प्रारंभिक
विद्युत अभियांत्रिकी

बैचलर ऑफ़ टेक्नोलॉजी प्रथम वर्ष के सर्व शाखाओं के पाठ्यक्रम पर आधारित
राष्ट्रीय शिक्षा नीति 2020 पाठ्यक्रमानुसार

डॉ. रवींद्र कुमार सिंह

आचार्य

मोतीलाल नेहरू राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान इलाहाबाद

प्रयागराज

लेखक का संक्षिप्त परिचय

रवीन्द्र कुमार सिंह का जन्म 1965 में हुआ। उन्होंने 1987 में भागलपुर विश्वविद्यालय से स्नातक, 1992 में आईआईटी बीएचयू, वाराणसी से स्नातकोत्तर, और 2002 में आईआईटी कानपुर, कानपुर से पीएच.डी. की उपाधि प्राप्त की। 30 से अधिक वर्षों के कुल अनुभव के साथ, वे वर्तमान में मोतीलाल नेहरू राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी संस्थान (MNNIT), इलाहाबाद, भारत में विद्युत अभियांत्रिकी विभाग में प्रोफेसर (HAG) के पद पर कार्यरत हैं।

प्रो. सिंह कई प्रशासनिक जिम्मेदारियों से जुड़े रहे हैं, जिनमें विभागाध्यक्ष (HOD), छात्र कल्याण डीन, अकादमिक डीन, क्रय प्रभारी संकाय और छात्र गतिविधि केंद्र के अध्यक्ष के रूप में उनकी भूमिका शामिल है। वे IEEE पावर इलेक्ट्रॉनिक्स, इन्डस्ट्रीअल इलेक्ट्रानिक्स और कंट्रोल के संयुक्त अध्याय के अध्यक्ष भी रह चुके हैं। प्रो. सिंह संस्थान के विद्युत आपूर्ति, कार्य और रखरखाव (ESWM) के अध्यक्ष के रूप में भी कार्य कर चुके हैं।

उन्होंने स्नातक में स्वर्ण पदक प्राप्त किया है और IEEE उत्तर प्रदेश खण्ड द्वारा उत्कृष्ट पावर इंजीनियर के रूप में सम्मानित किए गए हैं। वे Indo-UK REC project के प्रतिभागी रहे हैं और लिवरपूल जॉन मूर्स यूनिवर्सिटी, यूके (Liverpool John Moores University, UK) में कार्य किया है। इसके अतिरिक्त, उन्होंने 2003-04 में अक्सियोम कॉरपोरेशन, लिटिल रॉक, अर्कांसस, अमेरिका (Acxiom Corporation, Little Rock, Arkansas, USA) में भी कार्य किया है।

प्रो. सिंह IEEE के सदस्य और इंस्टीट्यूशन ऑफ इंजीनियर्स (इंडिया) के फेलो(Fellow) हैं। उनके शोध क्षेत्र डीसी-डीसी कन्वर्टर, विद्युत ड्राइव और उनके अनुप्रयोगों से संबंधित हैं। उन्होंने 70 से अधिक शोध पत्र जर्नल और सम्मेलनों में प्रकाशित किए हैं। इसके अलावा, उन्होंने 50 से अधिक मास्टर थीसिस और 15 डॉक्टोरल थीसिस का मार्गदर्शन किया है।

विषय-सूची

1 विद्युत् क्षेत्र या फील्ड - एक सामान्य परिचय 2

1.1 विभव व विद्युत स्थितिज ऊर्जा 4

1.2 विद्युत् धारा 5

1-2-1 ओम का नियम (Ohm's Law) 10

1.3 धारिता एवं संधारित्र 11

1.4 संधारित्र का संयोजन 14

1.4.1 संधारित्र का श्रेणी एवं समांतर संयोजन विभिन्न कारणों से किसी विद्युत् परिपथ में करना पड़ता है। 14

1.5 विद्युत क्षेत्र की ऊर्जा 18

1.6 विद्युत् कुचालक पदार्थ 19

1.7 ऊर्जा की परिभाषा 22

1.7.1 ऊर्जा मात्रक और उनकी तुलना 22

1.7.2 भारतीय ऊर्जा परिदृश्य 23

1.7.3 वैश्विक परिपेक्ष 25

1.7.4 विद्युत ऊर्जा बनाम गैसोलीन-आधारित परिवहन: दक्षता और ऊर्जा घनत्व की तुलनात्मक विश्लेषण 27

