

श्री फेज विद्युत

प्रसाद मेहेंदळे

२६ मार्च २०१९

सारांश

विज्ञान केंद्राच्या या पुस्तिकेत विद्युत अभियांत्रिकीमधील तीन फेजचा विद्युत-पुरवठा, ही एक महत्वाची संकल्पना स्पष्ट केली आहे. शेतावरील मोटारींसाठी व कारखान्यातील विविध उपयोगांसाठी तीन फेजचा विद्युत पुरवठा केला जातो. तो तसा का केला जातो, त्याचे गणिती गुणधर्म कोणते, अडचणी, फायदे व तोटे काय आहेत अशा विषयांवरील चर्चा येथे वाचावयास मिळेल.

१ काही मूलभूत संकल्पना

काही मूलभूत संकल्पना समजावून घेतल्यावर मग श्री फेज विद्युत या मुख्य विषयाकडे वळता येईल. या संकल्पना नीट समजाव्यात यासाठी त्यांचे सुलभीकरण केले आहे. त्यामुळे विद्युतशास्त्रातील नियमांचे कठोर पालन केल्यास त्यात कदाचित त्रुटी आढळतील. या संकल्पना अशा आहेत:

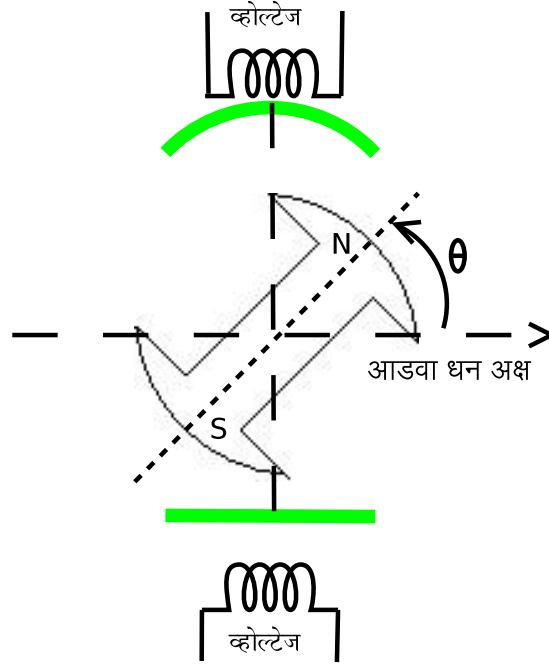
१.१ साइन लहरी

विद्युत-जनित्रातील रोटार स्वतःच्या अक्षाभोवती एकसमान कोनीय वेगाने (angular velocity) फिरत असतो. त्यामुळे तयार होणाऱ्या व्होल्टेजची किंमत क्षणाक्षणाला बदलत असते. पान क्र. २ आकृती १ पहा. रोटार घड्याळाच्या विरुद्ध दिशेने फिरताना दाखवला आहे.

१.१.१ कोनसापेक्ष बदल

रोटार फिरताना स्टेटर मधील कॉइलमध्ये व्होल्टेज निर्माण करतो. हे व्होल्टेज त्याच्या कोनीय वेगावर अवलंबून असते. त्याच प्रमाणे रोटारचे चुंबकीय ध्रुव (या ठिकाणी N) आडव्या धन (पॉझिटिव्ह) अक्षाशी किती अंशाचा कोन करतात त्यावरही ठरते.

१. ज्यावेळी हा कोन ० किंवा १८० अंशाचा असतो तेव्हा किमान व्होल्टेज (म्हणजे शून्य) मिळते. कारण तेव्हा चुंबकीय क्षेत्र कॉइलपासून विलग रहाते.



आकृती १: व्होल्टेज निर्मिती

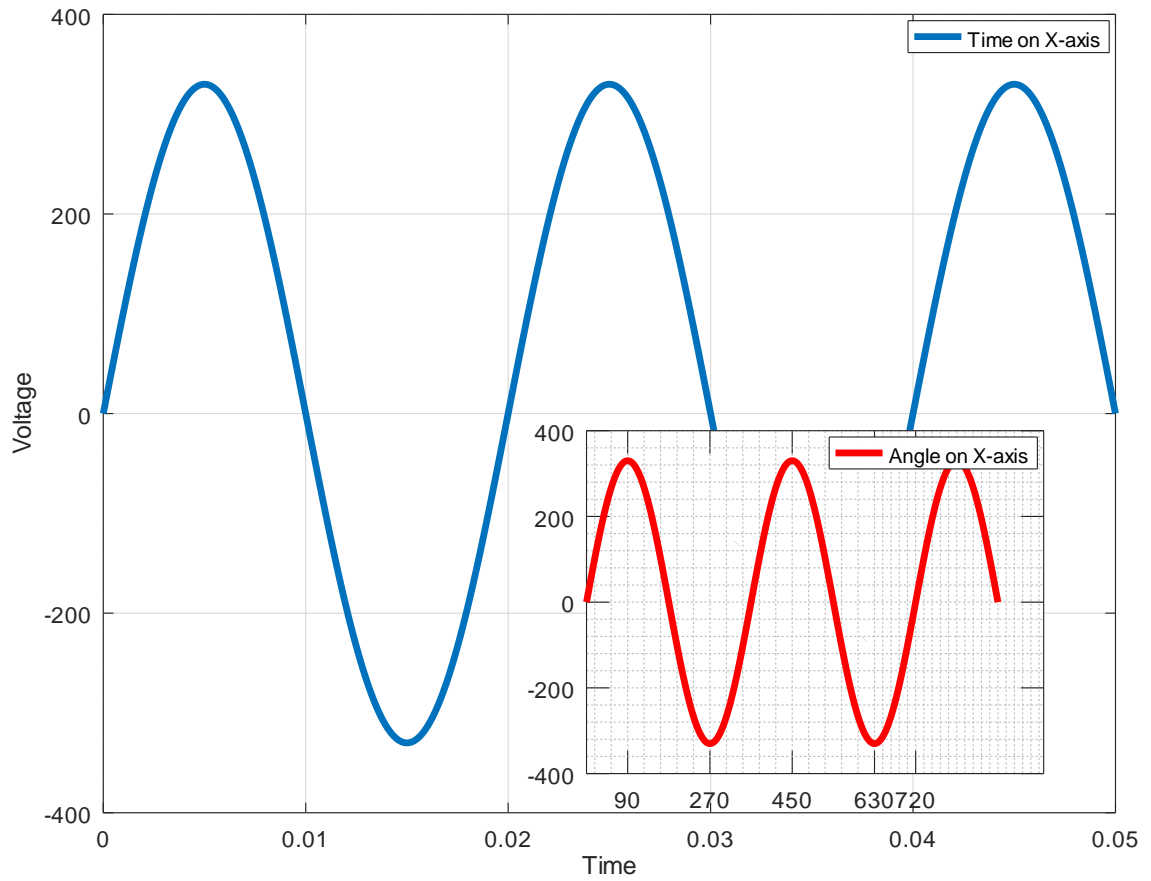
२. जेव्हा हा कोन ९० अंश असतो तेव्हा महत्तम धन व्होल्टेज (या ठिकाणी ३३०V) मिळते. कारण त्यावेळी (N) चुंबकीय क्षेत्र कॉइलशी पूर्णपणे निगडित असते.
३. हा कोन २७० अंश असतो तेव्हा हे व्होल्टेज ऋण महत्तम किंमत (या ठिकाणी -३३०V) धारण करते. कारण त्यावेळी (S) चुंबकीय क्षेत्र त्याच कॉइलशी पूर्णपणे निगडित असते.
४. त्या दरम्यानच्या कोनांसाठी हे व्होल्टेज मधल्या किंमती धारण करते.
५. या साऱ्या किंमतींचा आलेख (० ते ३६० अंशांच्या) एका व्होल्टेज चक्रासाठी तयार करता येतो.
६. अशा अनेक फेऱ्या मारताना रोटर त्याच त्या किंमती धारण करत राहतो, पण काळ पुढे जात रहातो आणि साइन लहर तयार होते.
७. आपल्या डोळ्याला आलेखावर दिसणारी आकृती लाटेसारखी दिसते. खरे पहाता सतत एका गणिती नियमाप्रमाणे बदलणाऱ्या व्होल्टेज किंमतींचे ते चित्ररूप आहे. आकृती २ पहा.

