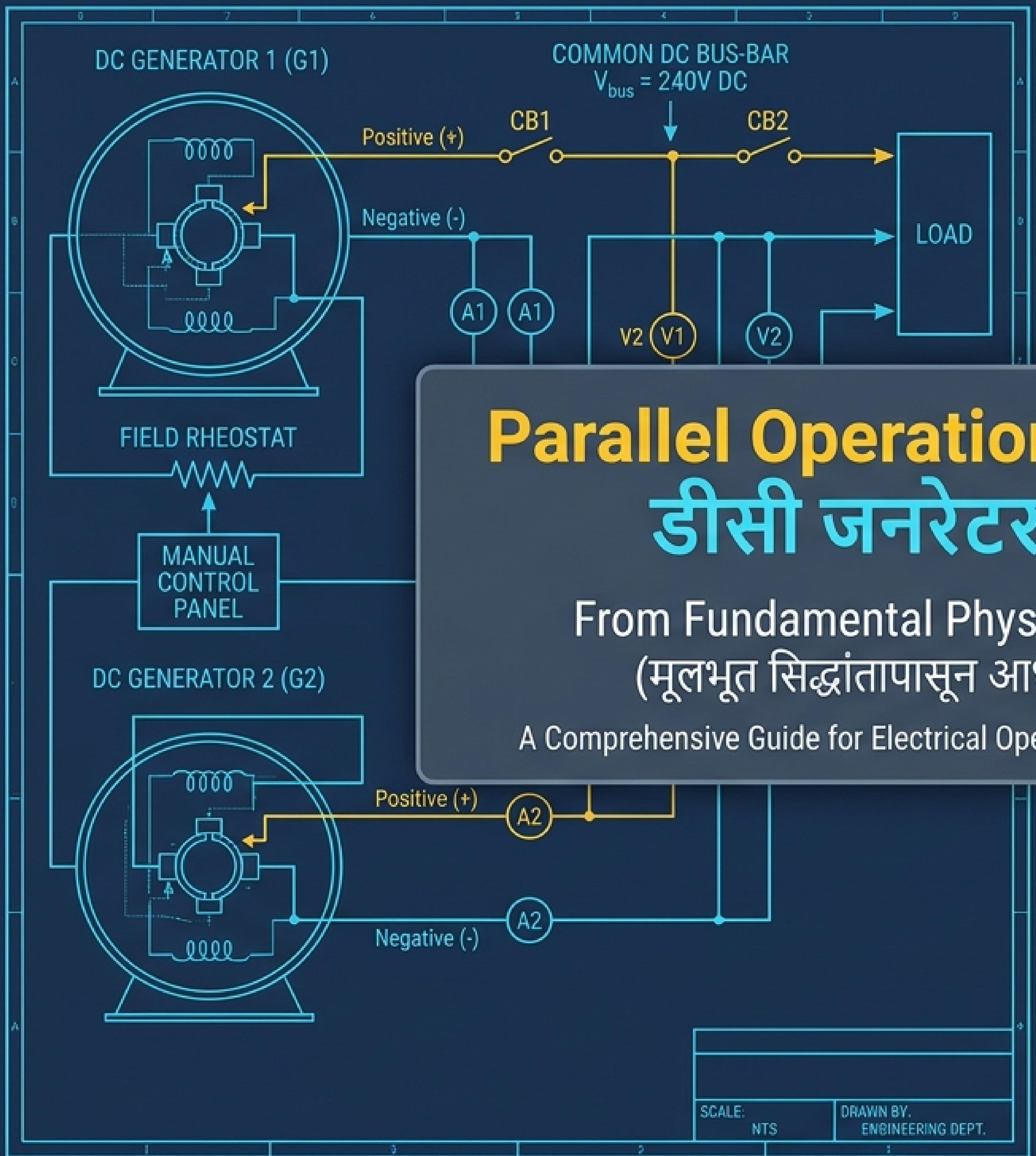
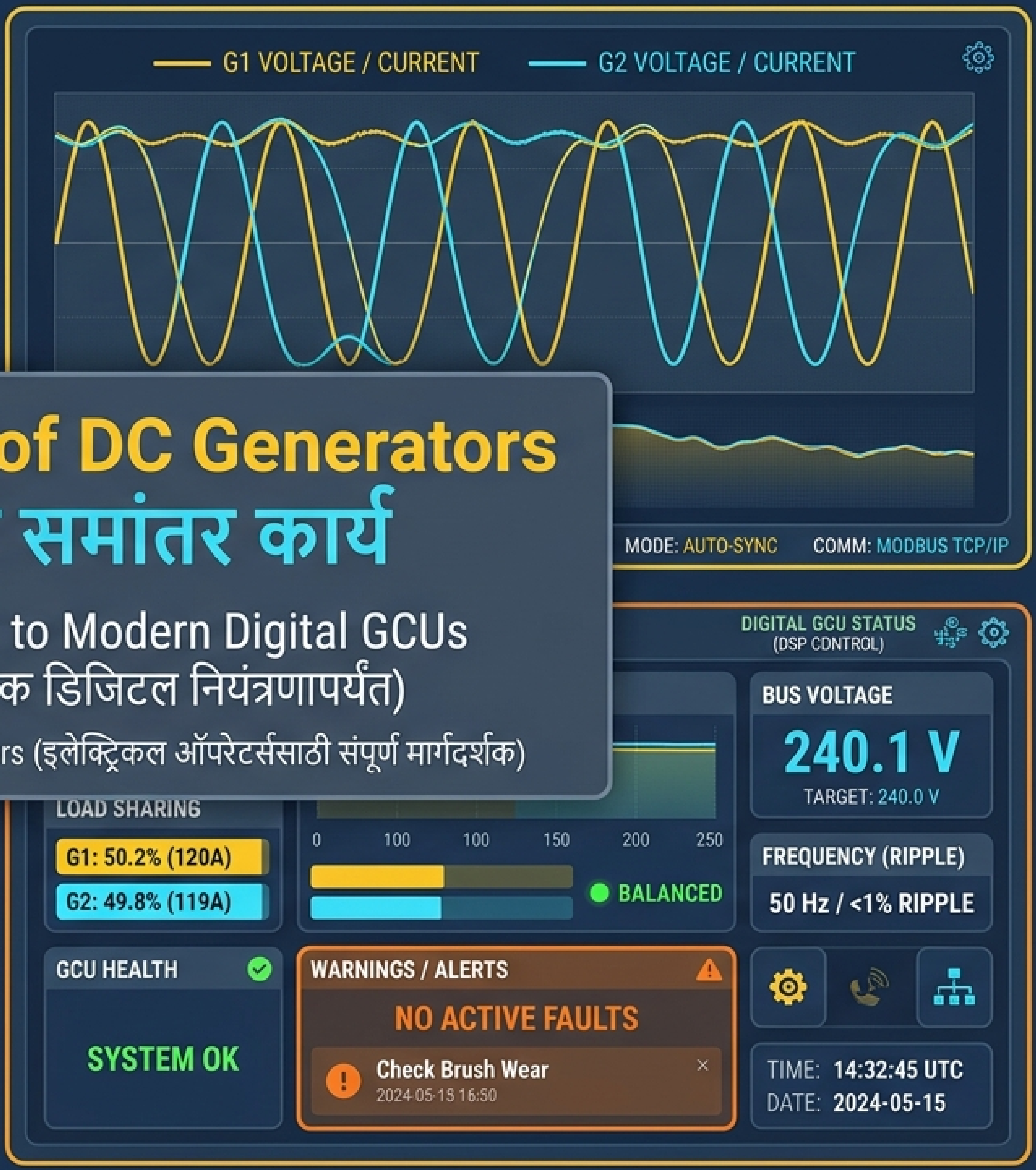
Parallel Operation of DC Generators
डीसी जनरेटरचे समांतर कार्य

