सिन्क्रोनस मोटर (Synchronous motor)

उद्देश्य : इस पाठ के अंत में आप निम्नलिखित कार्य करने योग्य होंगे

- **सिन्क्रोनस मोटर के कार्य सिद्धांत की व्याख्या करना**
- **सिन्क्रोनस मोटर की संरचना की विस्तृत व्याख्या करना**
- **सिन्क्रोनस मोटर को प्रारम्भ करने की विभिन्न विधियों का वर्णन करना**
- **प्रेरण मोटर के अनुप्रयोग की तुलना करना**
- **सिन्क्रोनस मोटर के अनुप्रयोग का वर्णन करना।**

सिन्क्रोनस मोटर (Synchronous motor)

जब एक प्रत्यावर्तक मोटर की तरह चलता है तो यह तुल्यकाली मोटर (synchronous motor) कहलाता है। इसके आर्मेचर के लिए 3-फेज AC प्रदाय AC वाइन्डिंग के लिए और फिल्ड के उत्तेजन (excitation) के लिए DC वोल्टेज की आवश्यकता होती है। सिन्क्रोनस मोटर सेल्फ स्टार्टिंग मोटरें नही होती है।

कार्य सिद्धांत (Working principle)

जब एक तीन-फेज सिन्क्रोनस मोटर के स्टेटर वाइन्डिंग को तीन-फेज सप्लाई से जोड़ा जाता है, तो मशीन में एक घूमने वाला क्षेत्र स्थापित हो जाता है। अब यदि रोटर को घूमने वाले क्षेत्र की दिशा में घुमाया जाये, रोटेटिंग क्षेत्र का उत्तरी ध्रुव रोटर के दक्षिणी ध्रुव को अपनी ओर खींचता है और रोटेटिंग क्षेत्र का दक्षिणी ध्रुव रोटर के उत्तरी ध्रुव को अपनी ओर खींचता है। रोटर सूत्र, Ns = 120f/p वाले लोकप्रिय सूत्र अनुसार गणना की हुई चाल पर लगातार घूमने लगता है। यह रोटेटिंग क्षेत्र के साथ तुल्यकारी (synchronously) अवस्था में आ जाता है। अब मशीन मोटर की तरह कार्य करती है।

संरचना (Construction)

संरचना की दृष्टि से सिन्क्रोनस मोटर लगभग पूरी तरह प्रत्यावर्तक जैसी होती है, इसमें दो भाग बहुत महत्वपूर्ण है।

1 स्टेटर (आर्मेचर)

2 रोटर (फिल्ड)

एक सिन्क्रोनस मोटर आर्मेचर घूमने वाली या फिल्ड घूमने वाली हो सकती है, यद्यपि अधिकतर सिन्क्रोनस मोटरें फिल्ड घूमने वाली होती है। रोटर के पोलों की संख्या के बराबर स्थिर स्टेटर आर्मेचर को वाइंड किया जाता है, आर्मेचर वाइंडिंग स्टेटर फ्रेम में स्थित होती है, जबकि फिल्ड चुम्बक उस फ्रेम से जुडे होते है जो शाफ्ट के साथ घूमता है।

फिल्ड वाइंडिंग दिष्ट धारा से उत्तेजित की जाती है, जो कि एक छोटा DC जनरेटरहोता है (यह प्रायः मोटर की शाफ्ट के साथ ही जुडा रहता है और यह एकसाईटर के नाम से जाना जाता है) या किसी अन्य DC स्त्रोत से प्राप्त किया जाता है। Fig1 में सिन्क्रोनस मोटर के साथ सीधा जुडा एकसाईटर दिखाया गया है।

सिन्क्रोनस मोटर को प्रारम्भ करने की विधियाँ (Methods of starting a synchronous motor)

1 पोनी मोटर का उपयोग करके (By using a pony motor)

2 डैम्पर वाइन्डिंग का उपयोग करके (By using damper windings)

3 सिन्क्रोनाइजिंग करके (By synchronisation)

1 पोनी मोटर का उपयोग करके (By using a pony motor)

