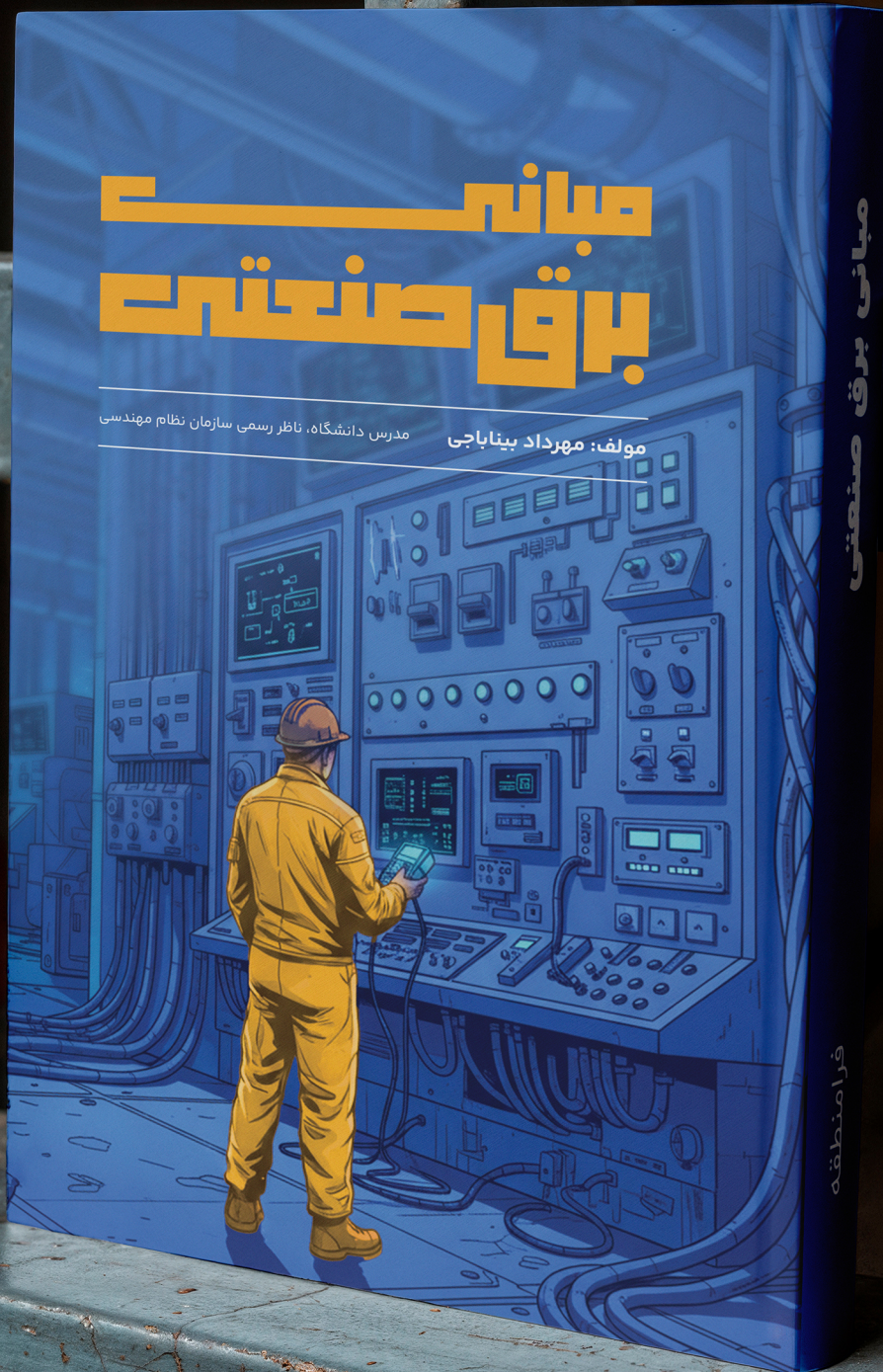


مبانی برق صنعتی

مدرس دانشگاه، ناظر رسمی سازمان نظام مهندسی

مؤلف: مهرداد بیناباجی



مبانی برق صنعتی

فرمانطقه

فهرست مطالب (Table of Contents)