From Fundamental Physics to Modern Digital GCUs
(मूलभूत सिद्धांतापासून आधुनिक डिजिटल नियंत्रणापर्यंत)

A Comprehensive Guide for Electrical Operators (इलेक्ट्रिकल ऑपरेटर्ससाठी संपूर्ण मार्गदर्शक)





Gemini Notebook

Learning Objectives / शिकण्याची उद्दिष्टे

१. अनेक लहान जनरेटर एकत्र जोडणे (Connecting multiple small generators together)

२. भार मागणीनुसार जनरेटर चालू/बंद करणे (Switching generators based on load demand)

३. समांतर जोडणीच्या अनिवार्य अटी समजून घेणे (Understanding mandatory paralleling conditions)

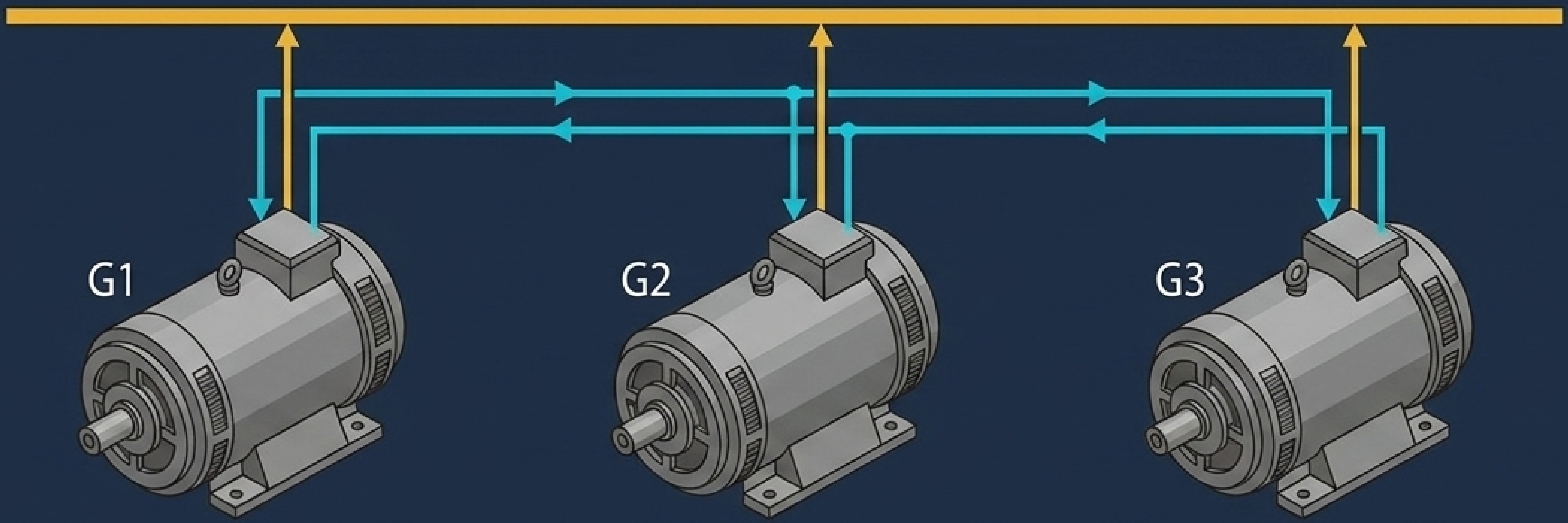
४. शंट, सिरीज आणि कंपाऊंड जनरेटरचे कार्य (Operation of Shunt, Series, and Compound generators)

५. डिजिटल कंट्रोल (GCU) प्रणालीचा अभ्यास (Study of digital control systems - GCU)

६. भार विभागणी आणि भार संतुलन ओळखणे (Differentiating load sharing and balancing)

Gemini Notebook

What is Parallel Operation? / समांतर जोडणी म्हणजे काय?



- एका मोठ्या जनरेटरऐवजी अनेक लहान जनरेटर वापरणे (Using multiple small generators instead of one large unit)
- सर्व जनरेटर एकाच मुख्य लाईनला जोडले जातात (All generators connect to a single main line)
- मागणीनुसार वीज निर्मिती नियंत्रित करता येते (Power generation can be controlled based on demand)

Gemini Notebook

Why Paralleling? 4 Key Advantages / समांतर कार्याची आवश्यकता आणि फायदे

सेवेची सातत्यता (Reliability):

एका जनरेटरमध्ये बिघाड झाल्यास संपूर्ण प्लांट बंद पडत नाही. (Prevents total blackout if one unit fails.)

कार्यक्षमता (Efficiency):

कमी भारावर फक्त आवश्यक जनरेटर चालवून इंधन आणि ऊर्जा वाचवणे.
(Saves fuel by running only required units at low load.)

देखभाल (Maintenance):