2 ऊर्जा - एक समग्र अवलोकन 33

2.1 विश्व में ऊर्जा की मांग और उत्पादन 33

2.1.1 तेल और कोयला : (कुल ऊर्जा खपत का 58.4 %) 33

2.1.2 प्राकृतिक गैस (कुल ऊर्जा खपत का 24.7%) 34

2.1.3 परमाणु ऊर्जा (कुल ऊर्जा खपत का 4.3%) 34

2.1.4 जल-विद्युत ऊर्जा (कुल ऊर्जा खपत का 6.9 %) 34

2.1.5 पवन ऊर्जा 34

2.1.6 सौर ऊर्जा 35

2.1.7 भू-तापीय और बायोमास ऊर्जा 35

2.2 वैश्विक ऊर्जा मांग प्रवृत्तियाँ 35

2.3 चुनौतियाँ और अवसर 35

2.4 विद्युत उपभोग का परिचय 36

2.5 विद्युत् उत्पादन 37

2.6 विद्युत् उत्पादन के प्रकार 37

2.6.1 संक्षिप्त इतिहास 37

2.6.2 दिष्ट- धारा उत्पादन - संक्षिप्त इतिहास 38

2.6.3 प्रत्यावर्ती-धारा उत्पादन का संक्षिप्त इतिहास 39

2.7 दिष्ट धारा का उत्पादन 39
2.8 प्रत्यावर्ती धारा का उत्पादन 45
2.8.1 फैराडे के सिद्धांतो की समीक्षा 46
2.8.2 प्रत्यावर्ती धारा जनित्र (तुल्यकाली जनित्र) 47
2.9 विद्युत् उत्पादन केंद्र - तापीय, पनबिजली और परमाणु 48
2.9.1 तापीय विद्युत् उत्पादन 48
2.9.2 पनबिजली विद्युत् उत्पादन 50
2.9.3 परमाणु विद्युत् उत्पादन 52
2.10 गैर पारंपरिक विद्युत् उत्पादन 53
2.11 विद्युत् संचरण/ संप्रेषण 54
2.11.1 विद्युत उपकेंद्र 56
2.11.2 विद्युत् तंत्र का एकल लाइन प्रतिरूप 57
2.12 वितरण तंत्र 58

3 दिष्ट धारा विद्युत् परिपथ 63
3.1 सामान्य परिचय 63
3.2 मूलभूत विद्युत तत्व एवं परिचयात्मक संकल्पनाए 65
3.3 ओम का नियम 67
3.3.1 विद्युत प्रतिरोध और चालकत्व 68
3.3.2 ऊर्जा एवं शक्ति 69
3.3.3 अश्व शक्ति/ हॉर्स पावर 69
3.3.4 तार मापन के व्यवहारिक माप दण्ड 72
3.4 किरचॉफ के नियम 73
3.4.1 किरचॉफ धारा नियम (संधि नियम) 74
3.4.2 किरचॉफ का वोल्टता (दूसरा) नियम: 77
3.4.3 जटिल परिपथ का विश्लेषण 79
3.5 आदर्श एवं वास्तविक विद्युत् धारा और विभव (वोल्टेज) स्रोत 80
3.6 निर्भर/आश्रित विद्युत् स्रोत 83
3.7 नेटवर्क गणना सूत्र व सम्बंधित सिद्धांत 86
3.7.1 स्टार और डेल्टा नेटवर्क 86
3.7.2 Y- Δ रूपांतरण 86
3.7.3 Δ- Y रूपांतरण 87
3.8 अध्यारोपण (सुपरपोजिशन) सिद्धांत / प्रमेय 87
3.9 प्रतिरोधक परिपथ का लूप/पाश विश्लेषण 88
3.10 स्रोत रूपांतरण (Source Transformations) 89
3.10.1 स्रोत रूपांतरण के प्रकार: 89
3.10.2 थेवेनिन का प्रमेय (Thevenin's Theoem) 91

3.11 उदाहरण के लिए प्रश्न और उत्तर 93
3.12 उपसंहार 103

4 प्रत्यावर्ती धारा-मूलभूत संकल्पनाएँ, परिभाषाएँ और प्रेरकत्व 106
4.1 एoसीo (प्रत्यावर्ती धारा) परिपथ की एक सामान्य रूपरेखा 108
4.2 ज्या-वक्रीय विद्युत वाहक बल का उत्पादन 110
4.3 फेज अंतर (Phase Difference) 113
4.3.1 घूर्णनशील सदिश/ फेज आरेख 114
4.4 वर्ग-माध्य-मूल अथवा प्रभावी धारा व विभव का मान 117
4.5 प्रत्यावर्ती धारा परिपथ का विश्लेषण 119
4.6 प्रेरकत्व परिपथ 119
4.7 प्रतिरोध युक्त प्रेरकत्व परिपथ 122
4.8 परिपथ की प्रतिबाधा 124
4.9 श्रेणी संयोजित विद्युत परिपथ 126
4.10 प्रतिरोध और प्रेरकत्व का एक समानांतर परिपथ 127
4.11 संधारित्र परिपथ का विश्लेषण 129
4.12 संधारित्रीय प्रतिघात 130
4.12.1 संधारित्रीय शक्ति 130
4.13 सम्मिश्र संख्या का कोणनांक, फ़ेज़र गणित एवं लैपलास रूपांतर 131
4.14 अनुनाद 138
4.15 आवृत्ति अनुक्रिया (Frequency Response): 147
4.16 शक्ति गुणांक: 149
4.17 उपसंहार 151

5 तीन-फेज प्रणाली 153
5.1 स्टार-प्रारूप वाइंडिंग वाला जनरेटर (जनित्र) 155
5.2 डेल्टा-संयोजित वाइंडिंग वाला जेनरेटर 158
5.3 स्टार-संयोजित भार 160
5.4 डेल्टा-संयोजित भार 164
5.5 Y (स्टार) और Δ (डेल्टा) संयोजित भार में शक्ति की व्युत्पत्ति 180
5.6 तीन-फेजीए भार की शक्ति मापन का व्युत्पादन दो वॉटमीटर द्वारा (पूरा विवरण) 182
5.6.1 दो वॉटमीटर पद्धति (Two Wattmeter Method) 182
5.7 उपसंहार 188