۱۳	پیشگفتار
۱۵	مقدمه
۱۷	فصل اول: مبانی و مقدمات (Fundamentals and Basics)
۱۷	خلاصه زندگی نامه نیکولا تسلا (Nikola Tesla - Biography)
۲۰	تفاوت برق ساختمان و برق صنعتی (Residential vs. Industrial Electrical Systems)
۲۲	ولتاژ چیست؟ (Voltage)
۲۵	جریان چیست؟ (Electric Current)
۲۷	آشنایی با مقاومت، سلف و خازن (Resistor, Inductor and Capacitor)
۲۸	کاربرد صنعتی مقاومت، سلف و خازن (Industrial Applications of R, L, C)
۲۹	نیروی الکترواستاتیکی (Electrostatic Force) F
۳۰	بار الکتریکی (Electric Charge)
۳۳	فصل دوم: روش های تولید الکتریسیته (Methods of Electricity Generation)
۳۳	خلاصه زندگی نامه توماس ادیسون (Thomas Edison - Biography)
۳۶	انواع روش های تولید الکتریسیته (Electric Power Generation Methods)
۳۶	اثر تریبو الکتریک (Triboelectric Effect)
۳۸	اثر پیزو الکتریک (Piezoelectric Effect)
۴۱	اثر فوتو الکتریک (Photoelectric Effect)
۴۲	تولید الکتریسیته الکتروشیمیایی (Electrochemical Generation)
۴۳	تولید الکتریسیته الکترومغناطیسی (Electromagnetic Induction)

۴۶	فصل سوم: قانون اهم و عناصر مدار (Ohm's Law and Circuit Elements)
۴۶	خلاصه زندگی نامه مایکل فاراده (Michael Faraday – Biography)
۴۸	قانون اهم (Ohm's Law)
۴۹	توان و انرژی الکتریکی (Electrical Power and Energy)
۵۲	مقاومت الکتریکی (Electrical Resistance)
۵۴	انواع مقاومت الکتریکی (Types of Resistors)
۵۴	مقاومت الکتریکی ثابت (Fixed Resistor)
۵۶	رنگ‌بندی مقاومت‌های ثابت (Resistor Color Code)
۵۸	مقاومت الکتریکی متغیر (Variable Resistor)
۶۱	اثر دما بر مقاومت الکتریکی (Temperature Effect on Resistance)
۶۳	اتصال سری و موازی مقاومت‌ها (Series and Parallel Resistors)
۶۶	اتصال ستاره و مثلث مقاومت‌ها (Star and Delta Connections)
۶۸	خازن و ضوابط حاکم بر آن (Capacitor Fundamentals)
۷۰	اتصال سری و موازی خازن‌ها (Series and Parallel Capacitors)
۷۲	انرژی ذخیره‌شده در خازن (Energy Stored in Capacitor)
۷۴	سلف (القاگر) و روابط حاکم بر آن (Inductor and Governing Relations)
۷۴	اندوکتانس (Inductance)
۷۵	ولتاژ القایی در سلف (Induced Voltage)
۷۷	شار مغناطیسی (Magnetic Flux)
۷۸	شدت میدان مغناطیسی (Magnetic Field Intensity)
۷۸	نیروی محرکه مغناطیسی MMF (Magnetomotive Force)
۸۲	رلوکتانس مغناطیسی (Magnetic Reluctance)
۸۵	انرژی ذخیره‌شده در سلف (Energy Stored in Inductor)
۸۶	اتصال سلف‌ها (Inductor Connections)
۸۷	فصل چهارم: منابع و مدارهای AC (DC and AC Sources and Circuits)
۸۷	خلاصه زندگی نامه جیمز کلرک ماکسول (James Clerk Maxwell – Biography)
۸۹	منابع ولتاژ و جریان (Voltage and Current Sources)
۹۰	اتصالات منابع ولتاژ (Voltage Source Connections)