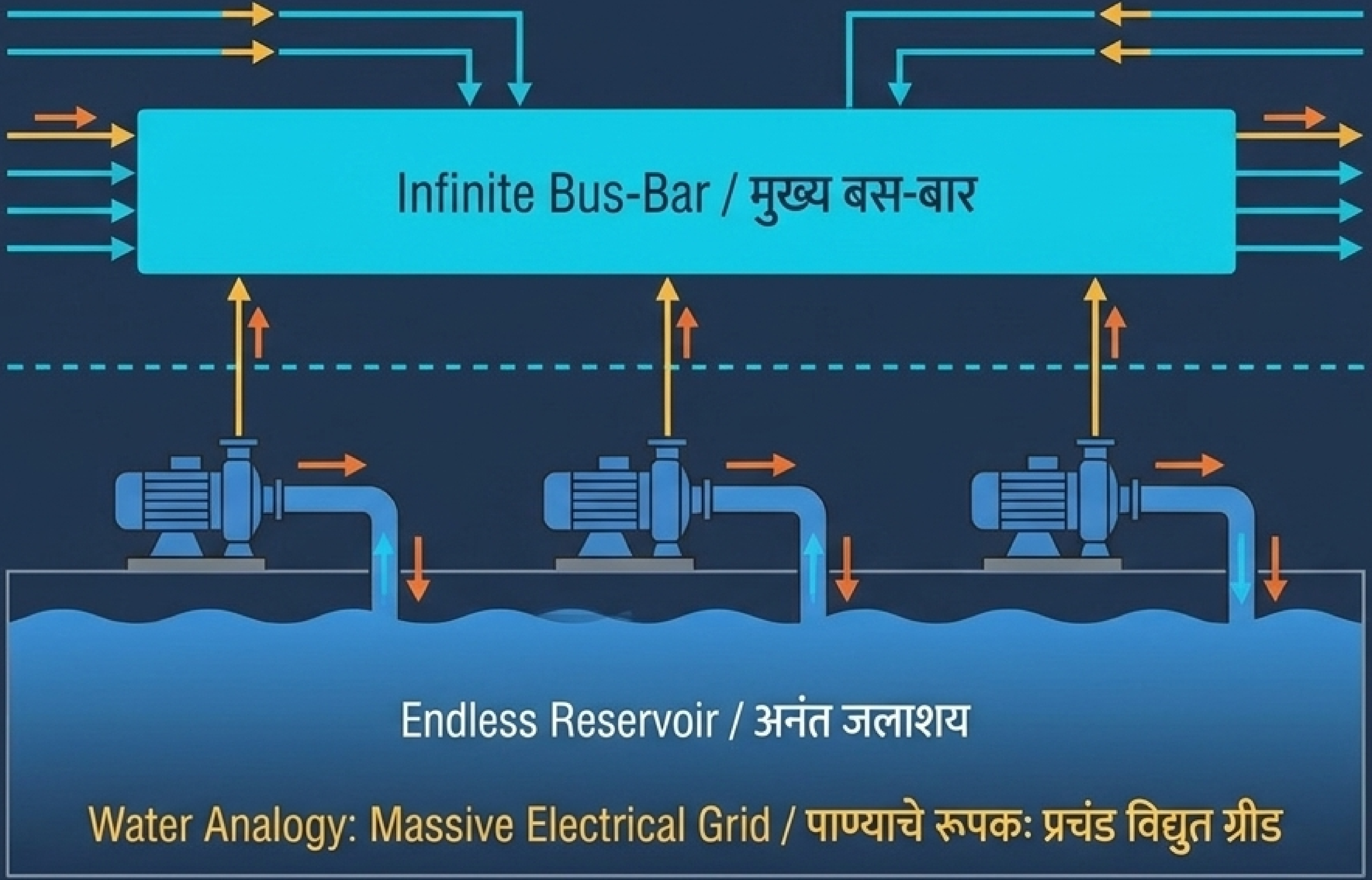
वीज पुरवठा न थांबवता कोणत्याही जनरेटरची दुरुस्ती करणे शक्य. (Allows repairs without interrupting power.)

क्षमता वाढवणे (Scalability):

भविष्यातील मागणीनुसार नवीन जनरेटर सहज जोडता येतो. (Easy to add new generators for future loads.)

Gemini Notebook

The Infinite Bus-Bar / इन्फिनिटी बस-बार संकल्पना



- बस-बार म्हणजे एक मोठा विद्युत साठा
  (Bus-bar acts as a massive electrical reservoir)
- यात नवीन जनरेटर जोडल्याने ग्रीडचे व्होल्टेज बदलत नाही
  (Connecting a new generator does not change grid voltage)

Gemini Notebook

Essential Conditions for Paralleling / समांतर जोडणीच्या अनिवार्य अटी

🔒 Security Gate

Checklist

अट १: समान ध्रुवता (Same Polarity)

पॉझिटिव्ह टर्मिनल पॉझिटिव्हला आणि निगेटिव्ह निगेटिव्हला जोडणे आवश्यक. (Positive to positive, negative to negative.)

अट २: समान टर्मिनल व्होल्टेज (Same Terminal Voltage)

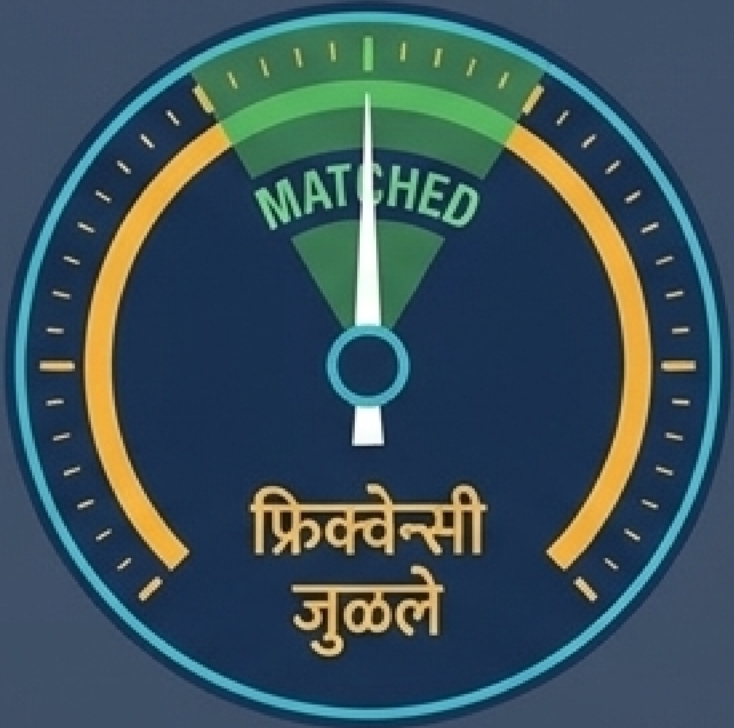
नवीन जनरेटरचे व्होल्टेज बस-बारच्या बरोबरीचे असावे. (Incoming voltage must equal bus-bar voltage.)

Gemini Notebook

The Synchronization Process / सिंक्रोनायझेशन प्रक्रिया

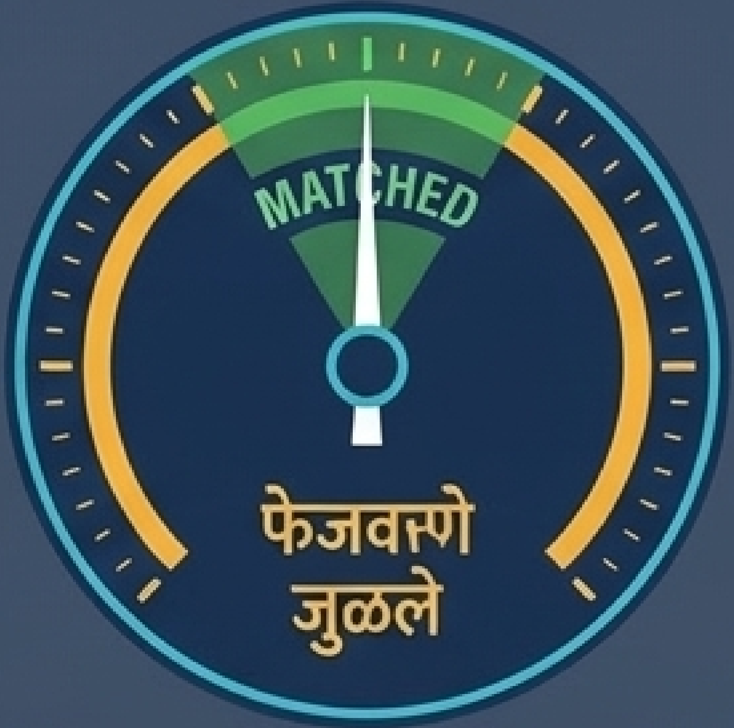
व्होल्टेज जुळवणे (Voltage Match)

बस-बारच्या व्होल्टेजशी अचूक जुळणी. (Adjusting excitation to match running bus voltage.)