6. एक एवं द्विघात परिपथ की क्षणिक अनुक्रिया 191
6-1 परिचय 191
6-2 प्रतिरोध-प्रेरक (R-L) दिष्ट धारा (DC) परिपथ 192

6-2-1 श्रृंखला R-L परिपथ के डीसी क्षणिक (dc transient) और साम्य अवस्था अनुक्रिया (steady state response) 194
6-2-2 व्यावहारिक या प्रायौगिक प्रेरक 195
6-3 संधारित्र / कैपेसिटर की निरंतरता शर्ते 202
6.3.1 एक श्रृंखला R-C परिपथ की दिष्टधारा क्षणिक अनुक्रिया 203
6-3-2 संधारित्र का अनावेशण व संधारित्र विभव का ह्रास 205
6-3-3 संधारि त्र में संग्रहीत ऊर्जा (Energy stored in a capacitor) 206
6-4 प्रतिरोध -प्रेरक - संधारित्र (R-L-C) दोलन परिपथ का क्षणिकत्व विश्लेषण 207
उदाहरण 210
परिशिष्ट 217
असमघाती अवकल समीकरण का सामान्य रूप: 217
1. पूरक फलन ycx निकालना: 217
2. विशेष समाकल ypx निकालना: 217
3. कुल समाधान \(yx\) लिखें: 218
4. आरंभिक/सीमा शर्तें (Initial/Boundary Conditions): 218

7. चुंबकीय परिपथ 222
7.1 परिचय 223
7.2 चुंबकीय परिपथ के बुनियादी समीकरणों की व्युत्पत्ति 224
7.3 चुंबकीय पदार्थों की B-H अभिलक्षण (B-H Characteristics) 226
7.4 प्रारंभिक क्षेत्र (अरैखिक क्षेत्र) 226
7.4.1 B-H वक्र का महत्त्व 227
7.5 श्रेणी-समानांतर चुंबकीय परिपथ का विश्लेषण 231
7.6 प्रश्न और उनके हल 233
7.7 सारांश 236
7.8 उपसंहार 238

8 ट्रांसफार्मर का परिचय 240
8-1-1 ट्रांसफॉर्मर वर्गीकरण: 241
8-1-2 ट्रांसफार्मर की मूल संरचना 243
8-1-3 ट्रांसफार्मर के अनुप्रयोग 244
8-2 एक आदर्श एकल-चरण ट्रांसफार्मर के घटक 244
8-2-1. चुंबकीय कोर (Magnetic Core) 244
8-2-2. प्राथमिक कुंडली (Primary Winding) 245
8-2-3. द्वितीयक कुंडली (Secondary Winding) 245
8-2-4. विद्युत रोधन/ इन्सुलेशन (Insulation) 245
8-3 भँवर धारा एवं शैथिल्यता हानि 245

8-3-1 भँवर धारा हानि 245
8-3-2 शैथिल्य हानि (हिस्टेरिसिस हानि) 248
8-3-3 कोर हानि (भँवर धारा हानि व शैथिल्य हानि) पर
आधारित उदाहरणार्थ संख्यात्मक प्रश्नोत्तरी 252
8-4 एकल-फेज ट्रांसफार्मर के संचालन का अध्ययन 256
8-4-1 ट्रांसफार्मर-वोल्टेज व्यंजक की व्युत्पत्ति 257
8-4-2 मैग्निटाजेसन (चुंबकन) धारा (I "M,max"), (B"max") और (V\f) 259
8-5 ट्रांसफार्मर का शून्य - भार प्रचालन एवं फेज़र आरेख/डायग्राम 261
8-6 भार युक्त ट्रांसफार्मर का परिचालन 264
8-5-1 बिन्दु परिपाटी (dot convention) 264
8-6-2 आदर्श ट्रांसफार्मर का समतुल्य
परिपथ (Equivalent Circuit of an Ideal Transformer): 268
8-6-3 वास्तविक ट्रांसफार्मर में कोर हानि एवं समतुल्य परिपथ (Core losses in Real Transformer & Equivalent Circuit): 277
8-6 भारयुक्त लोडेड ट्रांसफार्मर का संचालन एवं समतुल्य परिपथ 278
उदाहरण हेतु प्रश्न व उत्तर 283

9. विद्युत मापन यंत्र 293
9-1 परिचय 293
9-2 विद्युत मापन उपकरणों का वर्गीकरण 293
9-2-1 पठनीयता आधारित वर्गीकरण 293
9-2-2 प्रदर्श तकनीकी आधारित वर्गीकरण 294
9-3-3 मिश्रित वर्गीकरण 294
9.3 त्रुटि,परिशुद्धता एवं मानक 294
9.3.1 परिशुद्धता/यथार्थता मानकों की श्रेणियां (Categories of Accuracy Standards): 295
9.3.1 परिशुद्धता निर्धार(रेटिंग) 296
9.3.2 विद्युत मापन यंत्रों की वांछित गुणधर्म 298
9-4 मापन यंत्रों में आवश्यक विभिन्न बल एवं बलाघूर्ण: विक्षेपक,
नियंत्रण एवं अवमंदन बल व/तथा बलाघूर्ण 299
9-4-1. विक्षेपक बलाघूर्ण/बल (Deflecting Torque/Force): 299
9-4-2. नियंत्रण बलाघूर्ण/बल (Controlling Torque/Force): 299
9-4-3. अवमंदन बलाघूर्ण/बल (Damping Torque/Force): 300
9-5 स्थायी चुंबक व गतिमान कुंडल (PMMC)
उपकरणों का व्यापक सिद्धांत (General Theory) 300
9-5-1 स्थायी चुंबक (Permanent Magnet): 300
9-5-2 चलायमान कुंडली (Moving Coil): 300
9-5-3 सूचक (Pointer): 301