۹۱	اتصال سری و موازی باتری‌ها (Series and Parallel Batteries)
۹۲	ظرفیت و آمپر ساعت باتری‌ها (Battery Capacity - Ah)
۹۵	جریان مستقیم و متناوب (DC / AC (Direct and Alternating Current)
۹۶	رفتار مقاومت، سلف و خازن در DC (RLC Behavior in DC)
۱۰۲	امپدانس (Impedance)
۱۰۴	ادمیتانس، سوسپتانس و کنداکتانس (Admittance, Susceptance, Conductance)
۱۰۶	فصل پنجم: ایمنی و خطرات جریان برق (Electrical Safety and Hazards)
۱۰۶	خلاصه زندگی‌نامه آندره ماری آمپر (André Marie Ampère - Biography)
۱۰۸	جریان و ولتاژ خطرناک برای انسان (Dangerous Current and Voltage Levels)
۱۰۹	مقایسه تأثیرات مخرب جریان برق (Effects of Electric Shock)
۱۰۹	تأثیر عبور جریان بر بافت عصبی و قلب (Physiological Effects of Current)
۱۱۱	اثر زمان در آسیب برق‌گرفتگی (Time Factor in Electric Shock)
۱۱۱	مسیر عبور جریان از بدن انسان (Current Path Through Human Body)
۱۱۲	فصل ششم: سیستم‌های تک‌فاز و سه‌فاز (Single Phase and Three Phase Systems)
۱۱۲	خلاصه زندگی‌نامه آلساندرو ولتا (Alessandro Volta - Biography)
۱۱۴	مقدمه‌ای بر سیستم‌های تک‌فاز و سه‌فاز (Introduction to Phase Systems)
۱۱۴	سیستم تک‌فاز (Single Phase System)
۱۱۴	سیستم سه‌فاز (Three Phase System)
۱۱۵	چرا سیستم سه‌فاز؟ (Why Three Phase Systems)
۱۱۶	ولتاژ متناوب (Alternating Voltage)
۱۱۶	جریان متناوب (Alternating Current)
۱۱۶	توان متناوب (AC Power)
۱۱۶	راکتانس سلفی (Inductive Reactance)
۱۱۶	فرکانس (Frequency)
۱۱۷	دوره تناوب (Time Period)
۱۱۷	شکل‌های مختلف توان (Types of Electrical Power)
۱۱۹	توان اکتیو (Active Power)
۱۱۹	توان راکتیو (Reactive Power)