इस विधि में रोटर को छोटी मोटर (pony motor) से स्टार्ट किया जाता है और तीन फेज सिन्क्रोनस मशीन के स्टेटर वाइन्डिंग को तीन फेज सप्लाई दी जाती है, पोनी मोटर में सिन्क्रोनस मोटर के तुल्य पोल होते है। यह छोटी प्रेरण मोटर जो सिन्क्रोनस मशीन को स्टार्ट करने के उद्देश्य से उपयोग की जाती है पोनी मोटर कहलाती है। पोनी मोटर मुख्य मोटर को तुल्यकाली चाल के नजदीक ले आती है, उस समय फिल्ड को DC सप्लाई से जोड़ दिया जाता है, और पोनी मोटर का स्विच ऑफ कर दिया जाता है। अब मोटर अपने आप को तुल्यकाली चाल की ओर खींच लेती है।

2 डैम्पर वाइन्डिंग का उपयोग (By using damper windings)

डैम्पर वाइन्डिंग स्किवरल गेज (squirrel cage) वाइन्डिंग की तरह होती है अर्थात यह पोल शू के अन्दर ताँबे की छड़ें गाढ़ कर रखी जाती है जो दोनों तरफ से लघु परिपथ रहती है।

प्रारम्भ के समय डैम्पर वाइन्डिंग का कार्य (Action of damper winding at start)

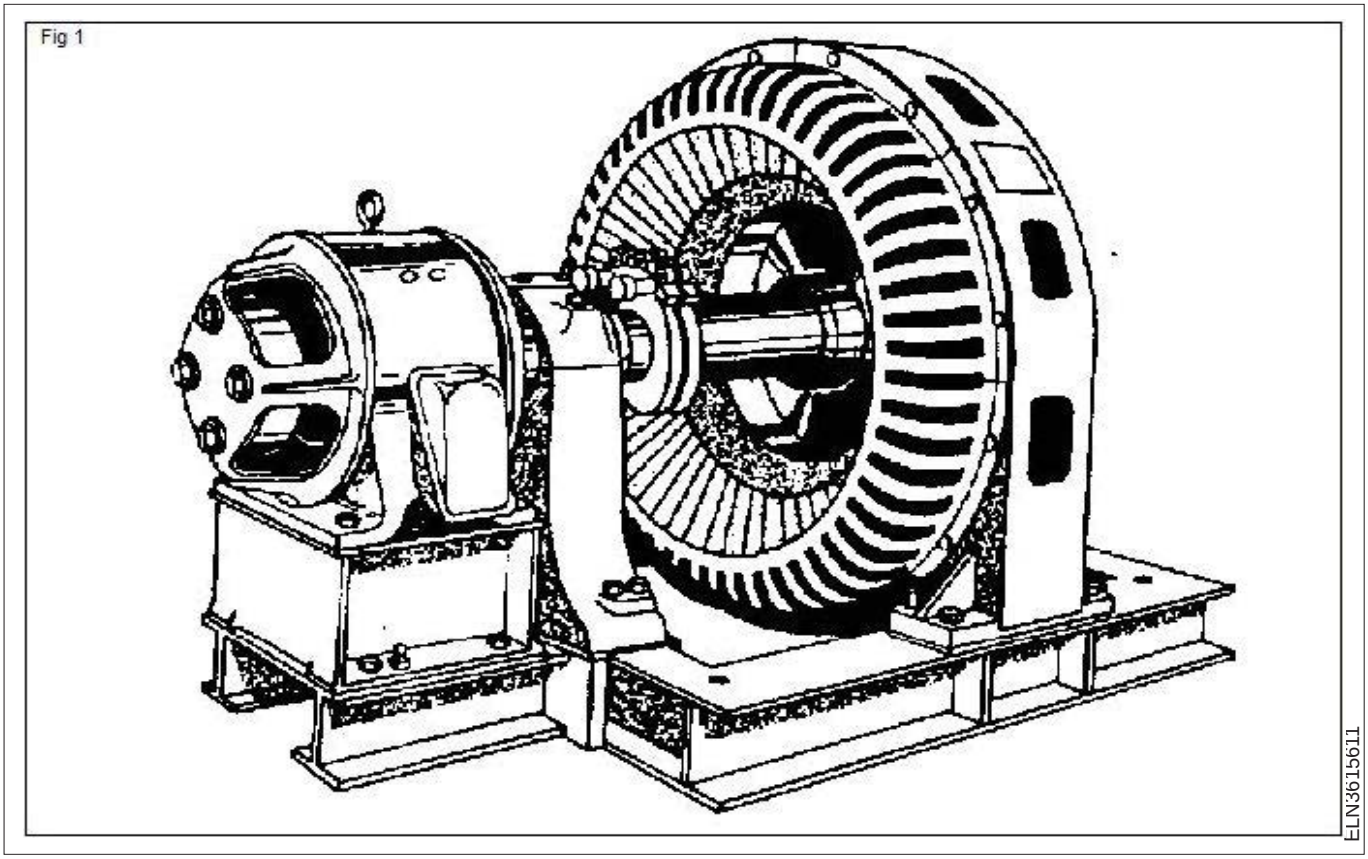
जब एक सिन्क्रोनस मोटर को स्टार्ट किया जाता है तो स्टेटर वाइन्डिंग में रोटेटिंग चुम्बकीय क्षेत्र स्थापित हो जाता है जो केज (डैम्पर) वाइन्डिंग के चालकों को काटता है जो रोटर पर फिल्ड पद्धति के रूप में होते है और डैम्पर चालकों में धारा उत्पन्न कर देता है। एक टॉर्क विकसित होकर मोटर को सिन्क्रोनस चाल से थोडा कम चाल पर चलाने लगता है जो कि प्रेरण मोटर की तरह होती है। अब DC उत्तेजन स्विच ऑन कर दिया जाता है। अब पोलों के दो सैट अचानक एक दूसरे को लॉक कर लेते है और मोटर तुल्यकाली चाल की ओर खींच जाती है।