१.१.२ कालसापेक्ष बदल

अशा रीतीने तयार होणाऱ्या व्होल्टेजचा गणिती संबंध या समीकरणाने लिहिता येतो.

$$V = A * \sin(2 * \pi * f * t) \quad (१)$$

या समीकरणात t म्हणजे काल हे एकच असे चल आहे, ज्यावर व्होल्टेज V अवलंबून आहे. मोठ्या, निळ्या आलेखात ० ते ५० मिलीसेकंद या कालावधीत (वारंवारता ५० चक्रे प्रतिसेकंद असल्याने) व्होल्टेजची पाच



आकृती २: कालसापेक्ष आणि कोनसापेक्ष

अर्धचक्रे झालेली दिसतील. समीकरणातील चल-अचलांचे विवरण पुढील प्रमाणे करता येईल.

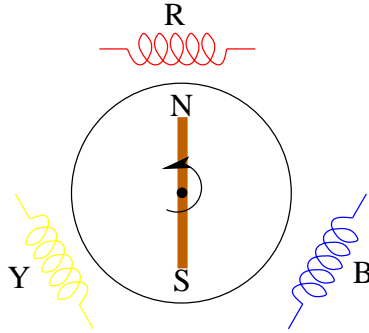
१. t म्हणजे लहरीने ϕ व्होल्टेज प्रथम ओलांडल्यानंतर मोजण्याच्या क्षणापर्यंतचा वेळ (निळा आलेख पहा.)
२. यात V म्हणजे t या क्षणी तयार झालेले व्होल्टेज. येथे व्होल्टेज उभ्या अक्षावर दाखवले आहे.
३. A म्हणजे व्होल्टेज-लहरीची सर्वाधिक किंमत (Amplitude) या ठिकाणी 330 व्होल्ट्स.
४. f म्हणजे व्होल्टेज लहरीची वारंवारता. या ठिकाणी 50 हर्ट्झ.

वर सांगितलेले सूत्र वापरून तयार होणाऱ्या व्होल्टेजचा **कालसापेक्ष** आलेख निळ्या रेषेने दाखवला आहे. त्याच आलेखात आतील बाजूला असलेला (लाल रंगातील) आलेख व्होल्टेज मधील **कोनसापेक्ष** बदल दाखवतो. खरे तर दोन्ही आलेखात तेच व्होल्टेज दाखवले आहे.

काल आणि कोन हे दोन वेगळे दाखवण्याचे कारण म्हणजे **फेज ही संकल्पना काळाशी निगडित असूनही ती कोनाच्या रूपात व्यक्त केली जाते** हे होय. रोटार फिरताना ठराविक काळात तो ठराविक कोनातूनच फिरतो या वस्तुस्थितीचा वापर करून काळा ऐवजी कोन वापरणे सोईचे जाते. काळाचा आकडा सतत बदलतो व वाढत राहतो तर कोनाच्या किंमती एका ठराविक मर्यादितच राहतात. उदा. 0 अंश ते 360 अंश किंवा 0 ते 2π रेडियन.

वरील समीकरण १ यातील $2 * \pi * f$ हा भाग खरे तर कोनीय वेग (ω) आहे हे आपल्याला चक्रीय गतीच्या (circular motion) अभ्यासावरून सांगता येते.

२ तीन फेज जनित्राचे तत्व



आकृती ३: तीन फेज जनित्राचे तत्व

आकृती क्र. ३ मध्ये तीन फेज विद्युत निर्माण करणाऱ्या जनित्राचे तत्व दाखवले आहे. या आकृतीत पुढील गोष्टी लक्षात येतात:

१. रोटारवर एकूण तीन कॉइल्स दाखवल्या आहेत.
२. प्रत्येक कॉइल इतर कॉइलशी 120 अंशांची फारकत घेते.
३. रोटार स्वतःच्या अक्षाभोवती घड्याळाच्या विरुद्ध दिशेने फिरतो आहे अशी कल्पना करा. तेव्हा चुंबकाचा उत्तर ध्रुव R कॉइलमध्ये कमाल धन व्होल्टेज (समजा 330 व्होल्ट) निर्माण करतो. आणि

१/३ फेरी नंतर पिवळ्या कॉइलमध्ये कमाल धन व्होल्टेज निर्माण करतो. त्यानंतर १/३ फेरी झाली की चुंबकाचा उत्तर ध्रुव निळ्या कॉइलमध्ये कमाल धन व्होल्टेज निर्माण करतो. ज्यावेळी याच चुंबकाचे दक्षिण ध्रुव विविध कॉइलखालून जातात त्यावेळी कमाल ऋण व्होल्टेज (-३३० व्होल्ट) कॉइलमध्ये निर्माण करतात.

४. आता एका चुंबकाची १/३ फेरी म्हणजे १२० अंश हे लक्षात घ्या. म्हणजे दर १२० अंशानंतर कॉइलमध्ये धन (वा ऋण) महत्तम व्होल्टेज निर्माण होत रहाते.
५. चुंबक इतर वेळी या कॉइल्समध्ये अंतरिम व्होल्टेजेस निर्माण करीत असतोच.
६. चुंबकामुळे कॉइलमध्ये निर्माण होणाऱ्या व्होल्टेजेसचा आलेख काढला तर तो आकृती क्र. ४ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे दिसतो.

२.१ फेज म्हणजे काय ?

फेज हा इंग्रजी शब्द काळाशी निगडित आहे. कालसापेक्ष स्थिती असा त्याचा मराठीत अर्थ ठरवता येईल. तीन-फेज-जनित्रातून एकाच वेळी तीन वेगळ्या स्थितीत असणारी व्होल्टेजेस कॉइलमध्ये निर्माण करता येतात हे मागील विभागात आपण पाहिलेच आहे. चुंबक रोटारवर बसून स्वतःभोवती फिरत असताना त्याच्याशी संलग्न कॉइलमध्ये विविध व्होल्टेज स्थिती निर्माण करतात. काळ जसा पुढे जात रहातो, तसा तीनही कॉइल्समध्ये निर्माण झालेल्या व्होल्टेजची पातळी बदलते. आकृती क्र. ४ मध्ये, प्रत्येक कॉइलमध्ये निर्माण होणारे व्होल्टेज कालसापेक्ष वेगवेगळ्या पातळीचे असते हे लक्षात येते.

