelenése, de nagyobb sebességnél sem kívánatos a jelenléte a tömegek lengésgerjesztő hatásánál fogva, amely szerkezeti többlet-igénybevételeket, kifáradásokat okozhat.

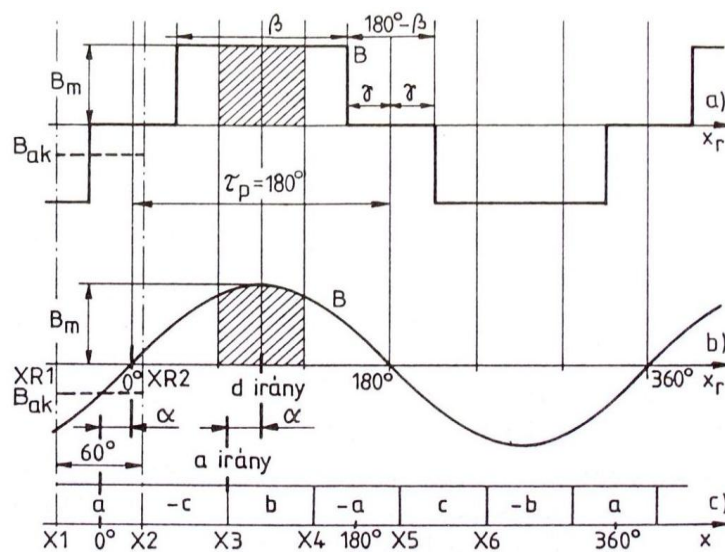
Nem-színuszos, négyszöghullámú táplálás a legkisebb költséggel realizálható. Hozzá illeszkedő, egyszerűen kivitelezhető hasonló alakú indukcióeloszlást eredményező mágnes-elrendezés szükséges, így a nyomatéklüktetés mérsékelhető. Ez utóbbi motorok jelentik a „kefe nélküli egyenáramú”-nak mondott, BLDC elnevezésű villamos gépeket, amelyek egyéb jellemzőikben többnyire a szinkronmotorok szerintiék. Irányításuk és táplálásuk is egyszerűbb és olcsóbb, így nagy számban vannak jelen kerékpárok, robogók, modellek motorjaként.

Lüktetőnyomaték azonban más oknál fogva is keletkezik, mégpedig a pólusokat képező mágnesívek elhaladásakor az állórész-fogak előtt, pontosabban azok élével történő találkozásakor, az indukcióeloszlás gyors változásakor. Ennek mértéke a légrésindukciótól, a légrés nagyságától, a fogak alakjától, a mágnesek pólusváltáskori él-alakjától függ egy-egy élpárra vetítve. A horonyszám és a póluspár-szám arányának egész értékei esetén, amely más szempontból előnyös konstrukció, a lüktetések egyszerre jelentkeznek, és 1-20 % közti összértéket is elérhetnek a névleges nyomatékra vetítve.

Szinkronmotorok szinuszos táplálása és erre törekvő indukcióeloszlás-alakítása, továbbá az említett élek találkozásának elkerülése mélyen besüllyesztett mágnesekkel, a lüktetőnyomaték

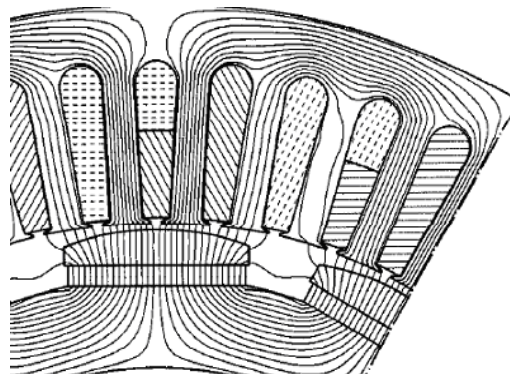
jelentkezésének okait megszüntetheti, vagy a jelenséget szinte érzékelhetlenné teszi, de ehhez kutatási-fejlesztési, részben gyártási többlettevékenységek- és költségek szükségesek.

Szinkron gépekben az állórész fázisfeszültsége és árama ideális esetben szinuszosak. A fő-fluxust a rotor állandó mágnesei hozzák létre, ideális esetben szinuszos eloszlású légrésindukciót teremtve a légrésben, 2. b) ábra, vagy BLDC jellegű motor esetén ez négyszöghullámú lesz, 2. a) ábra.