डैम्पर वाइन्डिंग युक्त सिन्क्रोनस मोटर को जब स्टार्ट किया जाता है, सर्वप्रथम मुख्य फिल्ड वाइन्डिंग लघु परिपथ कर दी जाती है और स्टेटर टर्मिनलों को उचित स्टार्टर द्वारा AC सप्लाई से जोड़ दिया जाता है। मोटर स्टार्ट हो जाती है और जब यह स्थिर चाल पर पहुँच जाती है तो फिल्ड वाइन्डिंग से लघुपथ हटा कर इसे DC उत्तेजन से जोड दिया जाता है। यदि उत्तेजन (excitation) पर्याप्त है तो मशीन तुल्यकालन (synchronism) की ओर खींच जाती है।

3 तुल्यकालन द्वारा (By synchronisation)

प्रारम्भ में सिन्क्रोनस मोटर एक प्रत्यावर्तक की तरह चलाई जाती है और मुख्य प्रदाय के बस बार से सिन्क्रोनस की जाती है जो कि किसी एक

Copyright Free Under CC BY Licence



सिन्क्रोनाइजेशन विधि से किया जा सकता है। सिन्क्रोनाइजेशन के बाद प्रथम चालक (prime mover) को विच्छेदित कर दिया जाता है। अब यह प्रत्यावर्तक, अर्थात सिन्क्रोनस मोटर लगातार सिन्क्रोनस चाल पर चलती रहती है और मुख्य प्रदाय से शक्ति लेने लगती है।

सिन्क्रोनस मोटर व प्रेरण मोटर में तुलना

	मापदण्ड	सिन्क्रोनस मोटर	प्रेरण मोटर
1	चाल	तुल्यकाली चाल भाग स्थिति में स्वतंत्र होती है और स्थिर रहती है।	सिन्क्रोनस चाल से कम होती है। लोड (लोड) बढ़ने से घटती है।
2	शक्ति गुणक	सभी पश्चगामी व अग्रगामी शक्ति गुणकों पर परिचालित हो सकती है।	केवल पश्चगामी शक्ति गुणक पर परिचालित होती है।
3	दक्षता	बहुत अच्छी	अच्छी
4	लागत	अधिक महंगी	सस्ती
5	प्रारम्भन	अपने आप प्रारंभ नही	स्व-प्रारम्भ
6	चाल नियंत्रण	आवश्यकता नहीं	थोडी चाल नियंत्रित की जा सकती है।
7	अनुप्रयोग	यांत्रिक लोड के लिए प्रयोग की जाती है और सिन्क्रोनस कन्डेनसर के रूप में शक्ति गुणक सुधारने के लिए भी प्रयोग की जाती है।	केवल यान्त्रिक लोड को चलाने के लिए उपयोग होती है।