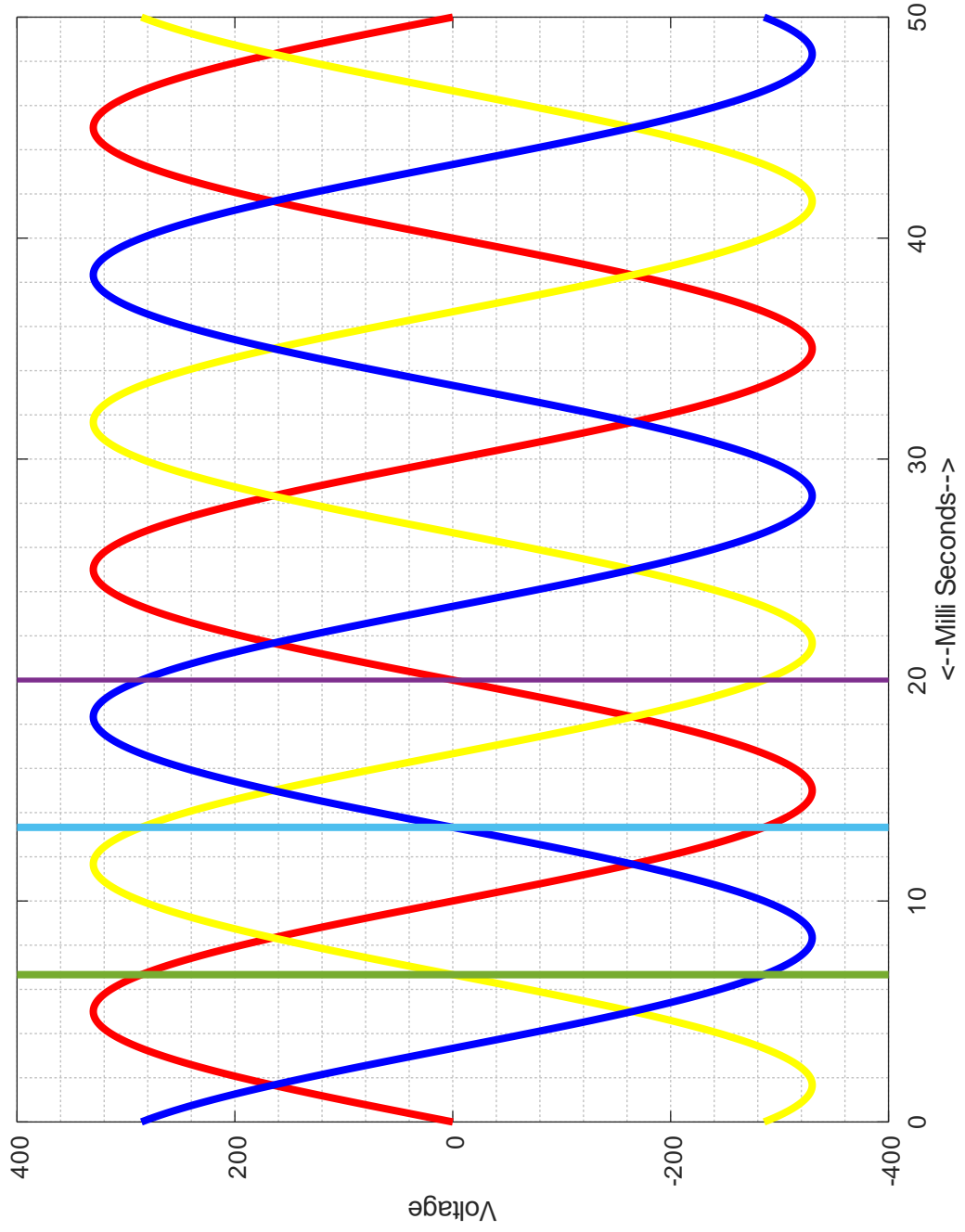
२.२ तीन फेजचे गणिती गुणधर्म

आकृती क्र. ४ पहा. Time या आडव्या अक्षावरील ०.०२ सेकंद या अविशिष्ट (random)काल-बिंदू पाशी ए क उभी जांभळी रेषा दिसेल.ही रेषा क्षणदर्शक आहे. विद्युत्प्रवाह सुरू झाल्यावर २० मिली-सेकंदांनी तीन वेगवेगळ्या फेज व्होल्टेजची निरनिराळी पातळी उभ्या अक्षावर दाखवली आहे. या क्षणी लाल फेजची व्होल्टेज पातळी ० व्होल्ट्स आहे. पिवळ्या फेजची व्होल्टेज पातळी -२८७ व्होल्ट्स आणि निळ्या फेजची व्होल्टेज पातळी +२८७ व्होल्ट्स आहे. या किंमती लक्षात घेतल्या तर आपल्याला पुढे दिलेले निष्कर्ष काढता येतात.

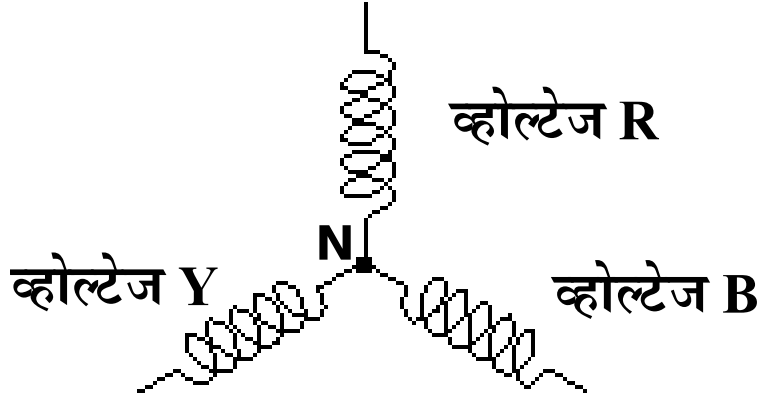
१. सर्व तीनही फेज व्होल्टेजेस चक्रीय गतीमुळे (circular motion) निर्माण होतात, त्यामुळे त्यांचा कालसापेक्ष आलेख साइन-लहरीचाच (sinusoidal) आहे.
२. कोणत्याही एका क्षणी प्रत्येक फेजचे व्होल्टेज वेगवेगळे असते.
३. या सर्व व्होल्टेजची बेरीज शून्य असते.
४. वरील गुणधर्म तपासण्यासाठी वाचक इतर कोणताही क्षण निवडून त्या व्होल्टेजेसची बेरीज करून पाहू शकतात. उदा. प्रवाह सुरू झाल्यानंतर ५० मिली-सेकंद या क्षणी ही बेरीज तपासून पाहता येईल.

२.२.१ उदासीन बिंदू-Neutral point

ज्यावेळी तीनही फेज कॉइल्सचे सुरुवातीचे (किंवा शेवटचे) टोक एकत्र केले जाते तेव्हा अशी जोडणी तयार होते. तिला स्टार जोडणी असे म्हटले जाते. अशी टोके एकत्र आल्यामुळे, त्या टोकांच्या व्होल्टेजची बेरीज होते आणि एकत्र आणणाऱ्या बिंदूचे व्होल्टेज ठरते. मागील विभागात मुद्दा क्र.(३) मध्ये दिल्याप्रमाणे या बिंदूचे



आकृती ४: तीन फेजचे गणिती गुणधर्म



आकृती ५: उदासीन बिंदू

व्होल्टेज शून्य असते. म्हणून त्या बिंदूला उदासीन बिंदू म्हणजे न्यूट्रल पॉइंट असे म्हणतात. याच बिंदूच्या अनुरोधाने सर्व कॉइल्सचे व्होल्टेज मोजतात. येथे हे व्होल्टेज २३३ व्होल्ट्स (RMS ^३) आहे.