2. ábra: kerületmenti indukcióeloszlás állandó-mágneses szinkron-jellegű motorokban

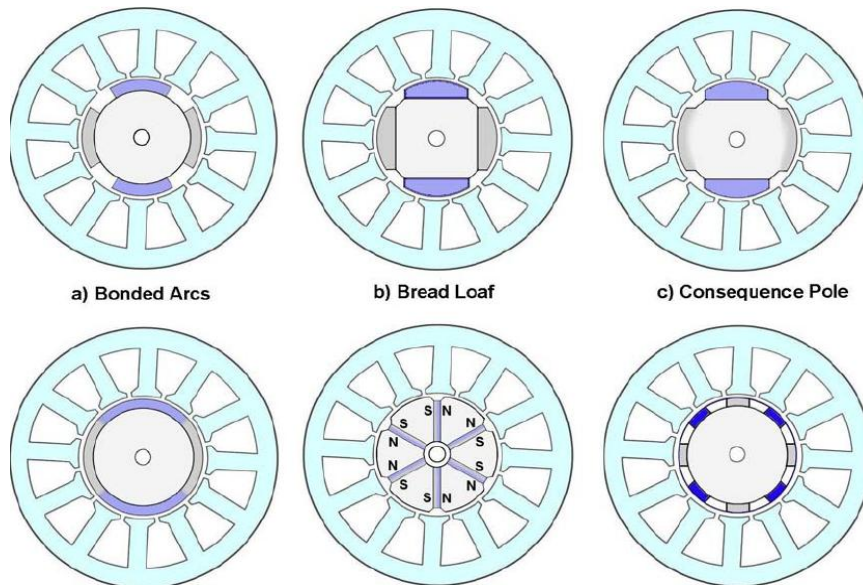
A következő, 3. ábra a szinuszos indukcióeloszlás megvalósításának egy lehetséges módját szemlélteti.



3. ábra. Az indukcióeloszlás görbéi állandómágneses szinkron motorban

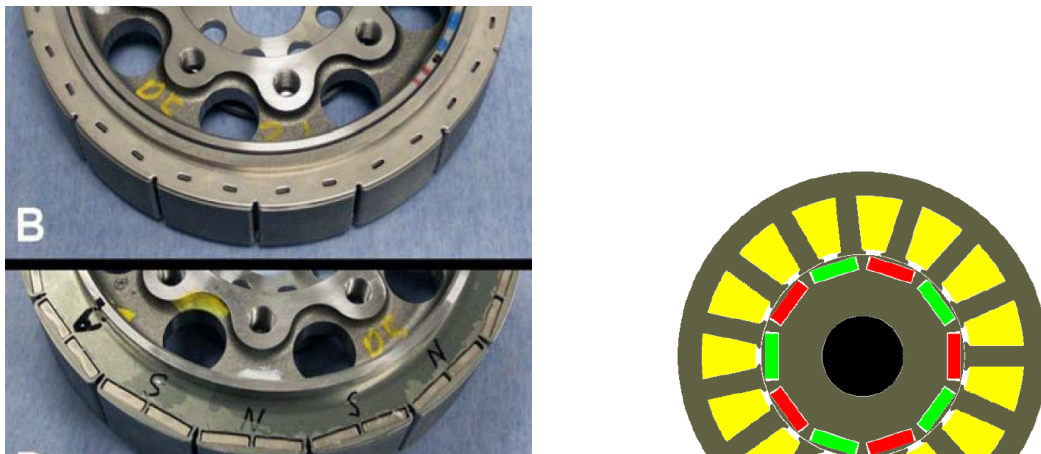
A mágnesek elhelyezésére, beillesztésére több konstrukciós mód is lehetséges:

- rotorpalástra ragasztott köríves és „kenyér-vegni” alakú,
- mélyebbre beültetett, több egyenes-, esetleg íves szeletből álló módzatok ismertek. (4.. ábra)



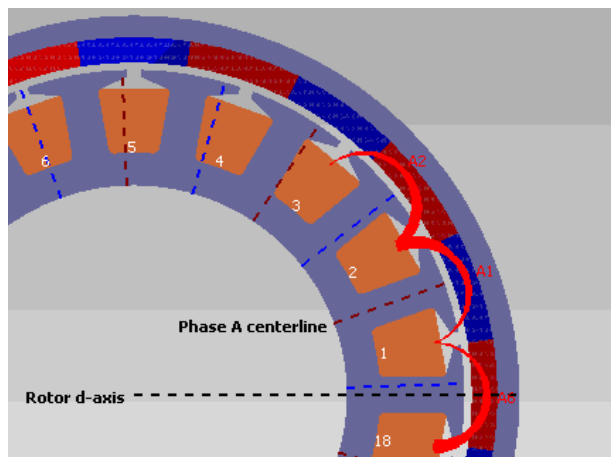
4. ábra. Különféle állandómágnes-elrendezések PM szinkron motorokban

Az alábbi képen, 5. ábra, az elvi ábrák szerinti konstrukciók egy lehetséges realizálása látható a két mágnes-részből álló pólusok kialakítására. Jobboldalt egy, a felszínig besüllyesztett („burried”) elnevezésű mágnes-elhelyezési módszer látható.