9-5-4 स्पाइरल स्प्रिंग्स (Spiral Springs): 301
9-5-5 ध्रुवीय लोहे का टुकड़ा (Soft Iron Core): 301
9-5-6 मन्दन तंत्र (Damping Mechanism): 301
9-5-7 मापन पैमाना (Scale): 301
9-5-8 विक्षेपक बलाघूर्ण (Deflecting Torque) का समीकरण: 303
9-5-9 नियंत्रण बलाघूर्ण (Controlling Torque) का समीकरण: 304
9-5-10 मन्दन बलाघूर्ण (Damping Torque): 304
9-5-11 (PMMC) यंत्रों के लाभ, सीमाएँ, और त्रुटियों के स्रोत: 306
9-6 चलायमान लौह मापन यंत्र (Moving iron instruments) 308
9-6-1 चलायमान-लौह उपकरणों की संरचना 308
9-6-2 चलायमान-लौह यंत्र में विक्षेपक बलाघूर्ण का समीकरण: 310
9-7 डायनेमोमीटर प्रकार के मापन यंत्र 311
9-7-1 परिचय 311
9-7-2 इलेक्ट्रोडायनामिक यंत्र की संरचना (Construction of Electrodynamic Instrument): 312
9-7-3 इलेक्ट्रोडायनामिक यंत्र में बलाघूर्ण का समीकरण 313
9-7-4 दिष्टधारा परिचालन के लिए विक्षेपण कोण (θ) 315
9-7-5 प्रत्यवर्ती धारा संचालन के लिए विक्षेपण कोण (θ) 315
9-7-6 एमीटर और वोल्टमीटर की परिसर/रैंज 318
9-7-7 वॉटमीटर: 318
9-7-8 वाटमीटर त्रुटियाँ 321
9-7-9 वॉटमीटर में वोल्टेज कुण्डली के प्रेरकत्व Lv के कारण उत्पन्न त्रुटि 323
9-8 प्रेरण प्रकार ऊर्जा मीटर या वाट-घण्टा मीटर 324
9-8-1 इंडक्शन प्रकार के यंत्रों की संरचना
(Construction of Induction Type Instruments): 324
9-8-2 प्रेरण प्रकार के ऊर्जा मीटर का कार्य सिद्धांत
(Working Principle of Induction Type Energy Meter) 326
9-8-3 ब्रेकिंग बलाघूर्ण का समीकरण: 328
9-8-4 ऊर्जा मीटर में त्रुटियाँ और उनका कारण 329
9-9 प्रश्न-उत्तर 332
9-10 उपसंहार 335

10. विद्युत-यांत्रिक ऊर्जा रूपांतरण 337
10-1 परिचय 337
10-2 मौलिक सिद्धांत (Fundamental Principles) 342
10-2-1 भौतिक सिद्धांत 343
10-3 चुंबकीय क्षेत्रों की परस्पर क्रिया (Interaction of Magnetic Fields) 346
10-4 प्रत्यवर्ती धारा एवं दिष्ट धारा मशीनों का परिचय 347

10-4-1 प्रत्यवर्ती धारा मशीन 347
10-4-2 तुल्यकालिक मशीन 347
10-4-3 प्रेरणी मोटर (Induction Motor) 351
10-5 दिष्ट धारा मशीन (DC Machine) 353
10-5-1 आधारी (Primitive) 2-ध्रुवीय स्थायी चुंबक डीसी जनित्र का संचालन 353
10-5-2 दो-ध्रुवीय स्थायी चुंबक डीसी मोटर का संचालन: 356
कार्यप्रणाली: 356
10-5-3 स्वत: उत्तेजित (Self Excited) डीसी जनित्र की तीन संभावनाएँ: 358
क्षेत्र वाइंडिंग की डिजाइन: 359
10-6 क्षय/ हानि और दक्षता 359
10-6-1 भौतिकी में समरूपता: 359
10-6-2. समय समरूपता और ऊर्जा का संरक्षण 360
10-6-3 हानियों के प्रकार: 360
10-7 मशीनों के प्रचालन बिंदु (Operating Point) और स्थायित्व (Stability) 362
10-8 मशीन निर्धार (Machine Rating) 367
10-9 उदाहरणार्थ प्रश्न - उत्तर 372
10-10 उपसंहार 373