आपल्या घरात एक फेज आणि एक न्यूट्रल असे दोन बिंदू विद्युत पुरवठा करतात. त्या पैकी एक वर उल्लेख केलेला उदासीन बिंदू असतो तर उरलेला बिंदू म्हणजे फेज हे तीन पैकी एका फेज कॉइलचे उरलेले टोक असते. या दोन बिंदूंना पॉझिटिव्ह व निगेटिव्ह असे म्हणणे ही एक मोठी चूक आहे. कारण ए.सी. विद्युत मध्ये एकाच टोकावरील विद्युतभार धन व ऋण असा वारंवारतेने (फ्रिक्वेन्सी) ठरवल्यानुसार, या ठिकाणी ५० हर्ट्झ, सतत बदलत राहतो.

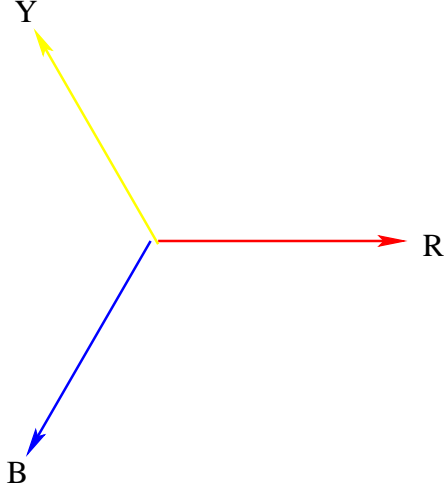
दकॉइलचे टोक व न्यूट्रल या मधील व्होल्टेज पूर्वी सांगितल्या प्रमाणे २३३ व्होल्ट्स असते. त्याला फेज व्होल्टेज म्हणतात. पण कोणत्याही दोन कॉइलच्या सुट्या टोकांमधील व्होल्टेज हे फेज व्होल्टेजच्या $\sqrt{3}$ पट असते.(आकृती १० पहा.) त्याला लाइन व्होल्टेज असे म्हणतात. आपल्या उदाहरणात ते ४०४ व्होल्ट्स आहे.

२.२.२ फेजर्स वापरून गणिते सोडवणे

तीन फेजचा पुरवठा व उपकरणे यांचे आरेखन (design) करताना अनेक गणिते करावी लागतात. त्यासाठी फेजर्सचा वापर करणे फार सोयीचे जाते. त्याशिवाय संयुक्त संख्यांचा (complex numbers) वापर करणे गरजेचे असते. हे करित असताना एका फेजरला संदर्भ फेजरचे स्थान देऊन इतर फेजर्स ची दिशा व किंमत गणिताने ठरवता येते. आकृती ६ पहा. त्या गणितांसाठी पुढील नियम वापरावे लागतात:

१. संदर्भासाठी घेतलेला फेजर धन आडव्या अक्षावर दाखवला जातो.
२. इतर फेजर्सची दिशा व किंमत या संदर्भ फेजर सापेक्ष दर्शवली जाते. आकृती ६ मध्ये R हा संदर्भ म्हणून वापरला आहे. Y हा +१२० अंशाने फिरलेला दिसतो. तर B हा फेजर Y च्या नंतर येणारा

^३Root of Mean of Squares. या संदर्भात विज्ञान केंद्राची "विद्युत अभियांत्रिकी-मूलभूत संकल्पना" ही पुस्तिका वाचा.



आकृती ६: संदर्भ फेजर व इतर फेजर्स

(+१२० अंशांनी फिरलेला) दिसतो. याचाच अर्थ B हा फेजर R पासून +२४० अंशांनी फिरलेला दिसतो.

३. कोणताही A किंमतीचा फेजर संदर्भ फेजरशी θ कोन करित असेल तर तो $A\angle\theta$ असा दाखवता येत.
४. आकृती ६ मधील सर्व व्होल्टेज फेजरची किंमत २३० व्होल्ट आहे असे समजू. त्यामुळे,
 - (a) R फेजर २३० $\angle 0$ असा दाखवला जाईल.
 - (b) Y हा फेजर २३० $\angle 120$ असा दाखवला जाईल.
 - (c) B हा फेजर २३० $\angle 240$ असा दाखवला जाईल.
५. वरील पद्धत फेजर दर्शवण्यासाठी सोयीची आहे. तथापि, गणिते करण्यासाठी $A\angle\theta$ चे रूपांतर संयुक्त संख्येत करणे गरजेचे असते. त्यासाठी ऑयलरचे सूत्र^२ उपयोगी पडते.
६. फेज पुरवठ्याचे व्होल्टेज $V\angle\theta$, हे $V(\cos \theta + i \sin \theta)$ असे रूपांतरित होईल.
७. लोड-उपकरणांचा रोध $Z\angle\phi$, हा $Z(\cos \phi + i \sin \phi)$ असा रूपांतरित होईल.
८. त्यातून वाहणारा प्रवाह $I\angle\psi$ हा $I(\cos \psi + i \sin \psi)$ असा रूपांतरित होईल.

एकदा फेजर संयुक्त संख्यांच्या रूपात आले की मग तत्संबंधीची गणिते (संयुक्त संख्यांमध्ये रूपांतरित करून) बिनचूक करता येतात.

३ काही व्यावहारिक मुद्दे

मागील विभागांत मुख्य सैद्धांतिक मुद्द्यांचा विचार केल्यावर आता काही व्यावहारिक मुद्द्यांकडे वळूया.

^२ $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$

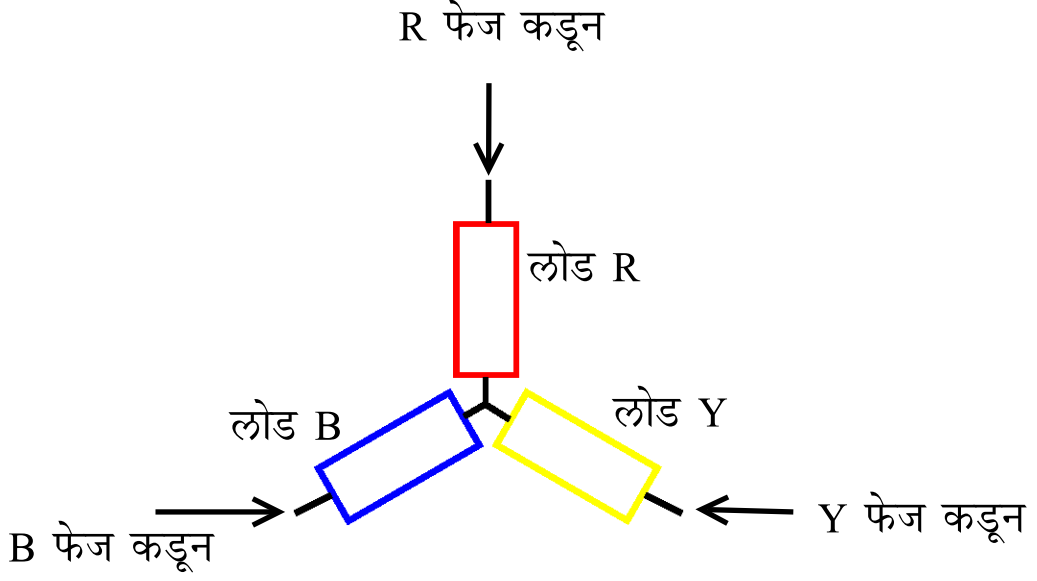
३.१ तीन फेज कशासाठी ?