अनुप्रयोग (Application)

सिन्क्रोनस मोटरें सबसे अधिक शक्ति गुणक सुधारक युक्तियों के रूप में उपयोग होती है। इसलिए इन्हें सिन्क्रोनस कन्डेसर भी कहते है, क्योंकि इसका प्रभाव स्थिर कैपेसिटर की तरह ही शक्ति पद्धति (power system) पर पड़ता है जो कि अग्रगामी (leading) करंट उत्पन्न करता है।

निम्न शक्ति गुणक के कारण (Causes of low power factor)

1 सभी प्रकार की प्रेरण मोटरें विशेषकर वो जो कम लोड पर चलती है।

2 शक्ति परिणामित्र (पावर ट्रांसफार्मर) एवं वोल्टेज रेगूलेटर

3 ऑर्क वेल्डिंग

Copyright Free Under CC BY Licence

4 प्रेरण भट्टी व हीटिंग कुण्डलियाँ

5 चॉक कुण्डलियाँ और चुम्बकीय पद्धति

6 प्रतिदीप्ति और विसर्जन लैम्प व निऑन साइन लैम्प इत्यादि।

सैद्धांतिक रूप से निम्न शक्ति गुणक प्रतिकारक शक्ति के कारण होता है जो परिपथ में प्रवाहित होती है। प्रतिकारक शक्ति उपकरणों की प्रेरकत्व व धारिता पर निर्भर करती है।

निम्न शक्ति गुणक की निम्नलिखित हानियाँ है (The disadvantages of low power factor are as follows)

1 ट्रांसफार्मर व केबलों पर लोड ज्यादा हो जाती है

2 लोड बिंदु पर लाइन वोल्टेज घट जाती है

3 प्लांट कम दक्षता पर परिचालित होती है

4 शक्ति मूल्य पर दंड लगता है।

उच्च शक्ति गुणक के निम्नलिखित लाभ हैं (The advantages of high power factor are as follows)

1 धारा कम हो जाती है।

2 शक्ति मूल्य घट जाता है।

3 ट्रांसफार्मर व केबलों में हानियाँ घट जाती है।

4 ट्रांसफार्मर, स्विच गीयर व केबलों पर लोड कम हो जाती है।

5 शक्ति प्रणाली की क्षमता बढ़ जाती है (किसी अतिरिक्त उपकरण के बिना अतिरिक्त लोड वहन किया जा सकता है।)

6 उपकरण का कार्य प्रदर्शन व वोल्टता स्थिति में सुधार हो जाता है।

7 वेल्डिंग और इसके समान उपकरणों के कारण होने वाले वोल्टेज ड्रॉप मे कमी आती है।

शक्ति गुणक नियंत्रण (Power factor control)

जब मोटर लोड पर चल रही हो, उस समय यदि रोटर उत्तेजन को परिवर्तित कर दिया जाये, तो लोड का कोण व स्टेटर धारा में परिवर्तन हो जायेगा, परन्तु मोटर की चाल, लोड (और इनपुट पावर स्थिर रहने पर)स्थिर रहते है।

उत्तेजन को बदलने से मोटर के शक्ति गुणक को समायोजित कर सकते है। लोड की विभिन्न अवस्थाओं में इकाई शक्ति गुणक पर परिचालन सम्भव है और रोटर को अति उत्तेजित (high excitation) करके मोटर को अग्रगामी शक्ति गुणक पर परिचालित किया जा सकता है। यह बड़ी सिन्क्रोनस मोटर में ही विशेष कर लाभकारी हो सकता है, जो कि उसी स्थान पर प्रयोग की जाये जहाँ पर अन्य प्रेरण मोटरों के कारण पश्चगामी शक्ति गुणक रहता है, इस पश्चगामी शक्ति गुणक को सुधारने के लिए सिन्क्रोनस मोटर उपयोग की जाती है।