फ्रिक्वेन्सी जुळवणे (Frequency Match)

नवीन जनरेटरचा वेग बस-बारच्या फ्रिक्वेन्सीशी जुळवणे. (Adjusting prime mover speed.)



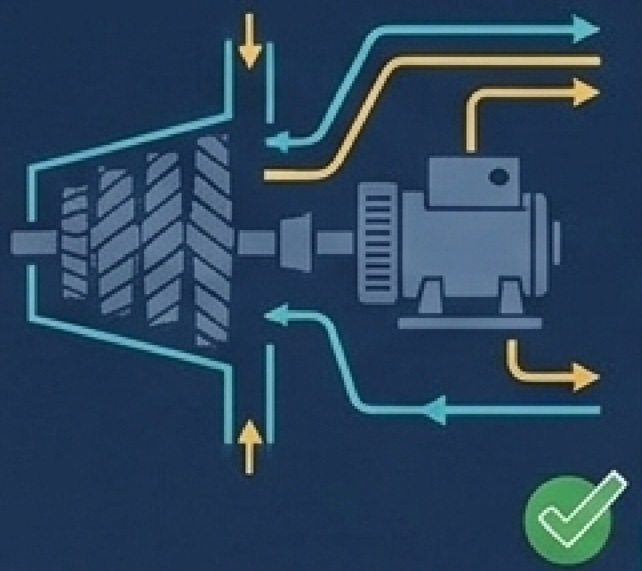
फेज जुळवणे (Phase Match)

दोन साईन वेव्हज एकाच वेळी शिखरावर येणे. (Aligning waveforms perfectly.)

Gemini Notebook

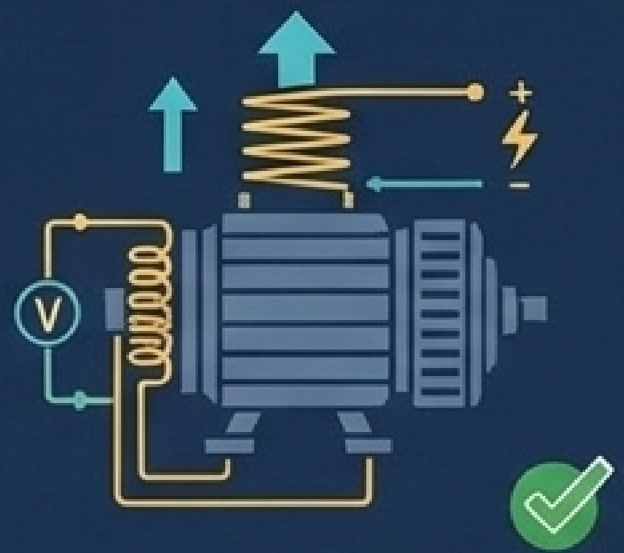
Step-by-Step Commissioning / टप्प्याटप्प्याने जोडणीची प्रक्रिया

१. सुरुवात (Start)



प्राईम मूव्हर चालू करून जनरेटरला निर्धारित वेगावर आणणे.
(Starting the prime mover to bring the generator to rated speed.)

२. एक्सायटेशन (Excitation)

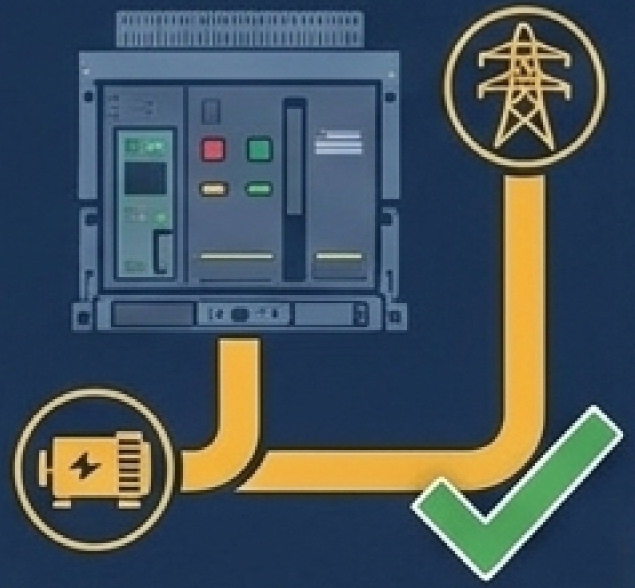


फील्ड करंट वाढवून व्होल्टेज बस-बार पेक्षा किंचित जास्त सेट करणे.
(Increasing field current to set voltage slightly higher than bus-bar.)

३. तपासणी (Verification)

व्होल्टमीटरवर ‘शून्य’ (Zero) रीडिंग आल्याची खात्री करणे.
(Ensuring a ‘Zero’ reading on the voltmeter.)

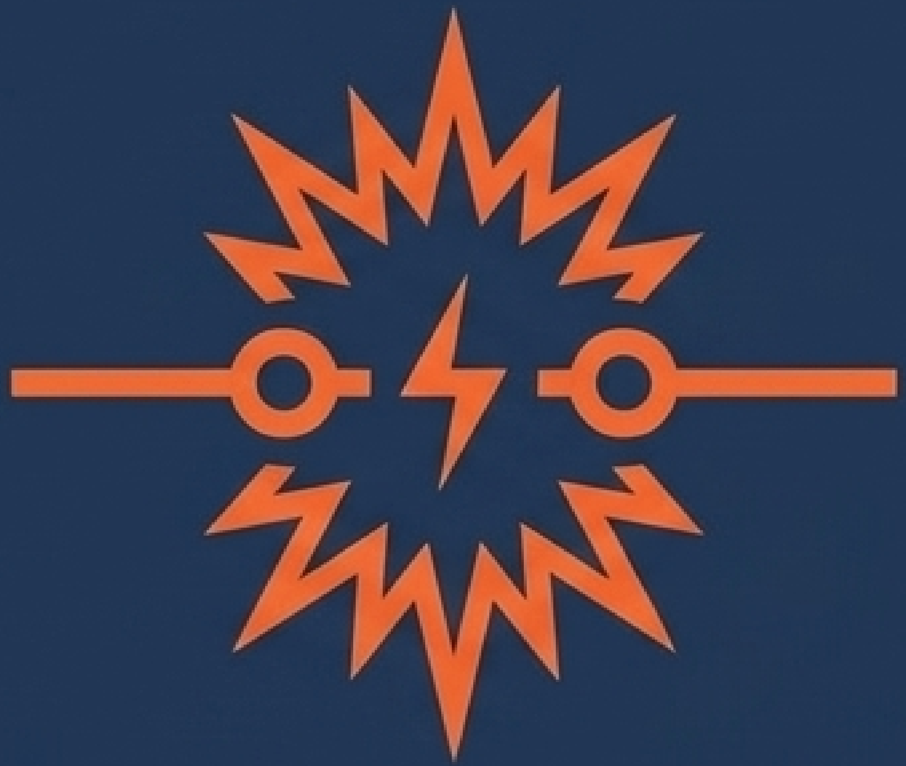
४. जोडणी (Connect)