۱۱۹	ضریب توان (Power Factor)
۱۲۱	توان ظاهری (Apparent Power)
۱۲۲	روابط توان در سیستم تک فاز (Power Relations in Single Phase Systems)
۱۲۳	اختلاف فاز در مدارهای الکتریکی (Phase Difference)
۱۲۵	رفتار RLC در مدارهای AC (RLC Behavior in AC Circuit)
۱۲۸	فصل هفتم: ولتاژ مؤثر (RMS (Root Mean Square Voltage)
۱۲۸	خلاصه زندگی نامه سر آیزاک نیوتن (Sir Isaac Newton – Biography)
۱۳۰	تفاوت kW و kVA (Difference Between kW and kVA)
۱۳۲	ولتاژ لحظه‌ای، متوسط و مؤثر (Instantaneous, Average and RMS Voltage)
۱۳۸	ولتاژ پالسی (Pulsed Voltage)
۱۴۲	محاسبه ولتاژ مؤثر به روش گرافیکی (Graphical RMS Calculation)
۱۴۴	محاسبه تحلیلی ولتاژ (Analytical RMS Calculation)
۱۴۵	جمع جریان‌های مؤثر در حالت‌های مختلف (RMS Current Summation)
۱۴۶	جریان‌های هارمونیک با فرکانس متفاوت (Harmonic Currents)
۱۴۷	فصل هشتم: مبانی سیستم سه فاز (Three Phase System Fundamentals)
۱۴۷	خلاصه زندگی نامه الکساندر گراهام بل (Alexander Graham Bell – Biography)
۱۴۹	تولید ولتاژ سه فاز (Three Phase Voltage Generation)
۱۵۱	اتصالات اساسی مدار سه فاز (Basic Three Phase Connections)
۱۵۲	محاسبه جریان فاز و نول (Phase and Neutral Current Calculation)
۱۵۳	ساختار ولتاژ سه فاز (Three Phase Voltage Structure)
۱۵۳	مزایای سیستم سه فاز نسبت به تک فاز (Advantages of Three Phase Systems)
۱۵۴	توان در سیستم سه فاز (Power in Three Phase Systems)
۱۵۴	سیستم سه فاز متعادل و نامتعادل (Balanced and Unbalanced Systems)
۱۵۷	فصل نهم: توان و انتقال انرژی الکتریکی (Power and Energy Transmission)
۱۵۷	خلاصه زندگی نامه جورج وستینگهاوس (George Westinghouse – Biography)
۱۵۹	انتقال توان از نیروگاه تا مصرف کننده (Power Transmission)
۱۶۲	هدف از تغییر ولتاژ در انتقال نیرو (Voltage Transformation Purpose)
۱۶۳	تولید برق در نیروگاه (Power Generation)

۱۶۴	خطوط انتقال فشار قوی (High Voltage Transmission Lines)
۱۶۴	پست‌های انتقال (Transmission Substations)
۱۶۵	خطوط توزیع فشار متوسط (Medium Voltage Distribution Lines)
۱۶۵	پست‌های توزیع (Distribution Substations)
۱۶۵	مصرف‌کننده نهایی (End Consumer)
۱۶۶	حداکثر مسافت خطوط برق (Maximum Transmission Distance)
۱۶۶	محاسبه مصرف انرژی الکتریکی (Energy Consumption Calculation)
۱۶۸	فصل دهم: ترانسفورماتور (Transformer)
۱۶۸	خلاصه زندگی‌نامه توماس یانگ (Thomas Young - Biography)
۱۷۰	ترانسفورماتور در سیستم‌های قدرت (Transformers in Power Systems)
۱۷۱	انواع ترانسفورماتور (Types of Transformers)
۱۷۳	اجزای اصلی ترانسفورماتور (Main Components)
۱۷۳	ساختمان ترانسفورماتور (Transformer Construction)
۱۷۷	سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور (Transformer Windings)
۱۸۰	تلفات ترانسفورماتور (Transformer Losses)
۱۸۳	مدار معادل ترانسفورماتور (Equivalent Circuit)
۱۸۵	اتصالات سیم‌پیچ‌ها (Winding Connections)
۱۹۱	فصل یازدهم: خازن در صنعت (Capacitors in Industry)
۱۹۱	خلاصه زندگی‌نامه آلبرت انیشتین (Albert Einstein - Biography)
۱۹۴	اهمیت خازن در صنعت (Importance of Capacitors)
۱۹۵	ساختار فیزیکی خازن (Physical Structure of Capacitors)
۱۹۶	ظرفیت خازن (Capacitance)
۱۹۷	راکتانس و امپدانس خازن (Capacitive Reactance and Impedance)
۱۹۸	خازن راه‌انداز موتور تک‌فاز (Starting Capacitor)
۱۹۹	محاسبه ظرفیت خازن راه‌انداز (Starting Capacitor Calculation)
۲۰۱	خازن دائم‌کار (Run Capacitor)
۲۰۱	محاسبه ظرفیت خازن دائم‌کار (Run Capacitor Calculation)
۲۰۸	خازن قدرت (Power Capacitor)