जर एकच फेज असेल तरीही यंत्रणा चालतातच मग तीन फेज कशासाठी निर्माण करायचा हा प्रश्न महत्वाचा आहे. पान क्र. ३ वर एका फेजचा आलेख दाखवला आहे. तर पान क्र. ६ वर तीन फेजचा आलेख दाखवला आहे. या दोन आलेखांची तुलना केली की काही महत्वाच्या गोष्टी ध्यानात येतात.

१. **अधिक ऊर्जेची उपलब्धता:** तीन फेजचा आलेख अधिक घनदाट दिसतो. याचा अर्थ असा की तितक्याच कालावधीत अधिक ऊर्जा उपलब्ध असते.
२. **अधिक कार्यक्षम विद्युत यंत्रे:** त्यामुळे मोटारी व जनित्रांचा आकार कमी होतो. एक फेज यंत्रांपेक्षा तीन फेज यंत्रे साधारणतः दीड पट अधिक कार्यक्षम असतात. त्यामुळे तीन फेज यंत्रांची किंमतही कमी होते.
३. **तीन फेजमुळे वर्तुळाकार फिरणारे चुंबकीय क्षेत्र** निर्माण होते. याच तत्वावर स्विचरल केज इंडक्शन मोटारी^३ चालतात. या मोटारींची संख्या एकूण मोटारींची संख्या विचारात घेता सुमारे ९० टक्के आहे. या मोटारी अत्यंत दणकट रचनेच्या असतात आणि त्यांची देखभालीची गरज किमान असते. त्या शिवाय ही मोटार सेल्फ स्टार्टिंग असते. तिला एक फेज मोटारी प्रमाणे बाह्य कॅपॅसिटरची आवश्यकता नसते.
४. **स्वस्त पारेषण (ट्रान्समिशन).** कमी कालावधीत अधिक ऊर्जा पारेषित होत असल्यामुळे जनित्रापासून यंत्रणांपर्यंतचे पारेषण कमी खर्चात होते.
५. **कमी कंपनी:** एक फेज यंत्रांपेक्षा तीन फेज यंत्रांना सातत्याने ऊर्जा मिळते व हाताळता येते त्यामुळे या यंत्रांमध्ये कमी कंपनी (थरथर) निर्माण होतात. ही यंत्रे त्यामुळे अधिक टिकतात.
६. **चक्रीय बलाचे सातत्य:** चक्रीय बल^४ (टॉर्क) हे चुंबकीय क्षेत्राची तीव्रता आणि विद्युतप्रवाह यांच्या गुणाकारावर अवलंबून असते. या दोन्ही गोष्टींचे तीन फेज यंत्रांमध्ये सातत्य असते. त्यामुळे एक फेज यंत्रांप्रमाणे तीन फेज यंत्रात चक्रीय बल (टॉर्क) झटक्या-झटक्याने निर्माण न होता सातत्याने निर्माण होते.

४ स्टार व डेल्टा जोडणी

तीन फेजचा विद्युत पुरवठा असल्यास त्याला जोडलेल्या यंत्रणा तीन फेज प्रकारच्याच असायला हव्यात असे नाही. स्वतंत्रपणे एकेका फेजवर एक फेजवर चालणारी यंत्रे जोडता येतातच. पण तसे केल्याने तीनही फेजमधून वेगवेगळ्या किंमतीचा विद्युत प्रवाह खेचला जाण्याची शक्यता फार असते. असंतुलित विद्युत प्रवाहाचे अनेक तोटे आहेत. ते पुढील विभागात स्पष्ट केले आहेत. मात्र तीन फेज यंत्रणा वापरल्यास (त्या तीन फेजवर वापरण्यासाठीच तयार केलेल्या असल्याने) संतुलित विद्युत प्रवाह तीनही फेजमधून खेचला जातो व त्यामुळे तीनही फेजचे व्होल्टेज समान व संतुलित राहते. तीन फेज यंत्रे दोन प्रकारे तीन-फेज पुरवठ्याला जोडता येतात. ते दोन प्रकार पुढे दिले आहेत.

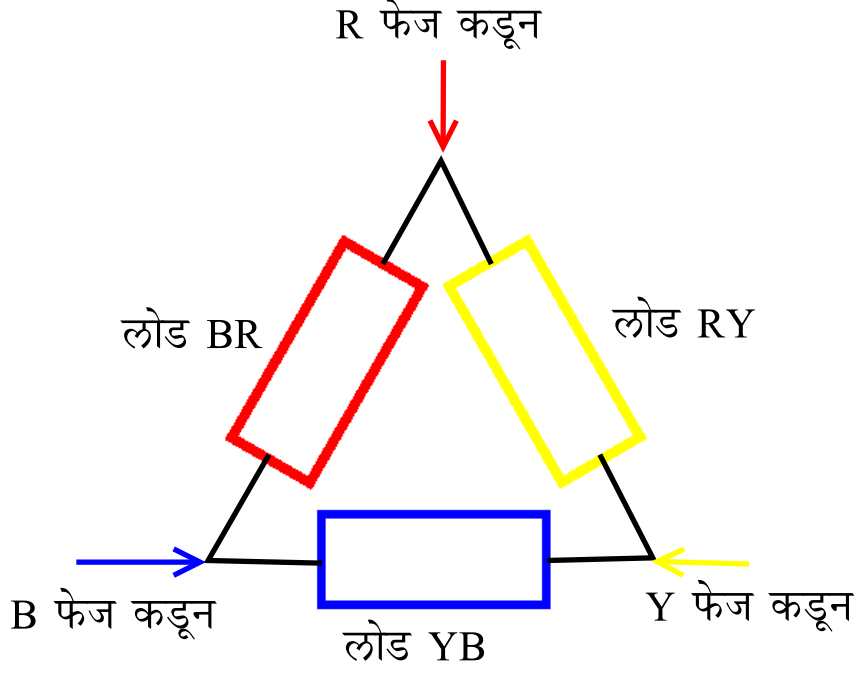


आकृती ७: लोडची स्टार जोडणी

४.१ स्टार जोडणी

आकृती ५ मध्ये जनित्राच्या कॉइल्स दाखवल्या आहेत. व आकृती ७ मध्ये लोड^५ दाखवले आहे. दोन्ही जोडण्या स्टार जोडण्याच आहेत. तथापि लोड व जनित्राच्या कॉइल्स वेगळ्या पद्धतीने दर्शवल्या आहेत हे लक्षात येईल. विद्युत पुरवठ्याचा उदासीन बिंदू (सप्लाय न्यूट्रल) आणि लोडच्या उदासीन बिंदू (लोड न्यूट्रल) यांचे व्होल्टेज सैद्धांतिक दृष्ट्या शून्य असायला हवे. पारिषणातील गळतीमुळे ते तसे नेहमीच असते असे नाही. म्हणून पुरवठा व लोड यांचा उदासीन बिंदू नेहमी जोडलाच पाहिजे असे नाही. तो जोडल्यास (त्यातील व्होल्टेज फरकामुळे) दोन न्यूट्रल पॉइंट मध्ये विद्युत प्रवाह वाहतो. हा प्रवाह मोठ्या प्रमाणात असेल तर तो दोष समजायला हवा. आकृतीचे निरीक्षण केल्यास पुढील गोष्टी आपल्या लक्षात येतात.

१. तीन लोडची एकेक टोके एकत्र करून उदासीन बिंदू तयार होतो.
२. उरलेली टोके प्रत्येकी एका सप्लाय फेजला जोडली जातात. म्हणजे प्रत्येक लोड एक फेजबिंदू आणि उदासीन बिंदू यात जोडले जाते.
३. तीन लोडच्या भोवती २३३ व्होल्ट्स दिले जातात.