सर्किट ब्रेकर बंद (Close) करून जनरेटर ग्रिडला जोडणे.
(Closing the circuit breaker to connect the generator to the grid.)

Gemini Notebook

Safety & Warnings / सुरक्षा आणि धोके

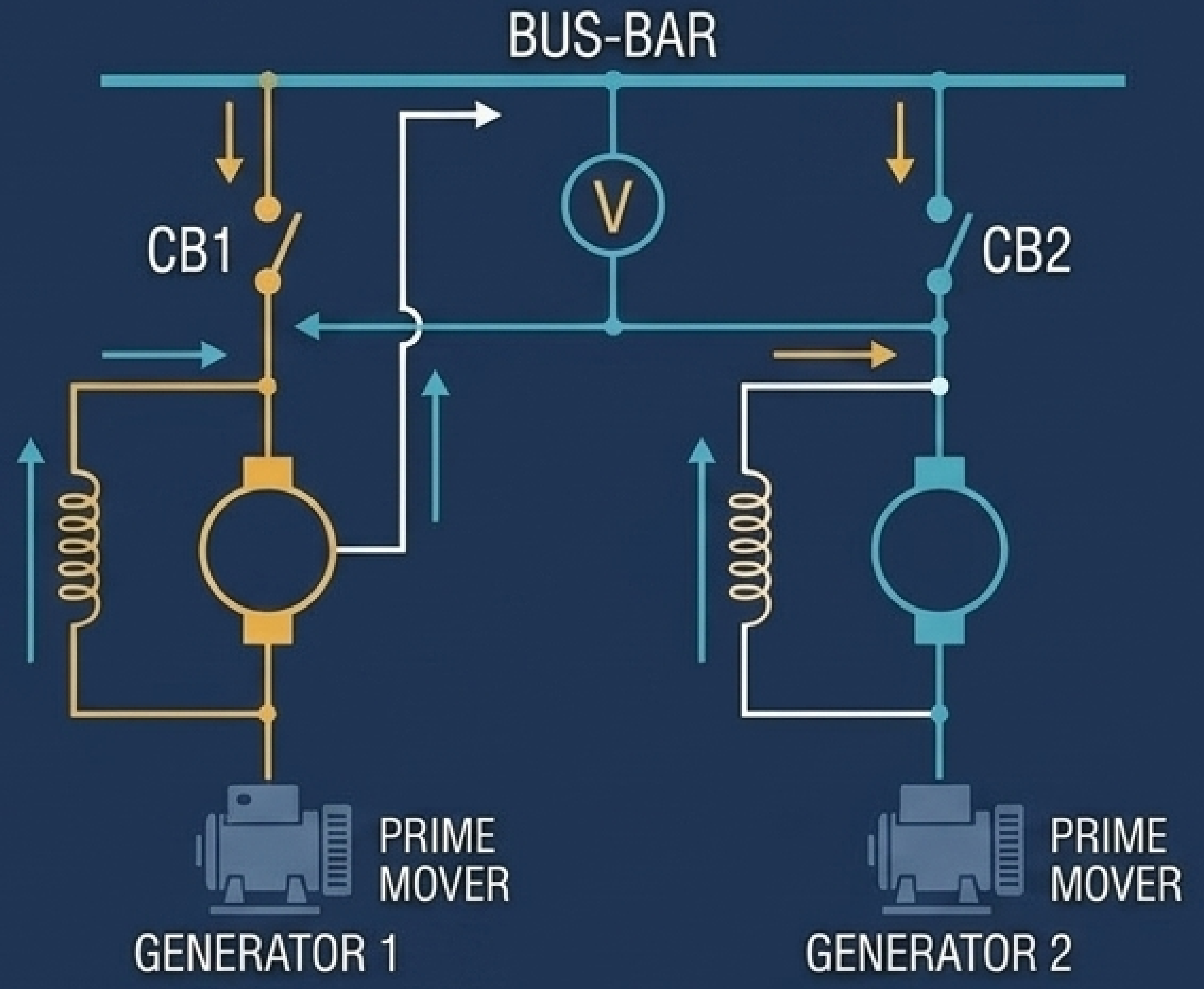


⚠ **धोका (Danger): ध्रुवता (Polarity) उलट असल्यास भीषण शॉर्ट सर्किट होते.** (Reversal causes a catastrophic short circuit.)

- **सर्किट ब्रेकर ट्रिप होतो आणि जनरेटर जळू शकतो.** (Breaker trips, generator may burn.)
- **कमी व्होल्टेज असल्यास जनरेटर 'मोटार' म्हणून फिरू लागतो.** (If incoming voltage is lower, it runs as a motor, drawing power.)
- **तपासणीसाठी मूव्हिंग-कॉइल व्होल्टमीटरचा वापर अनिवार्य आहे.** (Moving-coil voltmeter is mandatory for verification.)