۲۰۸	بانک خازنی و اجزای آن (Capacitor Bank)
۲۰۹	اتصال ستاره و مثلث خازن سه فاز (Star and Delta Capacitor Connection)
۲۱۰	محاسبه توان و ظرفیت خازن راکتیو (Reactive Power and Capacitance Calculation)
۲۱۴	فصل دوازدهم: هارمونیک‌ها (Harmonics)
۲۱۴	خلاصه زندگی‌نامه جوزف هنری (Joseph Henry – Biography)
۲۱۶	هارمونیک چیست؟ (Harmonics Definition)
۲۱۸	هارمونیک‌ها در صنعت (Industrial Harmonics)
۲۲۱	شکل موج هارمونیکی (Harmonic Waveform)
۲۲۲	اعوجاج هارمونیکی کل THD (Total Harmonic Distortion)
۲۲۵	حدود مجاز هارمونیک‌ها بر اساس IEEE 519 (IEEE 519 Harmonic Limits)
۲۲۷	روش‌های کاهش هارمونیک (Harmonic Mitigation Methods)
۲۲۸	تفاوت ضریب توان $\cos(\phi)$ و $\cos(\phi)$ vs Power Factor
۲۳۲	تأثیر هارمونیک‌ها بر تجهیزات (Effects of Harmonics)
۲۳۶	فصل سیزدهم: کابل‌شناسی (Cable Engineering)
۲۳۹	اهمیت علائم و مشخصات کابل‌ها (Cable Markings)
۲۴۱	انواع کابل در صنعت (Industrial Cables)
۲۴۲	طبقه‌بندی کابل از نظر هادی (Conductor Classification)
۲۵۴	محاسبه سطح مقطع کابل (Cable Cross Section Calculation)
۲۵۷	پیوست اول: مدارهای برق صنعتی (Industrial Electrical Circuits)
	مدار ۱. مدار راه‌اندازی لحظه‌ای الکتروموتور سه فاز با کنترل از یک محل (Momentary Start of Three-Phase)
۲۵۷	(Motor – Single Control Point)
	مدار ۲. مدار راه‌اندازی لحظه‌ای الکتروموتور سه فاز با استارت هم‌زمان از دو محل (Momentary Start of Three-Phase)
۲۵۸	(Phase Motor – Dual Control Stations)
	مدار ۳. مدار راه‌اندازی دائم الکتروموتور سه فاز با کنترل از یک محل (Continuous Operation of Three-Phase)
۲۶۰	(Motor – Single Control Point)
	مدار ۴. مدار راه‌اندازی دائم الکتروموتور سه فاز با کنترل از دو محل (Continuous Operation of Three-Phase)
۲۶۲	(Motor – Dual Control Stations)
	مدار ۵. مدار راه‌اندازی الکتروموتور سه فاز به صورت موقت و دائم (Temporary and Continuous Operation of)
۲۶۳	(Three-Phase Motor)

مدار ۶. مدار راه‌اندازی الکتروموتور سه‌فاز چپ‌گرد-راست‌گرد با وقفه (کند) و حفاظت کامل (Forward-Reverse)

۲۶۵ (Three-Phase Motor with Time Delay and Full Protection)

مدار ۷. مدار راه‌اندازی الکتروموتور سه‌فاز چپ‌گرد-راست‌گرد سریع با حفاظت کامل (Fast Forward-Reverse)

۲۶۷ (Three-Phase Motor with Full Protection)

مدار ۸. مدار راه‌اندازی دو الکتروموتور سه‌فاز به‌صورت متوالی (یکی پس از دیگری) (Sequential Starting of Two)

۲۷۰ (Three-Phase Motors)

مدار ۹. مدار راه‌اندازی دو الکتروموتور سه‌فاز به‌صورت جایگزین (یکی به‌جای دیگری) (Alternate Operation of)

۲۷۱ (Two Three-Phase Motors)

مدار ۱۰. مدار راه‌اندازی موتور سه‌فاز به‌صورت ستاره-مثلث با تایمر (Star-Delta Starter with Timer)