5. ábra. Besüllyesztett („burried”) elnevezésű mágnes-elhelyezés.

A palástra ragasztott körív alakúak használatosak a fordított elrendezésű, külső forgórészes változatoknál, melyek főként a kerékpároknál, robogóknál terjedtek el. A 6. ábra egy külső forgórészes elrendezésű motor 1/4 ívét ábrázolja:



.6. ábra. Külsőforgórészes változat, főként robotokhoz. A nyilak a tekercselés irányait jelzik egy adott elrendezésnél

1.3. Az alkalmazott mágnesanyagokról

Az utóbbi évtizedekben elsősorban a ritkaföldfém alapú mágneseket gyártják, és mintegy 10 éve terjed a Nd-FB (neodímium-vas-bór) alapú mágnesek alkalmazása. Koercitív erejük (H_{rc}) 3-4-szerese a ritkaföldfém alapúakénak, remanens indukciójuk (B_r) 20-30 %-kal is magasabb lehet azokénál.

Ma közel 30 féle változatuk, 1. táblázat, rendelhető, részben a B_r értéke - $1,05-1,35 \text{ Vs/m}^2$ -, szerinti választhatósággal, részben pedig tervezett üzemi hőmérsékletük szerint. Ennél az újfajta mágnesanyagnál szokatlanul fontos szempont az üzemi hőmérséklet megfelelő megválasztása és annak betartása, tekintettel arra, hogy remanens indukciójuk erősen negatív hőfokfüggő. Értéke változó, de akár több is lehet, mint $-1 \text{ \% / } ^\circ\text{C}$.

Ennek az adottságnak kellemetlen velejárója, hogy a tervezettnél magasabb hőmérsékleten történő üzemeltetéskor a B_r indukció csökkenése a fluxusét azonos arányban csökkenti, amely miatt ugyanazon motoráramnál a nyomaték is hasonló arányban csökken.

Az ennek kompenzálására alkalmazott áramnövelés a nyomaték értékét visszaállítja ugyan, de a hatásfok az I^2R ohmos tekercsveszteség növekedése miatt csökken. Az áram növelésével történő nyomaték-visszaállítás tartósan csak néhány százalék áramerősség-növelésig járható út az inverter többlet-igénybevételét is tekintve, az efeletti indukciócsökkenés már nyomatékvesztéssel jár, amely csak lehűlés után áll helyre.

A végleges remanens indukció csökkenése, elvesztése a Curie-pont elérésekor, $260-300 \text{ }^\circ\text{C}$ körül történik, de lehűlés után felmágnesezéssel ismét visszaállítható az eredeti érték.

A megfelelő tervezéshez a mágnesek gyártói a B_r és a tervezési üzemi hőfok összetartozó értékeiként jelölik meg az egyes Nd-FB mágnesanyag típusokat. Az első oszlop a mágnes típusát jelöli.

Grade	BHmax (MGOe)	Remanence, Br (kG, Tesla)	Coercive force, Hc (kOe)	Working temp. (°C)
Neodymium magnets				
N33	31–33	11.5, 1.15	>10.5	80
N33M	31–33	11.5, 1.15	>10.5	100
N33H	31–34	11.5, 1.15	>10.5	120
N33SH	31–34	11.5, 1.15	>10.6	150
N30UH	28–31	11.0, 1.10	>10.2	180
N30EH	28–31	11.0, 1.10	>10.2	200
N45	43–46	13.5, 1.35	>11	80
N48	46–49	14, 1.40	>10.5	80
N50	47–51	14.2, 1.42	>10.5	80
N45M	43–46	13.5, 1.35	>11	100
N44H	42–45	13.3, 1.33	>12.6	120
Samarium cobalt magnets				
Sm ₂ Co ₁₇ 28A	28	10.9, 1.09	10	300
Sm ₂ Co ₁₇ 28B	28	10.9, 1.09	10	300
Sm ₂ Co ₁₇ 28H	28	10.9, 1.09	10	300
Sm ₂ Co ₁₇ 30A	30	11, 1.10	10.2	300
Sm ₂ Co ₁₇ 30B	30	11.2, 1.12	10.2	300
Sm ₂ Co ₁₇ 32	31	11.5, 1.15	10	300

1. táblázat. Mágnesanyagok tulajdonságai