Gemini Notebook

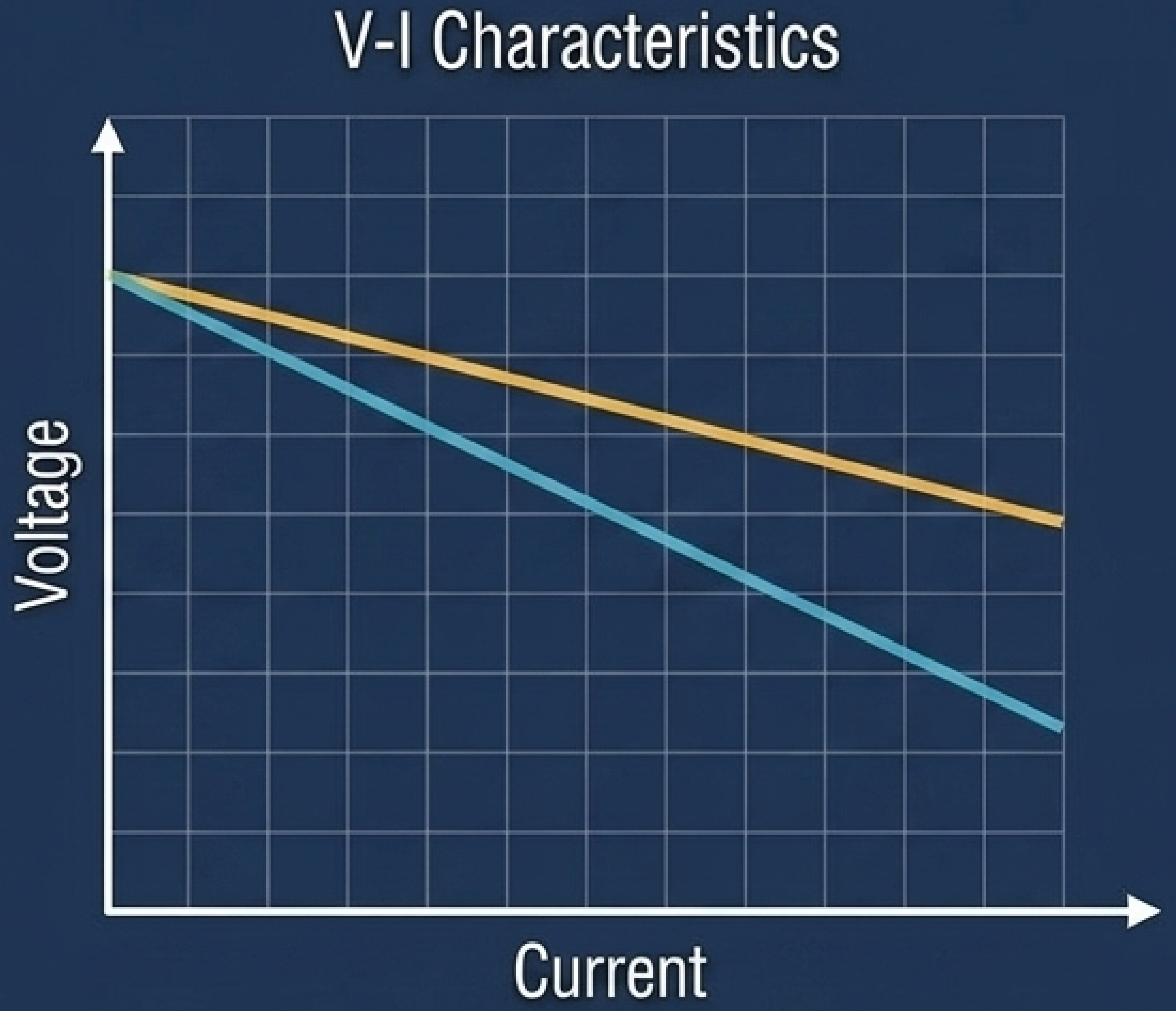
Paralleling Shunt Generators / शंट जनरेटरचे समांतर कार्य



- **शंट जनरेटर समांतर कार्या**साठी सर्वात योग्य असतात. (Most suitable for parallel operation.)
- समांतर जोडणीत हे जनरेटर अतिशय **स्थिर** (stable) काम करतात.
- **स्वयंचलित भार नियंत्रण** (Auto Load Control) शक्य होते.

Gemini Notebook

Load Sharing in Shunt Generators / शंट जनरेटरमधील भार विभागणी

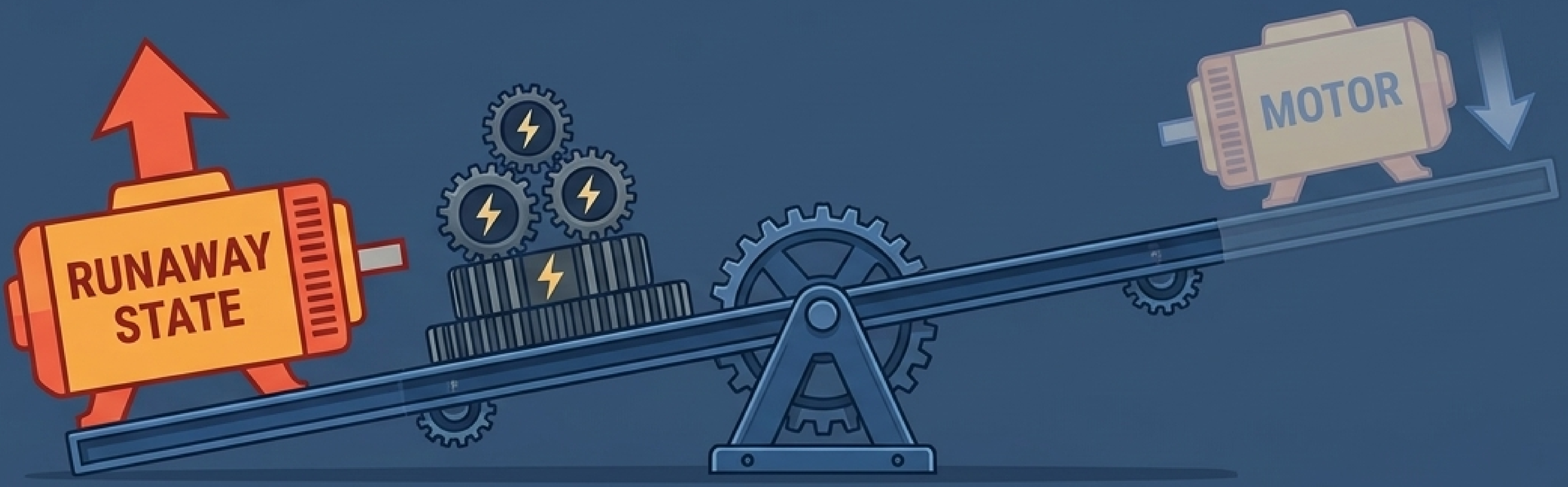


- **निसर्गतः स्थिर (Naturally Stable):** भार वाढल्यास व्होल्टेज किंचित कमी होते (Drooping characteristic).
- एका जनरेटरवर जास्त भार आल्यास त्याचे व्होल्टेज कमी होते, ज्यामुळे दुसरा जनरेटर भार उचलतो.
- **कमी व्होल्टेज ड्रॉप** असलेला जनरेटर जास्त भार घेतो. (Generator with less voltage drop carries more load.)

Gemini Notebook

Engineering Manual

The Series Generator Problem / सिरीज जनरेटरमधील अस्थिरता



- सिरीज जनरेटर समांतर जोडणीत निसर्गतः **अस्थिर (unstable)** असतात.
- **धोकादायक चक्र (Cumulative Effect):** एक जनरेटर थोडा जास्त करंट देतो.
- त्याचे सिरीज फील्ड अधिक मजबूत होते, परिणामी तो सर्व भार स्वतःकडे ओढतो.
- दुसरा जनरेटर **'मोटार'** म्हणून काम करू लागतो. (The other becomes a motor.)