11. प्रेरणी मोटर 375
11-1 3-फेज प्रेरणी मोटर - प्रस्तावना 375
11-2 घूर्णनशील चुंबकीय क्षेत्र 377
11-3 प्रेरण मोटर के मुख्य घटक 381
11-3-1. स्टेटर (Stator) 381
11-3-2. रोटर (Rotor) 381
11-3-3. वायु-अंतराल (Air Gap) 382
11-3-4. बियवलयों (Bearings) 382
11-3-5. शीतलन प्रणाली 382
11-3-6. टर्मिनल बॉक्स (Terminal Box) 382
11-4 संचालन का सिद्धांत 385
11-5 प्रेरणी मोटर के स्टेटर और रोटर कुण्डलन में प्रति फेज
प्रेरित विद्युत वाहक बल (वि.व.ब.) 386
11-6 3-फेज प्रेरणी मोटर का प्रति फेज समतुल्य परिपथ 388
11-7 रोटर शक्ति, ताम्र हानि एवं रोटर निर्गत शक्ति 391
11-8 प्रेरणी मोटर का बलाघूर्ण - स्लिप अभिलक्षण 393
11-9 प्रारंभिक धारा व बलाघूर्ण 398
11-9-1 वोल्टेज का प्रारंभिक बलाघूर्ण पर प्रभाव 399
11-9-2 वोल्टेज और बाहरी प्रतिरोध के संयुक्त प्रभाव 400

11-10 प्रेरणी मोटर के लिए विभिन्न प्रकार के आरंभक(Starter) 402
11-10-1 स्वपरिणामित्र (ऑटोट्रान्सफ़ार्मर) आरंभक संबंधन 407
11-10-2 रोटर रेजिस्टेंस आरंभक 408
11-11 एकल फेज प्रेरणी मोटर 409
11-11-1 द्वि-क्षेत्र घूर्णी सिद्धांत (double field revolving theory) 410
11-12 एकल - फेज (फेज) मोटर के स्टार्ट करने के तरीके 412
11-12-1 प्रतिरोधी विभक्त-फेज मोटर (Resistance Split-phase Motor) 413
11-12-2 संधारित्र विभक्त-एक फेज मोटर 414
11-12-3 शेडेड-पोल एकल-फेज मोटर: 415
11-13 उदाहरण के लिए प्रश्न और उत्तर 417
11-14 उपसंहार 421

12. तुल्यकालिक मशीन 424
12-1 रचनात्मक विवरण 424
13-2 उत्पन्न विद्युतवाहक बल (Generated electromotive force (EMF) 425
12-3 आर्मेचर अभिक्रिया और तुल्यकालिक प्रतिघात
(Armature reaction & Synchronous Reactance) 429
12-3-1 भार युक्त मोटर, उत्तेजन और शक्ति गुणक 431
12 - 4 जनित्र-विधा (Generating - mode) में प्रचालन 433
12-4-1 इकाई शक्ति गुणक पर चालित जनित्र में आर्मेचर अभिक्रिया विश्लेषण 434
12-5 तुल्यकालिक मशीन का समतुल्य परिपथ निदर्श
(Equivalent circuit model of synchronous machine) 435
12-6 शक्ति एवं बलाघूर्ण 438
12-7 नियमन (Regulation) एवं दक्षता (Efficiency) 441
12-8 खुला परिपथ अभिलक्षण (OCC) एवं लघु-पथ परिपथ अभिलक्षण (SCC) हेतु परीक्षण 443
12-9 तुल्यकालिक मोटर्स आरंभ करने के तरीके
(Starting methods of Synchronous Motors) 444
12-9-1 प्रतिष्टम्भ आरंभक (Reluctance Starting) 444
12-9-2. अवमंदक कुण्डलन द्वारा सेल्फ-आरंभक (Self-Starting with Damper Windings) 445
12-9-3. सहायक मोटर का उपयोग करके आरंभक (Starting with a Pony Motor) 445
12-9-4. डीसी मोटर के साथ पूर्व त्वरण द्वारा (Pre-Acceleration with DC Motor) 445
12-9-5. स्थैतिक परिवर्तित्र के उपयोग द्वारा आरंभक (Starting by Static Converter) 446
12-9-10 उदाहरणार्थ प्रश्न-उत्तर 446
12-11 उपसंहार 454

13. दिष्ट धारा मशीन 457
13-1 परिचय 457

13-2 संरचनात्मक विशेषताएँ 458
13-2-1 योत्र / योक, 458
13-2-2. पोल कोर और पोल पादुका (Shoe-शू) 459
13-2-3. क्षेत्र कुण्डलन (श्रेणी कुण्डलन): 459
13-2-4. आर्मेचर कोर: 459
13-2-5. आर्मेचर कुण्डलन : 459
13-2-6. दिक्परिवर्तक / कम्युटेटर : 459
13-2-7. कूर्च और कूर्च धारक (Brush & Brush Holder) 460
13-2-8. बियरिंग्स 460
13-2-9. शाफ्ट : 460
13-3 विद्युत वाहक बल (emf) समीकरण का मूलभूत व्युत्पत्ति 460
13-4 आर्मेचर अभिक्रिया / अनुक्रिया 462
13-4-1 GNA (ज्यामितीय मध्य-उदासीन अक्ष - Geometrical Neutral Axis): 462
13-4-2 MNA (चुंबकीय निष्प्रभावी अक्ष Magnetic Neutral Axis): 462
13-4-3 आर्मेचर अनुक्रिया के प्रकार 463
13-4-3-1. विचुंबकीयकरण प्रभाव (Demagnetizing Effect): 463
13-4-3-2. आड़ी चुम्बकीकरण प्रभाव (Cross Magnetizing Effect): 463
13-5 विद्युत परिपथ पहलू 464
13-6 खुला परिपथ अभिलक्षण (चुंबकन अभिलक्षण) 465
13-7 जनित्र निष्पादन 467
13-8 दिष्ट-धारा मोटर निष्पादन DC Motor Performance 470
13-9 गति नियंत्रण (Speed Control) 471
13-9-1. आर्मेचर प्रतिरोध नियंत्रण (Armature Resistance Control) 471
13-9-2. टर्मिनल विभव नियंत्रण (Terminal Voltage Control) 472
13-9-3. क्षेत्र नियंत्रण (Field Control) 473
13-10 नियमन, हानि और दक्षता 473
13-11 मोटर स्टार्टर (Motor Starters) 476
13-11-1 तीन-पॉइंट स्टार्टर (Three-Point Starter) 476
13-11-2 चार-पॉइंट स्टार्टर (Four-Point Starter) 477
13-12 उदाहरणार्थ प्रश्नोत्तर 477
13-13 उपसंहार 483