आकृती ८: लोडची डेल्टा जोडणी

४.२ डेल्टा जोडणी

आकृती ८ मध्ये लोड डेल्टा ^६ पद्धतीने दाखवले आहे. आकृतीचे निरीक्षण करून आपल्याला पुढील गोष्टी लक्षात येतात.

१. डेल्टा जोडणीत उदासीन बिंदू (न्यूट्रल पॉइंट) तयार होत नाही.
२. प्रत्येक लोड दोन फेज बिंदूंमध्ये जोडले जाते. दोन फेज बिंदूंमधील व्होल्टेजला लाइन व्होल्टेज म्हणतात.
३. डेल्टा मधील प्रत्येक लोडच्या भोवती सुमारे ४०० व्होल्टस असतात.

५ फेजर डायग्रॅम

तीन फेजेस मधले नाते वापरून अनेकदा विद्युत अभियांत्रिकीत गणिते सोडवावी लागतात. अशा वेळी साइन लहरींचा आलेख दरवेळी वापरणे गैरसोयीचे असते. अशा वेळी १२० अंशांची फारकत आणि व्होल्टेजची RMS

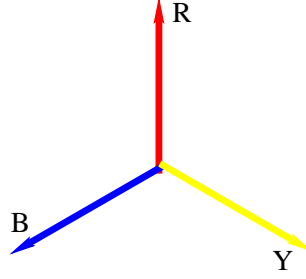
^३विज्ञान केंद्राची "विद्युत मोटारी" ही पुस्तिका वाचा.

^४एखादी वस्तू तिच्या एका अक्षाभोवती फिरवण्यासाठी जे बल लागते त्याला चक्रीय बल (torque) असे म्हणतात. उदा. स्कू वा नट पिळण्यासाठी लागणारे बल.

^५विद्युतशास्त्रात लोड हा शब्द करंट-विद्युत प्रवाह या अर्थाने वापरला जातो. जास्त लोड म्हणजे जास्त प्रवाह खेचणारी यंत्रणा. कमी लोड म्हणजे कमी प्रवाह खेचणारी यंत्रणा.

^६डेल्टा म्हणजे त्रिकोन.

किंमत यांचा विचार प्रामुख्याने करावा लागतो. त्यासाठी फेजर ही संकल्पना वापरणे सोईचे ठरते.



आकृती ९: फेजर डायग्रॅम

५.१ फेज व्होल्टेज (वा करंट)

आकृती ९ पहा. तीन फेज व्होल्टेजचे पुढील गुणधर्म सांगता येतात.

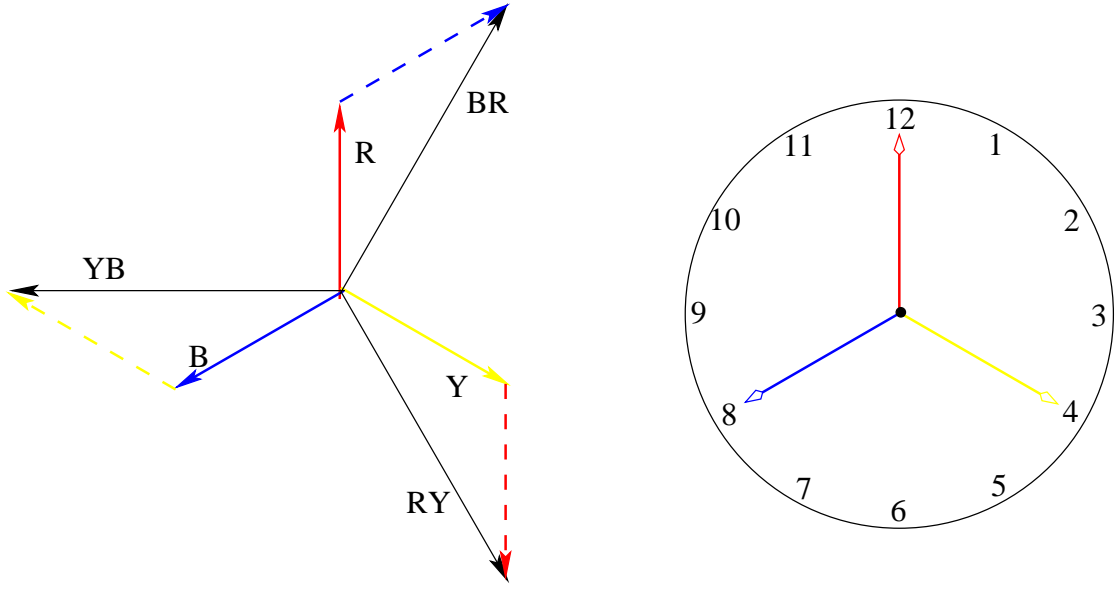
१. तीन कॉइल्स मध्ये निर्माण झालेली व्होल्टेजेस 120° अंशांची फारकत असणाऱ्या व्हेक्टरसने दाखवली आहेत. या व्हेक्टरसना फेजर म्हणतात.
२. केवळ साइन लहरीने व्यक्त होऊ शकेल अशीच इलेक्ट्रिकल संकल्पना फेजरने दाखवता येते.
३. फेजरची लांबी त्या फेजचे व्होल्टेज वा करंट दर्शवते. (या ठिकाणी 230 व्होल्ट्स.)
४. 120° अंशांची फारकत दाखवणे म्हणजेच (साइन लहरींच्या) कालसापेक्ष आलेखात 6.667 मिलीसेकंद उशिराने येणारी लहर दाखवण्यासारखे आहे. आकृती ४ पहा.

५.२ लाइन व्होल्टेज (वा करंट)

जेव्हा दोन फेज कॉइल्स दरम्यानचे व्होल्टेज विचारात घेतले जाते तेव्हा त्याला लाइन व्होल्टेज असे म्हणतात. उदा. V_{RY} म्हणजे R व Y या कॉइल दरम्यानचे व्होल्टेज. आकृती १० पहा.

१. V_{RY} याचा अर्थ Y कॉइलचे न्यूट्रलसापेक्ष व्होल्टेज वजा R कॉइलचे न्यूट्रल सापेक्ष व्होल्टेज.
२. V_{YB} म्हणजे B कॉइलचे न्यूट्रलसापेक्ष व्होल्टेज वजा Y कॉइलचे न्यूट्रलसापेक्ष व्होल्टेज.
३. V_{BR} म्हणजे R कॉइलचे न्यूट्रलसापेक्ष व्होल्टेज वजा B कॉइलचे न्यूट्रलसापेक्ष व्होल्टेज.

कॉइल व्होल्टेजेसची वजाबाकी करताना ती फेजरची वजाबाकी आहे हे लक्षात ठेवावे लागते. व त्रिकोनाचा नियम विचारात घ्यावा लागतो. आकृती १० मध्ये Y व्होल्टेजमधून R व्होल्टेज वजा करण्यासाठी R व्होल्टेजची दिशा विरुद्ध करून बेरीज केली आहे हे लक्षात येईल. तीच गोष्ट इतर लाइन फेजर काढताना केलेली आढळेल. विरुद्ध दिशेचे फेजर्स तुटक रेषेने दाखवले आहेत.