Gemini Notebook

Engineering Manual

The Equalizer Bar Solution / इक्वलायझर बार: एक प्रभावी उपाय

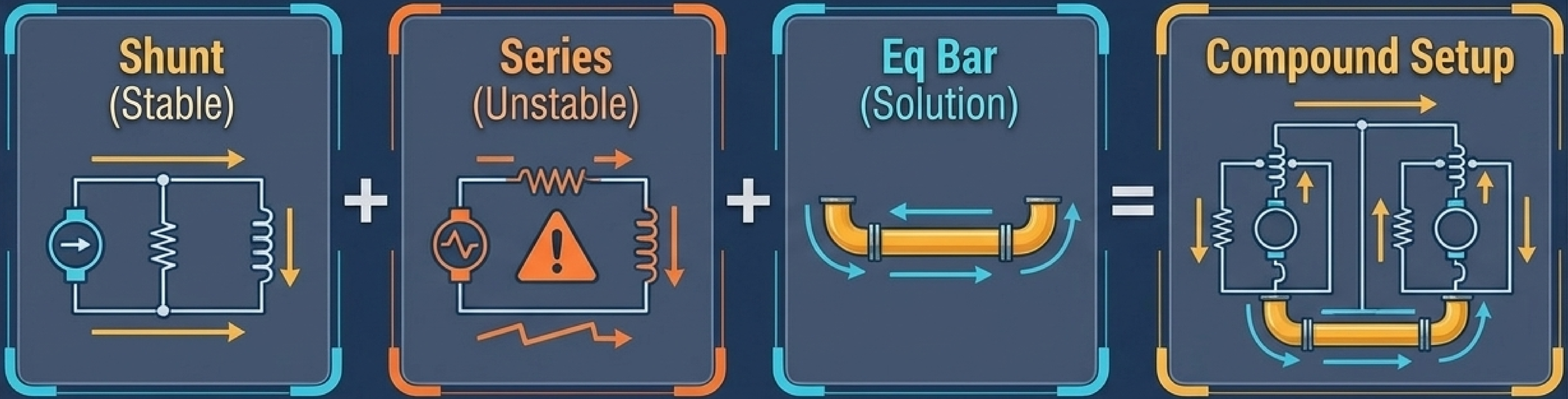
- **इक्वलायझर बार (Equalizer Bar):** सिरीज फील्ड वाइंडिंगच्या आर्मेचर टोकांना जोडणारा जाड तांब्याचा कंडक्टर.
- दोन्ही जनरेटरचे चुंबकीय **क्षेत्र (Magnetic Field)** समान राहते.

- **संतुलन (Balancing Act):** जास्त करंट तयार करणारा जनरेटर त्याचा अतिरिक्त करंट इक्वलायझर बारमधून दुसऱ्या जनरेटरकडे पाठवतो.
- **शॉर्ट सर्किट** आणि **मोटरिंग इफेक्ट** टळतो.

Gemini Notebook

Engineering Manual

Paralleling Compound Generators / कम्पाउंड जनरेटरचे समांतर कार्य



- कम्पाउंड जनरेटरमध्ये **शंट आणि सिरीज** दोन्ही फील्ड असतात. (Contains both shunt and series fields.)
- सिरीज फील्डच्या अस्थिरतेमुळे येथेही **इक्वलायझर बार अनिवार्य** आहे. (Equalizer bar is mandatory.)
- **समान व्होल्टेज रेग्युलेशन (Similar Regulation):** सुरळीत कार्यासाठी सर्व जनरेटरचे व्होल्टेज रेग्युलेशन समान असावे.

Gemini Notebook

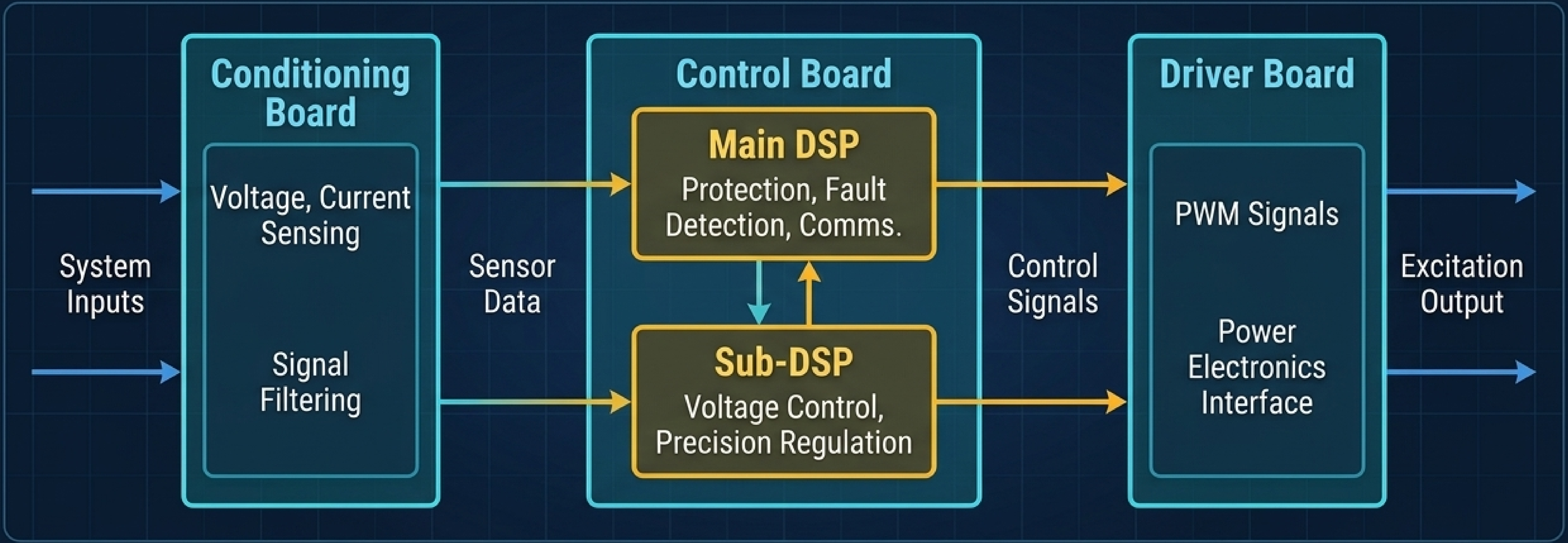
Engineering Manual

Load Sharing vs. Load Balancing / भार विभागणी विरुद्ध भार संतुलन

Feature (वैशिष्ट्य)	Load Sharing (भार विभागणी)	Load Balancing (भार संतुलन)
संकल्पना (Concept)	क्षमतेनुसार प्रमाणात विभागणी (Proportional to capacity)	सर्व जनरेटरवर समान भार (Equal uniform distribution)
उद्दिष्ट (Objective)	ओव्हरलोडिंग टाळणे (Prevent overloading)	कार्यक्षमता वाढवणे आणि झीज कमी करणे (Optimize efficiency, reduce wear)
पॅरामीटर्स (Parameters)	kW, kVAR, व्होल्टेज (kW, kVAR, voltage)	रनटाइम, लोड टक्केवारी (Runtime hours, load %)
अंमलबजावणी (Control)	ड्रूप कंट्रोल (Droop Control)	मायक्रोप्रोसेसर कंट्रोल (Microprocessor rotation)