14 विद्युत सुरक्षा 488
14.1 प्रकृति के विद्युत पहलू व मानव जैविकी 488
14.2 विद्युत चालकता के प्रकार: 488
14.2.1 इलेक्ट्रॉनिक चालकता 488
14.2.2 आयनिक चालकता: 489

14.2.3 अर्द्धचालक (Semiconductor) चालकता: 489
14.2.4 प्लाज्मा चालकता: 489
14.2.5 विद्युत/ताप रोधक (इन्सुलेटर): 489
14.3 जीवित जीव की विद्युत-भौतिकी 490
14.3.1 पुनर्जीवन (Reanimation), 491
14.3.2 मृत्यु के समय होने वाले परिवर्तन: 491
14.3.3 मृत्यु के पीछे क्या होता है? 491
14.4 जीवमंडल (biosphere) 491
14.5 विद्युतीय खतरा (Electrical Hazards) 492
14.5.1 प्राकृतिक घटनाएँ जैसे आकाशीय बिजली गिरना: 492
14.5.2 लघुपथ (शॉर्ट-सर्किट) के कारण चिंगारी से आग लगना: 493
14.5.3 तापीय विफलता (Thermal Failure) के कारण आग लगना कारण: 493
14.5.4 मानव शरीर की धारिता का प्रभाव (Capacitance Effect of the Human Body): 493
14.5.5 प्रेरित धारा (Induced Currents) और चुंबकीय क्षेत्र: 493
14.5.6 मानव शरीर के माध्यम से विद्युत प्रवाह से उत्पन्न खतरे: 494
14.6 विद्युत झटका 494
14.6.1 विद्युत झटके के कारण: 494
14.7 मानव शरीर का विद्युत मॉडल 495
14.8 स्पर्श विभव (Touch Potential): 497
14.9 अकस्मात ऊर्जित वस्तुओं की स्पर्श विभव 498
14.10 मेटल-टू-मेटल टच पोटेंशियल (Metal-to-Metal Touch Potential): 499
14.11 स्टेप पोटेंशियल (Step Potential): 499
14.12 अवांछित एवं स्पर्श विभव 500
14.12.1 NEC (नेशनल इलेक्ट्रिकल कोड) के अनुसार NEV से संबंधित मानक: 500
14.13 भारत में विद्युत सुरक्षा के कानूनी पहलू
(Legal Aspects of electrical safety in India) 501
14.13.1 भारतीय संविधान और जीवन का अधिकार (अनुच्छेद 21): 501
14.13.2 विद्युत सुरक्षा और जीवन का अधिकार: 501
14.13.3 जीवन के अधिकार की सुरक्षा में प्रशिक्षण और जागरूकता: 501
14.14 भारतीय विद्युत नियम,1956 (Indian Electricity Rules, 1956) 503
14.14.1 परिभाषाएँ और उद्देश्यों का दायरा 503
14.14.2 सुरक्षा नियम (Safety Provisions) 504
14.14.3 विद्युत प्रतिष्ठानों में सुरक्षा (Safety in Electrical Installations) 504
14.14.4 विद्युत निरीक्षण (Electrical Inspection) 504
14.14.5 उच्च वोल्टेज और निम्न वोल्टेज प्रतिष्ठान
(High Voltage and Low Voltage Installations) 504
14.14.6 भू-संपर्क (Earthing) 504

14.14.7 संरचना की सुरक्षा (Safety of Structures) 504
14.14.8 विद्युत दुर्घटना रिपोर्टिंग (Electrical Accident Reporting) 505
14.14.9 उपयोगकर्ता और विद्युत आपूर्ति कंपनियों की जिम्मेदारी
(Responsibilities of Users and Electrical Supply Companies) 505
14.14.10 आवश्यक सुरक्षा संकेत और चेतावनी (Safety Signs and Warnings) 505
14.14.11 रिपोर्टिंग प्रक्रिया 505
14.14.12 दुर्घटना रिपोर्ट में शामिल प्रमुख बिंदु: 506
14.15 शॉक लगने पर प्रथम चिकित्सा (First Aid for Electric Shock) 507
14.16 सावधानियाँ 508
14.17 भूसंपर्कक (Earthing) 508
14.17.1 प्लेट भूसंपर्कक (Plate Earthing): 508
14.17.2 रॉड भूसंपर्कक (Rod Earthing) 508
14.17.3 पाइप भूसंपर्कक (Pipe Earthing) 509
14.17.4 केमिकल भूसंपर्कक (Chemical Earthing) 509
14.17.5 मैश भूसंपर्कक (Mesh Earthing) 509
14.17.6 भूसंपर्कक की स्थापना के दौरान ध्यान देने योग्य बातें 510