आकृती १०: लाइन व्होल्टेज फेजर्स

५.३ आधी आलेले व मागे पडलेले

फेज ही संकल्पना काळाशी निगडित आहे हे आपण पूर्वीच पाहिले आहे. कोणता फेजर इतर कोठल्या फेजरच्या आधी येतो आणि कोण मागे पडतो हे समजून घेणे महत्वाचे आहे. त्यासाठी आकृती १० पहा. एका केंद्राभोवती एकूण सहा फेजर्स दिसतील. तुटक रेषांनी दाखवलेले फेजर्स केवळ लाइन फेजर्स निर्माण करण्याच्या प्रक्रियेतील आहेत. सहा फेजर्स पैकी R, Y, B हे तीन फेजर फेज व्होल्टेज दर्शवतात. तर RY, YB व BR हे फेजर लाइन व्होल्टेज दर्शवतात.

आता या फेजर सोबत एक एका काट्याचे घड्याळ आहे असे समजा. R हा फेजर १२ वाजता प्रकट होतो, Y हा फेजर ४ वाजता प्रकट होतो तर B हा फेजर ८ वाजता प्रकट होतो. काळाच्या दृष्टीने पहाता R फेजर Yच्या आधी आला आहे तर B हा Y नंतर आला आहे. जो फेजर आधी येतो त्याला आधी आलेला (लीडिंग-leading) तर नंतर येणाऱ्या फेजरला मागे पडलेला (लॅगिंग-lagging) असे म्हटले जाते. घड्याळाची आकृती केवळ फेजर मधील कालसापेक्षता समजून सांगण्यासाठी आहे. प्रत्यक्षात R, Y, B हे फेजर्स एकमेकांपासून $6\frac{2}{3}$ मिलिसेकंद^७ इतक्या कमी कालावधीनंतर प्रकट होतात. ५० हर्ट्झ वारंवारतेसाठी हा कालावधी एकमेकांशी १२० अंशाचा ($2\frac{\pi}{3}$ रेडियन^८) कोन करणारा असतो.

घड्याळा शेजारील फेजर आकृतीत फेज व लाइन व्होल्टेजेस दाखवणारे फेजर दाखवले आहेत. त्यातील आधी आलेले आणि मागे पडलेले फेजर कोणते हेही लक्षात घेण्यासारखे आहे.

१. R, Y, B या तीनही फेजरपैकी R हा आधी आलेला आहे. Y हा त्यापासून १२० अंशानी मागे पडलेला दिसतो. B हा सर्वात शेवटी म्हणजे Y च्या १२० अंशाने मागे पडतो.
२. मजेची गोष्ट म्हणजे, घड्याळाच्या दृष्टीने पहाता, B हा ८ वाजता प्रकट होतो तर R हा १२ वाजता

^७मिलीसेकंद म्हणजे सेकंदाचा १००० वा भाग

^८त्रिज्येच्या लांबीइतका वर्तुळकंस वर्तुळावर अंतर्भूत करणारा कोन एक रेडियन मापाचा असतो.

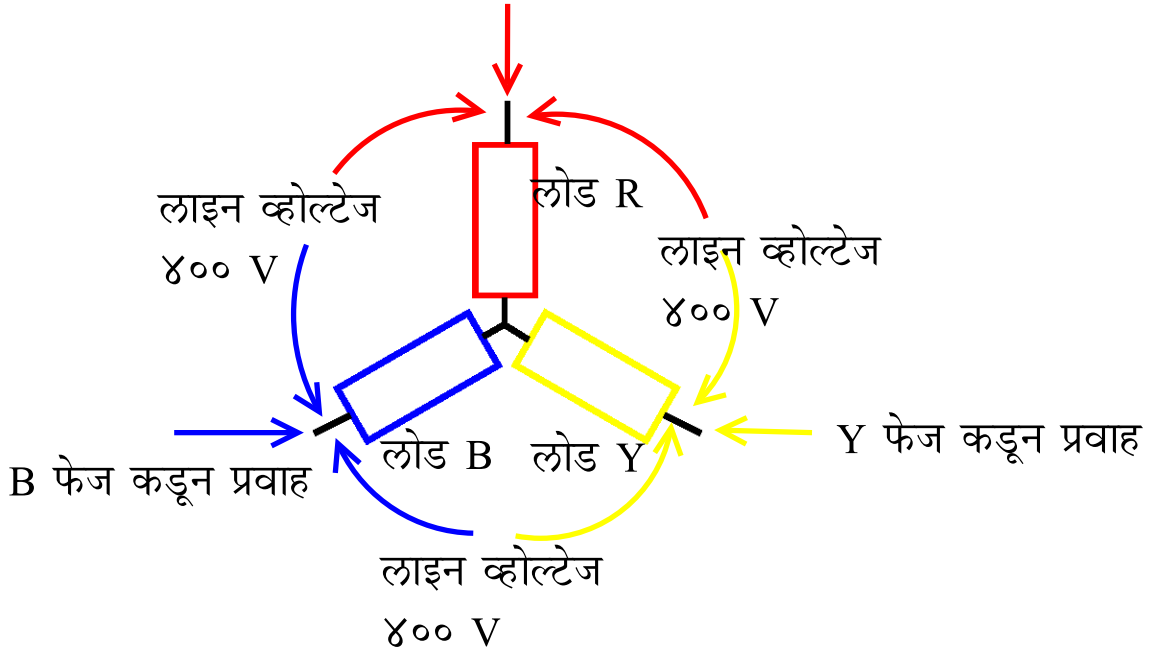
म्हणजे B हा R च्या आधी आलेला फेजर ठरवता येईल. चक्रीय गतीमुळे हेही खरे ठरते. यावरून आणखी एक गोष्ट लक्षात येते, ती म्हणजे फेजर मधील आधी येणे व मागे पडणे (leading - lagging) हे सापेक्ष आहे.

- लाइन व्होल्टेज आणि फेज व्होल्टेज यांचा फेज-संबंध वरील पद्धतीनेच ठरवता येतो. BR हे लाइन व्होल्टेज R या फेज व्होल्टेज नंतर (१ वाजता) प्रकट होते. याचा दुसरा अर्थ असा की R हे फेज व्होल्टेज BR या लाइन व्होल्टेजच्या आधी आलेले आहे (किंवा BR हे लाइन व्होल्टेज R या फेज व्होल्टेजच्या मागे पडले आहे). त्यातील अंशात्मक फरक ३० अंश ($\frac{\pi}{6}$ रेडियन) इतका आहे. असाच फेज-संबंध इतर लाइन व फेज व्होल्टेजेस मध्ये दाखवता येतो.

५.४ तीन फेज मधील विद्युत-प्रवाह

तीन फेज मधील लोड तीन निरनिराळ्या घटकांनी बनलेले असते. पण त्या प्रत्येक लोडचा विद्युत रोध सारखाच असतो. त्यांची दोन प्रकारे जोडणी करता येते.

R फेज कडून प्रवाह



आकृती ११: स्टार जोडणीतील प्रवाह

५.४.१ लोडची स्टार जोडणी

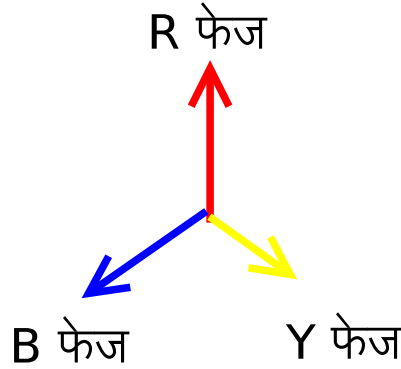
- स्टार जोडणीत लाइन प्रवाह व फेज प्रवाह हे दोन्ही एकच असतात.