Gemini Notebook

Modern Digital Control: GCU / डिजिटल जनरेटर कंट्रोल युनिट

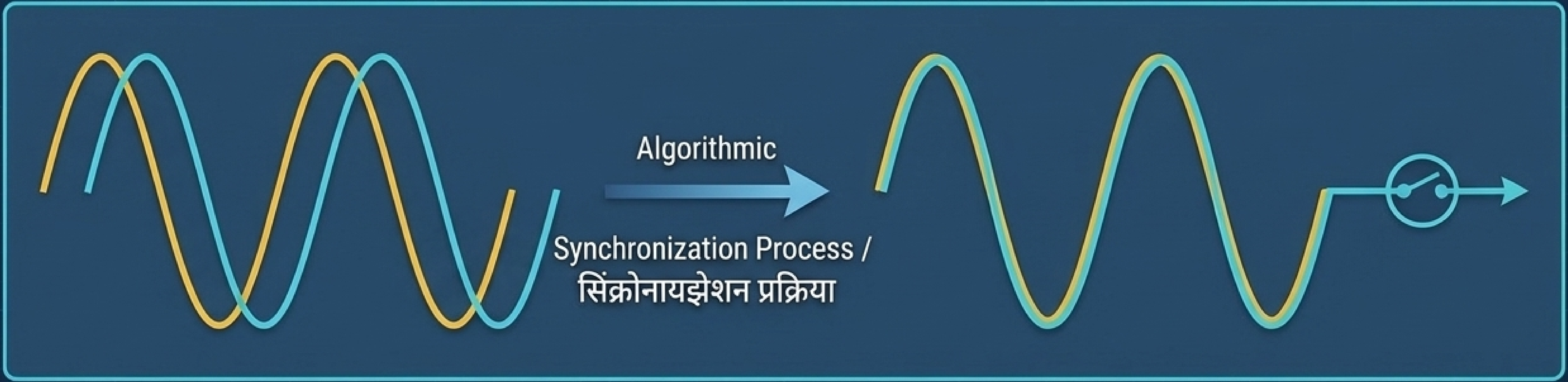


- आधुनिक विमानांमध्ये (उदा. MEA) व्हेरिएबल फ्रिक्वेन्सी (360–800 Hz) प्रणाली वापरली जाते.
- दुहेरी डीएसपी रचना (Dual DSP Structure):
- मेन डीएसपी (Main DSP): संरक्षण, दोष शोधणे आणि दळणवळण व्यवस्थापन.
- सब-डीएसपी (Sub-DSP): व्होल्टेज नियंत्रण आणि अचूक नियमन.

Gemini Notebook

Engineering Manual

Algorithmic Pre-Synchronization / डिजिटल प्री-सिंक्रोनायझेशन



- **फेज अँगल जंप टाळणे (Avoiding Phase Angle Jumps):** चुकीच्या वेळी ब्रेकर बंद केल्यास मेकॅनिकल शॉक बसतो.
- **डिजिटल प्रणाली** व्होल्टेज आणि फेज मधील फरक सतत मोजते.
- अचूक अलाईन्मेंट झाल्यावरच अलगद (Smooth) कट-इन केले जाते.
- **पीआय कंट्रोलर (PI Controller)** फ्रिक्वेन्सीनुसार स्वयंचलितपणे बदलतो.

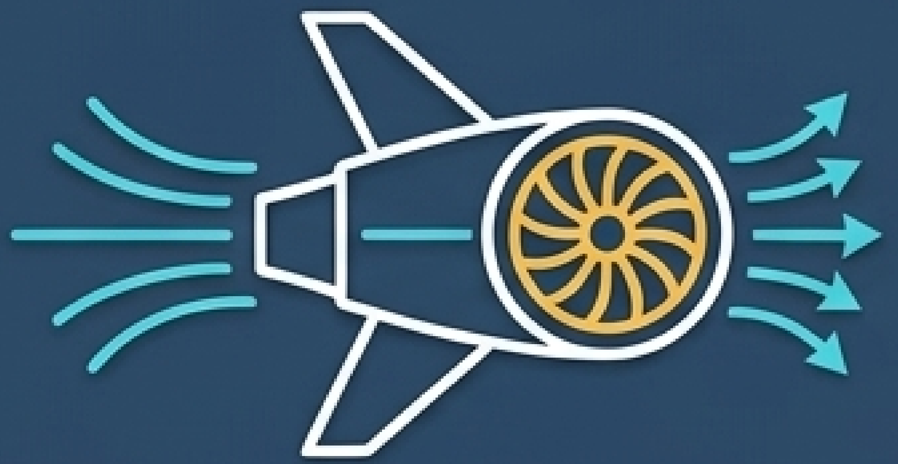
Gemini Notebook

Engineering Manual

High-Stakes Industry Applications / औद्योगिक उपयोग

डेटा सेंटर्स (Data Centers)

- शंभर टक्के अखंडित वीज. अनेक जनरेटर ‘लोड शेअरिंग’ द्वारे सर्व्हरला सुरक्षित ठेवतात.



आधुनिक विमाने (MEA)

- व्हेरिएबल फ्रिक्वेन्सी पॉवर सिस्टीम. वजन कमी आणि कार्यक्षमता जास्त.

सागरी जहाजे (Marine)

- मर्यादित जागेत (Space constraints) अनेक छोटे जनरेटर वापरणे सोयीचे.

Gemini Notebook

Engineering Manual

Summary / सारांश

नियम (Rules)

समान ध्रुवता, समान व्होल्टेज
(Polarity & Voltage)

प्रकार (Types)

- शंट = स्थिर (Stable)
- सिरीज = इक्वलायझर बार (Eq Bar)

नियंत्रण (Control)

डिजिटल GCU आणि लोड शेअरिंग
(Load Sharing)

Gemini Notebook

Engineering Manual

Knowledge Check / सराव प्रश्न

१. दोन जनरेटर समांतर जोडताना ध्रुवता (Polarity) उलट असल्यास काय होईल?

२. शंट जनरेटर समांतर कार्यासाठी का योग्य मानले जातात?

३. इक्वलायझर बारची मुख्य भूमिका काय आहे?

४. भार विभागणी आणि भार संतुलन यात मुख्य फरक काय?

Gemini Notebook