क्षणिक चाल उपयोग (Instant speed application)

चूंकि सिन्क्रोनस मोटर की दक्षता उच्च होती है, इसलिए ये मोटरें उन लोडों के लिए बड़ी उपयुक्त होता है जहाँ पर स्थिर चाल की आवश्यकता होती है।

सिन्क्रोनस मशीनों के V चक्र (V Curves of synchronouos machines)

सिन्क्रोनस मशीन के V-वक्र आर्मेचर धारा व उत्तेजन धारा के बीच सम्बन्ध को दर्शाते है। जब लोड को इनपुट वोल्टेज मशीन के लिए स्थिर रखे जाते है। स्थिर लोड पर, यदि उत्तेजन को बदला जाये तो मशीन का शक्ति गुणक भी बदल जाता है, अर्थात जब फिल्ड करंट का मान कम है (मशीन निम्न उत्तेजन में है) तो शक्ति गुणक कम है और जैसे ही उत्तेजन को बढाया जाता है, तो शक्ति गुणक बढ कर एक निश्चित धारा पर शक्ति गुणक इकाई (unity) हो जाता है और मशीन इस अवस्था में सबसे कम आर्मेचर धारा लेती है। यह सामान्य उत्तेजन कहलाता है। यदि उत्तेजन को और आगे बढाया जाये तो अति-उत्तेजित (over-excited) हो जायेगी और यह अधिक लाइन धारा लेगी और शक्ति गुणक अग्रगामी होकर कम हो जायेगी। इसलिए यदि फिल्ड करंट को परिवर्तित करें, लोड व इनपुट वोल्टेज को स्थिर रखा जाये, तो आर्मेचर करंट बदलता है और $VI\cos\theta$ स्थिर रहता है। उत्तेजन के साथ आर्मेचर धारा के परिवर्तन 'V' वक्र कहलाते है जो Fig 2 में दिखाये गये है।

Fig 2

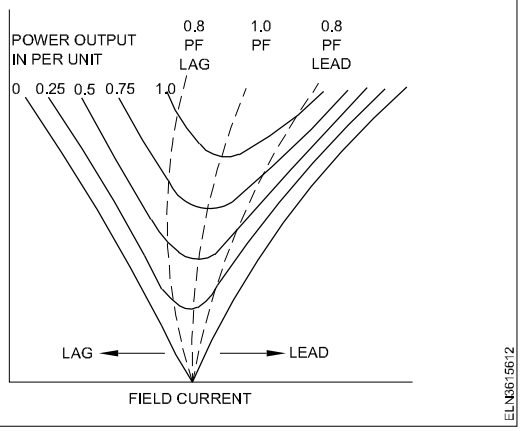


Fig 3 में दिखाये जैसा V और सिंक्रोनस मोटर के प्रतिलोभ V वक्र को प्रदर्शित करता है ।

स्थिर लोड पर उत्तेजना परिवर्तन का प्रभाव (Effect of Changing Excitation on Constant load)

जैसा कि Fig. (4a) में दिखाया गया है। मान लीजिए एक सिन्क्रोनस मोटर दिए गए लोड पर यूनिटी पावर फैक्टर में सामान्य उत्तेजना ($E_b = V$) के साथ प्रचालित होता है। यदि X_S की तुलना में R_a नगण्य है तब I_a E_R से 90° लैग करती है तथा वोल्टेज के साथ इन फेज है क्योंकि पावर फैक्टर का मान यूनिटी है। आर्मेचर प्रति फेज $V.I_a$ पावर लेती है चूँकि मोटर के मैकेनिकल लोड प्राप्त करने के लिए पर्याप्त है। आइए अब फील्ड एक्सायटेशन के घटनें या बढ़ने के प्रभाव के संबंध में चर्चा करते है। जब मोटर को लोड दिया जाता है तब यह स्थिर रहता है।