भूमिका

इंजीनियरी स्नातक कार्यक्रम करीबन सभी संकाय में भौतिकी के गणितीय आधार का मूल ज्ञान आवश्यक है। इंजीनियरी मूलतः इन्ही का अनुप्रयोग है। अतः भौतिकी एवं गणित माध्यमिक पाठ्यक्रम के रूप में कार्य करता है। भौतिकी यांत्रिकी, ध्वनिकी, तरंगें, प्रकाशिकी, विद्युतस्थैतिकी, चुम्बकस्थैतिकी, विद्युतचुम्बकत्व, क्वांटम यांत्रिकी आदि से विषयों में विभक्त है। इंजीनियरी पाठ्यक्रम प्रारंभ करने के लिए प्राथमिक विद्यालय स्तर पर गणित और भौतिकी का अध्ययन किया जाना प्रारंभिक शर्त है।

इंजीनियरी संकाय भौतिकी के सिद्धांतों के अनुप्रयोग का विस्तार हैं, जिनका विकास पिछले दो शताब्दियों में हुआ है। वर्तमान में इंजीनियरी की नई शाखाएँ उभर रही हैं, जैसे डेटा साइंस और बिग डेटा एनालिटिक्स, कृत्रिम बुद्धिमत्ता और मशीन लर्निंग, सामग्री इंजीनियरी, कम्प्यूटेशनल यांत्रिकी, रोबोटिक्स और स्वचालन इंजीनियरी, जैव प्रौद्योगिकी और बायोमेडिकल इंजीनियरी, पर्यावरण और सतत विकास इंजीनियरी, क्वांटम कंप्यूटिंग और इंजीनियरी, साइबर सुरक्षा और एथिकल हैकिंग, इंटरनेट ऑफ थिंग्स (IoT) और स्मार्ट सिस्टम, अक्षय ऊर्जा इंजीनियरी, एयरोस्पेस और अंतरिक्ष इंजीनियरी, नैनो टेक्नोलॉजी इंजीनियरी, संवर्धित वास्तविकता (AR) और वर्चुअल वास्तविकता (VR), मैकाट्रॉनिक्स इंजीनियरी, कृषि इंजीनियरी और खाद्य प्रौद्योगिकी आदि (Data Science and Big data analytics, Artificial Intelligence and Machine learning, Materials engineering, computational mechanics, Robotics and automation engineering, Biotechnology and Biomedical Engineering, Environmental and Sustainability Engineering, Quantum Computing and Engineering, Cybersecurity and Ethical Hacking, Internet of Things (IoT) and Smart Systems, Renewable Energy Engineering, Aerospace and Space Engineering, Nanotechnology Engineering, Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR), Mechatronics Engineering, Agricultural Engineering and Food Technology)।

इन इंजीनियरी शाखाओं के अध्ययन में या तो गणितीय अवधारणाओं के जटिल अनुप्रयोग का उपयोग किया जाता है या **ऊर्जा रूपांतरण और इसके उपयोग** को मौजूदा और आधुनिक अभिकलनी तकनीक के साथ एकीकृत किया जाता है। भारतीय ग्रंथों में पाँच ज्ञान इंद्रियों के माध्यम से मानव का पर्यावरण से संबंध को समझाया गया है (श्रीमद् भगवद्गीता ।।15.9।।):

श्रोत्रं चक्षुः स्पर्शनं च रसनं घ्राणमेव च।
अधिष्ठाय मनश्चायं विषयानुपसेवते।।15.9।।

स्वामी रामसुखदास द्वारा अनुवाद: "यह जीवात्मा मन का आश्रय लेकर श्रोत्र, नेत्र, त्वचा, रसना और घ्राण - इन पाँचों इन्द्रियों के द्वारा विषयों का सेवन करता है।"

ध्यान रहे कि इंजीनियरी का उद्देश्य भौतिक नियमों का उपयोग करके मानव जीवन को अधिक सुविधाजनक बनाना है और मानव जैसा गीता में काग गया है श्रोत्र, नेत्र, त्वचा, रसना और घ्राण द्वारा ही विश्व से जुड़ा है। सोचिए कि उपयोगी उपकरण किस प्रकार इन इंद्रियों से जुड़े हैं और उनका उद्देश्य क्या है।

किताब के पीछे के कवर पर सोमनाथ मंदिर की तैरती शिव लिंग की AI जनित छवि है। यह प्राचीन काल में भौतिकी के नियमों और इसके इंजीनियरिंग अनुप्रयोग की हमारी समझ को स्थापित करता है। ऐसा कहा जाता है कि सोमनाथ मंदिर में स्थापित शिवलिंग एक चुंबकीय पत्थर से निर्मित था और प्राचीन काल में बिना किसी दृश्य समर्थन के हवा में तैरता था। यह रहस्यमयी घटना, जो प्राचीन इंजीनियरिंग और आध्यात्मिक विश्वासों से जुड़ी हुई है, उत्तोलन (Levitation) के शुरुआती प्रयोगों में से एक मानी जा सकती है। यह अवधारणा आधुनिक **चुंबकीय उत्तोलन (Maglev)** के सिद्धांतों से मेल खाती है, जहाँ वस्तुओं को गुरुत्वाकर्षण बल का प्रतिकार करने के लिए चुंबकीय बलों के माध्यम से निलंबित किया जाता है। आज, मैगलेव तकनीक का उपयोग उच्च गति वाली ट्रेनों और उन्नत परिवहन प्रणालियों में किया जाता है। इसी प्रकार, सोमनाथ में तैरती हुई संरचनाओं की प्राचीन कथाएँ उन बलों और सामग्रियों की शुरुआती खोज को उजागर करती हैं, जो आज भी वैज्ञानिक प्रगति को प्रेरित करती हैं।