۲۷۵ (Load Protection)

مدار ۱۱. بررسی مدار حفاظت مصرف‌کننده‌ها در برابر قطع و وصل برق با وصل تأخیری (Circuit with Time Delay Reconnection)

۲۷۸ (Automatic Sequential)

مدار ۱۲. بررسی مدار راه‌اندازی دو الکتروموتور سه‌فاز به‌صورت متوالی - اتوماتیک (Automatic Sequential)

۲۸۰ (Control of Two Three-Phase Motors)

مدار ۱۳. بررسی مدار راه‌اندازی دو الکتروموتور سه‌فاز به‌صورت جایگزین - اتوماتیک (Automatic Alternate)

۲۸۱ (Control of Two Three-Phase Motors)

۲۸۳ مدار ۱۴

۲۸۵ مدار ۱۵

۲۸۷ پیوست دوم: جداول و مراجع (Tables and References)

۲۸۷ جدول علائم استاندارد الکتریکی (Electrical Symbols)

۲۹۰ جداول تبدیل واحدها (Unit Conversion Tables)

۲۹۲ حروف یونانی (Greek Symbols)

۲۹۳ اصطلاحات تخصصی برق (Electrical Terminology)

۳۰۱ منابع و مراجع (References)

پیشگفتار

برق صنعتی تنها یک شاخه از مهندسی برق نیست؛ مسیری پر از تجربه، یادگیری و تلاش است که سال‌ها همراه من بوده و هر روز افق تازه‌ای پیش رویم گشوده. گستردگی این حوزه و نقش پررنگ آن در پیشرفت صنعت و اقتصاد کشور، انگیزه‌ای شد تا این کتاب شکل بگیرد، کتابی که هدفش تنها بیان مباحث نظری نیست، بلکه می‌خواهد پلی میان دانش دانشگاهی و واقعیت‌های صنعت بسازد. در نگارش این مجموعه، تلاش کردم مفاهیم پایه‌ای و علمی را با تجربه‌های میدانی درآمیزم، چراکه باور دارم مبانی برق صنعتی را نمی‌توان تنها در جزوه‌ها و کلاس‌ها آموخت. این دانش زمانی معنا پیدا می‌کند که در میدان کار لمس شود، با چالش‌ها روبه‌رو گردد و از دل آزمون و خطا به دست آید. بسیاری از دانشجویان پس از ورود به صنعت با پرسش‌هایی مواجه می‌شوند که پاسخ آنها در کتاب‌های درسی کمتر یافت می‌شود. همین خلأ انگیزه‌ای شد تا بخشی از آموخته‌ها و تجربه‌هایم را با شما به اشتراک بگذارم. در این مسیر، مجموعه فرامنطقه تنها یک حامی نبود، بلکه با همفکری، تخصص و تجربه کارشناسان خود، به غنای علمی و عملی کتاب افزود و سبب شد محتوای آن بیش‌ازپیش با نیازهای واقعی صنعت هماهنگ گردد. همراهی این مجموعه، این اثر را از یک متن صرفاً آموزشی به منبعی کاربردی‌تر و نزدیک‌تر به فضای صنعت تبدیل کرد.

امیدوارم این کتاب برای شما چراغی روشن در مسیر یادگیری باشد، راهنمایی که هم در دوران دانشجویی همراهتان بماند و هم هنگام ورود به محیط‌های صنعتی دستتان را بگیرد. باور دارم آینده صنعت برق کشور در گرو دانش، پشتکار و خلاقیت شماست. اگر این نوشته بتواند حتی اندکی از مسیر پریپیچ‌وخم پیش رو را روشن‌تر کند، رسالت خود را انجام داده‌ام و سهم کوچکی در ساختن آینده‌ای بهتر برای صنعت برق ایران داشته‌ام.