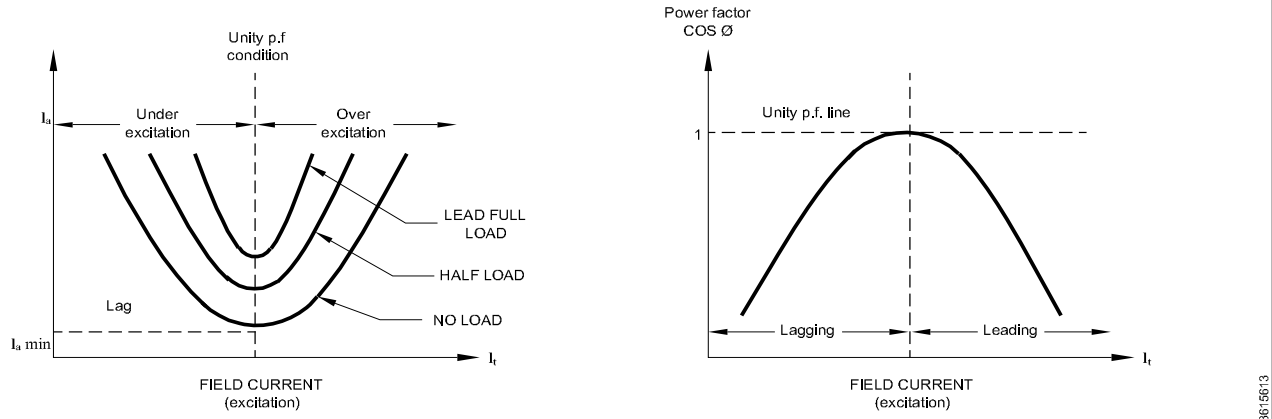
a) उत्तेजना घटनें पर (Excitiation Decreased)

जैसा कि Fig 4(b) में दिखाया गया है माना कि उत्तेजना में कमी होती है तब बैंक इ एस एफ E_{b1} लोड एंगल α_1 के समान उत्पन्न होता है। तब परिणामी वोल्टेज E_{R1} के कारण लैगिंग आर्मेचर करंट I_{a1} प्रवाहित होता है। यद्यपि प्रवाहित I_{a1} का मान I_a से बड़ा होता है फिर भी वह स्थिर लोड में आवश्यक

Copyright Free Under CC BY Licence

Fig 3

V and inverse V curve of Synchronous Motor



शाक्ति V.I_a उत्पन्न करने के लिए सक्षय होता है।क्योंकि I_{a1} cos ϕ_1 अवश्व Ia से छोटा होता है इसलिए V.Ia_1 cos ϕ_1< V.I_a

अतः लोड एंगल को α_1 से α_2. तक बढ़ानें के लिए यह आवश्यक है कि बैंक ई एम एफ E_{b1} को E_{b2} तक बढ़ाया जाय जिसके कारण परिणामी वोल्टेज E_{R1} से E_{R2} तक बढ़ जाता है। इसके परिणाम स्वरूप आर्मेचर करंट I_{a2} भी बढ़ जाता है। जिसके कारण मोटर को स्थिर लोड में चलाने हेतु फेज के अवयव द्वारा पर्याप्त शक्ति (VI_{a2} cos ϕ_2) प्राप्त हो जाती है।

b) उत्तेजना बढ़ना (Excitiation Increased)

Fig 4(c) में उत्तेजित फील्ड के प्रभाव को दिखाया गया है। जहाँ पर E_{b1} वास्तविक लोड कोण α_1 के रूप में दिखाया गया है। परिणामी वोल्टेज E_{R1} के कारण लीडिंग करंट I_{a1} को फेस कंम्पोनेट I_a से बढ़ा दिखाया गया है। यानि कि आर्मोचर में मोटर के लोड से ज्यादा पावर उत्पन्न हो रहा हैं। तदानुसार लोड कोण α_1से α_2 तक कम हो पाता हैं। जिसके कारण परिणामी वोल्टेज ER_1 से ER_2 तक कम हो जाता है। उसी के समान आर्मेचर करंट भी I_{a1} से I_{a2} तक कम हो जाता है। जिससे फेस घटक I_{a2} cos ϕ_2 = I_a. हो जाता है। जिसके कारण आर्मेचर में मोटर के स्पिर लोड को सहने के बराबर शक्ति उत्पन्न हो जाती हैं।