२. स्टार जोडणी केलेल्या लोड मधे स्वतंत्रपणे एकेका लोडमधून लाइन-प्रवाह आत शिरतो.
३. प्रत्येक लाइन प्रवाह लोड मधून जाऊन, तयार झालेल्या उदासीन बिंदूत (न्यूट्रल पॉइंटमध्ये) शिरतो.
४. प्रत्येक लोड भोवती फेज व्होल्टेज (या ठिकाणी २३० व्होल्ट्स) असते.
५. प्रत्येक फेजमधील व्होल्टेज व लोडचा रोध समान असल्यास न्यूट्रल मधे शून्य व्होल्टेज व शून्य प्रवाह असतो. मात्र ही आदर्श स्थिती समजली पाहिजे.
६. लाइन व्होल्टेजचे विभाजन दोन लोड घटकांभोवती होते. हे व्होल्टेज लाइन व्होल्टेजच्या निम्मे नसते तर $\frac{1}{\sqrt{3}} V_{line}$ इतके असते.

५.४.२ लोडची डेल्टा जोडणी

१. डेल्टा जोडणीत लाइन प्रवाह व फेज प्रवाह वेगवेगळे असतात.
२. प्रत्येक लाइन प्रवाहाचे विभाजन होऊन तो दोन लोड-शाखांमध्ये शिरतो.
३. लाइन प्रवाह व फेज प्रवाह यांचा गणिती संबंध $I_{line} = \sqrt{3} * I_{phase}$ असा असतो.
४. प्रत्येक लोडच्या भोवती लाइन व्होल्टेज (या ठिकाणी ४०० व्होल्ट्स) असते.
५. या जोडणीत न्यूट्रल तयार होत नाही.

६ तीन फेजचे असंतुलन

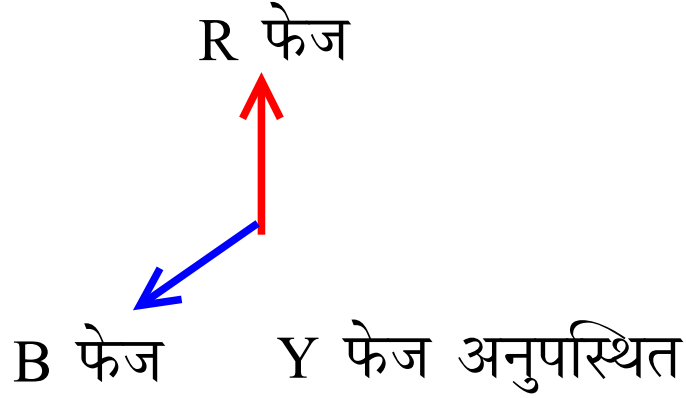


आकृती १२: असंतुलित फेजेस

घरगुती वापरासाठी एक फेजवर चालणारी उपकरणे नेहमी वापरली जातात. तीन फेजमधूनच एका फेजवर चालणाऱ्या उपकरणांसाठी विद्युत पुरवठा केला जातो. त्याचा परिणाम म्हणून तीनही फेजमधून पुरवली जाणारी विद्युत असंतुलित असते. (आकृती १२ पहा.) म्हणून तीन फेजमधून मिळणारे व्होल्टेज व करंट सारखे नसतात. हा असंतुलित विद्युत पुरवठा तीन फेजवर चालणाऱ्या औद्योगिक उपकरणांवर वाईट परिणाम घडवतो. हे परिणाम पुढील प्रमाणे सांगता येतील:

१. तीन फेज मधील व्होल्टेजेस निरनिराळी असल्याने डेल्टा किंवा स्टार लोड मधील प्रत्येक शाखेत निरनिराळा प्रवाह निर्माण होतो.
२. स्टार जोडणीतील न्यूट्रल पॉइंटचे व्होल्टेज शून्य असत नाही.
३. मोटार, ट्रान्सफॉर्मर इत्यादी विद्युतचुंबकीय उपकरणांमध्ये harmonics^१ ची निर्मिती होते.
४. मोटार, ट्रान्सफॉर्मर अशा उपकरणांतील कंपने मोठ्या प्रमाणात वाढतात. त्यामुळे त्यातील घटक भाग खिळखिळे होऊ शकतात.
५. मोटार, ट्रान्सफॉर्मर अशा उपकरणांचे तापमान वाढते. इन्सुलेशन खराब होते व देखभालीचा खर्च व नादुरुस्तीची शक्यता वाढते.
६. निगेटिव्ह फेज सिक्वेन्स घटकांचे प्रमाण फार वाढते.

६.१ सिंगल फेजिंग



आकृती १३: सिंगल फेजिंग

फेज असंतुलनाचा एक टोकाचा प्रकार म्हणजे एका फेजची पूर्णपणे अनुपस्थिती. आकृती १३ पहा. औद्योगिक क्षेत्रात किंवा शेतावर, मोटारी चालू असताना जर सिंगल फेजिंग झाले तर त्याचा परिणाम अनेकदा मोटार जळण्यात होऊ शकतो. त्याबद्दल काही गोष्टी लक्षात ठेवण्यासारख्या आहेत:

१. मोटार चालू असताना सिंगल फेजिंग झाले तर मोटार चालूच रहाते पण प्रवाह अचानक वाढतो. तापमान व कंपने वाढतात.
२. सिंगल फेजिंग झाले असताना, मोटार बंदची चालू केल्यास मोटार फिरत नाही. पण ती मधील प्रवाह, तापमान, गोंगाट व कंपने वाढतात. परिणामी (काही काळानंतरही हीच स्थिती चालू राहिल्यास) ती जळू शकते.
३. एकूण किती यांत्रिक ओझे ^{१०}मोटारीवर आहे त्याला अनुसरून मोटार तापून जळेल किंवा काय हे अवलंबून असते.

^१विद्युत पुरवठ्यातील अधिक वारंवारतेचे घटक

^{१०}mechanical load

६.२ उपाय

सिंगल फेजिंग झाल्यानंतर मोटार बंद करणे ही एकच गोष्ट सर्वात जास्त परिणामकारक असते. परंतु सिंगल फेजिंग होऊ नये यासाठी काही प्रमाणात काळजी घेता येते.

१. विद्युत मंडलातील (सर्किटमधील) सर्व जोडणी घट्ट व बिनचूक करणे. त्यामुळे हादरे, वारा या सारख्या गोष्टींमुळे निर्माण होणारा सिंगल फेजिंगचा धोका टळू शकतो.
२. मात्र काही वेळा येणाऱ्या पुरवठ्यातच एक फेज नसते. असे सिंगल फेजिंग झाल्यास मोटार आपोआप बंद व्हावी व सिंगल फेजिंगचा दोष काढून टाकल्यानंतरच पुन्हा सुरू करता यावी अशा सोयी देणारे सिंगल फेजिंग संरक्षक उपकरण (सिंगल फेजिंग प्रोटेक्टर) मोटारी सोबत बसवावे.

७ विज्ञान केंद्राबद्दल

ही पुस्तिका विज्ञान केंद्राची निर्मिती आहे. तिच्यातील मजकूर जसा आहे तसा, इ-बुक वा छापील रूपात, वाटण्यास किंवा विकण्यास, विज्ञान केंद्राची (GNU-Free Documentation License - मुक्त पुस्तिका परवान्याखाली) परवानगी आहे. विज्ञान केंद्र अशा विविध विषयांवरील पुस्तिका तयार करत असते. त्या सर्व याच परवान्याखाली वितरित केल्या जातात. तुम्हाला ही इ-पुस्तिका <https://vidnyankendra.org> या संकेतस्थळावर मिळेल.