با احترام

با سپاس از حمایت و همراهی مجموعه فرامنطقه مهرداد بیناباجی

گر در طلب لقمه نانی، نانی / گر در طلب گوهر کانی، کانی

این نکته رمز اگر بدانی، دانی / هر چیز که اندر پی آنی، آنی

مقدمه

در سیستم‌های الکتریکی قبل از نصب و راه‌اندازی، عیب‌یابی، تعمیر و نگهداری و به‌طور کلی طراحی یا نظارت و اجرا، تحلیل دقیق و کاربردی مفاهیم بنیادین مهم است. یک مهندس یا دانشجو برق و تکنسین تاسیسات الکتریکی بایستی بداند مبانی اولیه سیستم‌های الکتریکی چیست. لازم است افراد فعال در این حوزه ابتدا مفاهیم ولتاژ، جریان و توان‌های الکتریکی و نحوه‌ی تولید، توزیع و انتقال نیروی الکتریکی را آموزش ببینند. این مفاهیم به فرد فراگیر کمک می‌کند تا اولاً با تسلط بیشتری مطالب را بیاموزد و همچنین در نحوه‌ی بیان مشکلات به افراد دیگر راحت‌تر عمل کند. (چراکه معمولاً یک مهندس یا برق‌کار حرفه‌ای باید موانع و مشکلات سنگین برقی را با زبان ساده برای کارفرما، رئیس و یا مشتری بازگو کند تا منجر به سرمایه‌گذاری، استخدام و به‌طور کلی اعتماد شود).

این کتاب با نام مبانی برق صنعتی در قالب یک معلم قرار است به‌گونه‌ای به شما کمک کند مطالب پایه‌ای برق و تاسیسات را تا جای ممکن کامل و جامع فراگیرید و از آن به‌عنوان ابزار در صنعت استفاده کنید. مهم است برای درک بهتر و عمیق‌تر همراه با خواندن کتاب، تجربه عملی و اجرایی نیز کسب کنید تا علم و عمل توانمند باهم آمیخته شوند.

در اینجا سوالی مطرح می‌شود. آیا می‌توان تنها با کسب تجربه و مهارت لازم در کنار استادکاران به درجه بالایی در رشته برق یا تاسیسات الکتریکی رسید؟ پاسخ این است؛ تجربه و مهارت اجرایی لازم است، اما کافی نیست! در سیستم‌های الکتریکی تحصیلات آکادمیک و آموزش‌های تئوری به‌اندازه تجربه‌های اجرایی و عملی مهم است. در برخی موارد بدون توانایی تئوری مسائل حل نمی‌شوند، در دنیای امروز با رشد تکنولوژی و صنعت سیستم‌های الکتریکی نمی‌توان همه موارد را تجربی آموخت. به‌عنوان مثال در محاسبه بانک خازن چنانچه شخصی از روابط مثلثاتی اطلاعی نداشته باشد، با دشواری و عدم توانایی لازم مواجه خواهد بود!

در گذشته مجموعه محدودی از مدارات وجود داشتند و افراد با همکاری در کنار استادکاران و کسب تجربه به درجه خودکفایی می‌رسیدند و جذب بازار کار می‌شدند. اما امروزه، افزایش سیستم‌های کنترلی و صنعتی و ارتباط آنها با سیستم‌های کامپیوتری، این نیاز را ایجاد کرده است تا افراد مفاهیم پایه‌ای ریاضی، زبان تخصصی، الگوریتم‌های برنامه‌نویسی و هوش مصنوعی را آموزش ببینند.

این کتاب قرار است مهم‌ترین بخش یعنی زیربنا و الفبا برق را به شما آموزش دهد. خرسند هستم که در این امر گام کوچکی در روند روبه‌رشد کشورم برداشته‌ام. در این مسیر از شما خواننده عزیز تشکر می‌کنم که همراه من هستید، چنانچه در حین مطالعه کتاب نکته‌نظر سازنده‌ای داشتید که منجر به کیفیت محتوا می‌شود، با من در میان بگذارید.

m.binabaji1990@gmail.com