अतः सिन्क्रोनस मोटर के उत्तेजित अवस्था पर विभिन्नता प्राप्त करते हैं। दिए गए लोड पर केवल उनके लोड एंगल पर परिवर्तन होता हैं।

सिन्क्रोनस मोटर के विभिन्न (अलग - अलग) टार्क Different Torques of a Synchronous Motor

सिन्क्रोनस मोटर के विभिन्न टार्क निम्न है

1) स्टार्टिंग टार्क (Starting torque)

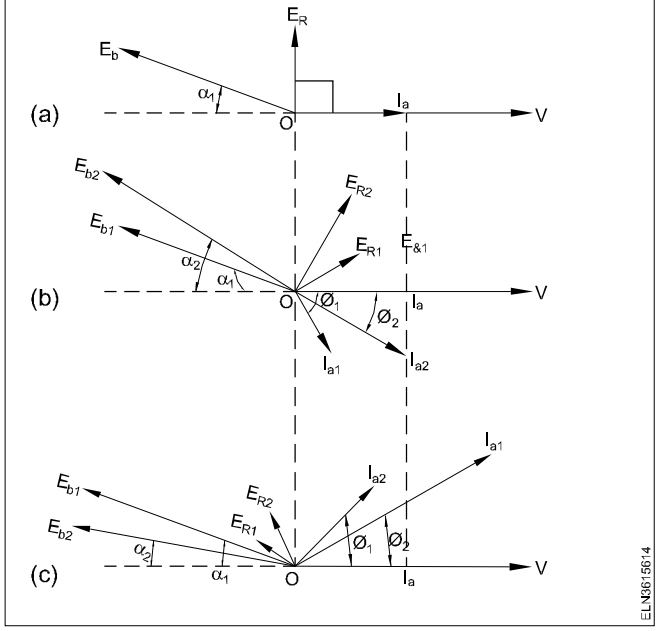
2) रनिंग टार्क (Running torque)

3) फुल इन टार्क (Pull - in - torque)

4) पुल आउट टार्क (Pull out torque)

1) स्टार्टिंग टार्क (Starting torque) - जब स्टेटर वाइंडिग में पूर्ण वोल्टेज दी जाती है तब यह टार्क (घूमने का प्रयास) उत्पन्न होता है। यह ब्रेक - वे टार्क के नाम से भी जाना जाता है। सेन्ट्रीफ्यूगल पम्प की स्थिति 10% में

Fig 4



तक कमी आ सकती है और उच्च कम्प्रैशर वाले दो सिलेण्डर की स्थिति में टॉर्क 200% से 250% उच्च होता है।

2) रनिंग टार्क (Running torque) - जैसे कि नाम से स्पष्ट है यह मोटर के गतिज अवस्था में उत्पन्न हुआ टॉर्क है। यह अश्वशक्ति संचालित मशीन द्वारा आवश्यक अधिकतम टॉर्क उत्पन्न करती है। स्टॉलिंग से बचने के लिए मोटर को ब्रेक डाउन या अधिकतम गतिज टार्क होने के कारण अधिक मूल्य का होना चाहिए।

3) फुल इन टार्क (Pull - in - torque) - वह अधिकतम टॉर्क जो मोटन को सिंक्रोनाइज करने R उत्पन्न किया जाता है, पुल - इन - टॉर्क कहलाता है।

4) पुल आउट टार्क (Pull out torque) - वह अधिकतम टॉर्क जो मोटर के बिना सिंक्रोनस स्पीड पर प्राप्त होता है। पुल - आउट - टॉर्क कहलाता है। सामान्यतः जब मोटर में लोड बढ़ता है। रोटर की स्पीड घूमता हुआ सिंक्रोनस स्पीड से कम होती है। जब रोटर पोल से पीछे रहती है 90, तब मोटर अधिकतम टॉर्क उत्पन्न करता है। जब लोड़ बढ़ाते जाते हैं तब मोटर सिंक्रोनस स्थिति से बाहर होकर रूक जाती है।

Copyright Free Under CC BY Licence