इंजीनियरी का भौतिक-ऊर्जा से संबंध है। लेकिन ऊर्जा का सिद्धांत कार्य के सिद्धांत से संबंधित है और कार्य प्रेरक बलों से जुड़ा होता है, जैसे ध्वनिक बल, विद्युतस्थैतिक बल, चुम्बकस्थैतिक बल, गुरुत्वाकर्षण बल, विद्युतचुम्बकीय बल, या परमाणु बल। यांत्रिक बल और कार्य सबसे सरल और रोजमर्रा की गतिविधियों में सबसे अधिक आवश्यक हैं। ठोस, तरल और गैस की यांत्रिक गति, ऊष्मा ऊर्जा का स्थानांतरण (गर्मी और ठंडक), तरंगें और प्रकाश मानव जीवन के लिए सबसे ज्यादा आवश्यक तत्व हैं। ऊर्जा स्रोत और ऊर्जा का परिवहन, प्रौद्योगिकी का एक प्रमुख विषय है, और विद्युत ऊर्जा इस अंतर को पाटने का एक प्रमुख माध्यम है।

इसीलिए, किसी भी इंजीनियरी संकाय में अध्ययन करने वाले छात्रों के लिए विद्युत ऊर्जा और यांत्रिक ऊर्जा की मूल अवधारणाओं को समझना और उनकी सराहना करना महत्वपूर्ण है। सभी आधुनिक इंजीनियरी शाखाएँ विद्युत संकेतों पर आधारित हैं। इस प्रकार, विद्युत ऊर्जा का आदान-प्रदान, इंजीनियरी से जुड़े किसी भी व्यक्ति के लिए एक प्रमुख विषय है।

भारत में विभिन्न विश्वविद्यालय और संस्थान अपने डिग्री कार्यक्रमों के लिए अलग-अलग पाठ्यक्रम अपनाते हैं। हालाँकि, यह देखा गया है कि विद्युत इंजीनियरी लगभग सभी पाठ्यक्रमों का आधार बनती है। पाठ्यक्रम की संरचना और विषयवस्तु पर अलग-अलग जोर होने के कारण

एकल पाठ्यक्रम पर ध्यान केंद्रित करना कठिन हो जाता है। इस पुस्तक ने एक संतुलित दृष्टिकोण अपनाया है और प्रत्येक विषय को न्यूनतम अध्याय निर्भरता के साथ दिया गया है। फिर भी, किसी भी अध्याय की सामग्री को समझने के लिए 12वीं कक्षा स्तर की पूर्व-आवश्यकता अनिवार्य है।

यह पुस्तक मेरे शिक्षण अनुभव और विषय की समझ के साथ लिखी गई है, और इसलिए इसकी प्रस्तुति अन्य पुस्तकों के समकक्ष है, जिसमें कुछ सुधार किए गए हैं। कई संसाधन जैसे एनपीटीईएल व्याख्यान, यूट्यूब वीडियो, गूगल खोज परिणाम, चैटजीपीटी परिणाम आदि उपलब्ध हैं। इन सभी संसाधनों को सम्मिलित करना कठिन है, लेकिन सर्वश्रेष्ठ भागों को शामिल करने का प्रयास किया गया है। जरूरत के अनुसार, अमेरिकी संस्थान IEEE के मानक और भारतीय मानकों का भी संदर्भ लिया गया है।

पुस्तक के प्रत्येक अध्याय में अभ्यास के लिए प्रश्न अलग से शामिल किए गए हैं, क्योंकि अब इसे अलग से संशोधन कि तरह ज्यादा पसंद किया जाता है। शिक्षक भी अपने पाठ्यक्रम के सह-अध्यापन (Tutorial) कक्षा या छात्रों के गृहकार्य (Home assignment) के लिए अलग प्रश्न पत्र तैयार करना पसंद करते हैं। प्रश्न और समाधान परिशिष्ट के रूप में जोड़े जाएंगे और यह केवल शिक्षकों के लिए एक संसाधन हो सकता है।

यह पुस्तक हिंदी में लिखने का मेरा पहला प्रयास है, जो राष्ट्रीय शिक्षा नीति (NEP-2020) की एक प्रमुख प्रसंग का पालन करता है। छात्रों पर विषयवस्तु का कम बोझ डालने के लिए इसे न्यूनतम आवश्यकताओं तक सीमित किया गया है। इससे पाठक अधिक जिज्ञासु होंगे और आगे के ज्ञान के लिए अन्य संसाधनों का संदर्भ लेंगे।

यह पुस्तक इंजीनियरी पाठ्यक्रम के लिए लिखी गई है, न कि डिप्लोमा छात्रों के लिए। इसलिए, डिप्लोमा छात्र इसमें कुछ सामान्य शब्द और विषयवस्तु पा सकते हैं, लेकिन इसकी संरचना उनके अनुरूप नहीं है। अधिकांश शब्द "वैज्ञानिक और तकनीकी शब्दावली आयोग" से लिए गए हैं।

यदि संस्थान से स्वीकृत न होता तो यह पुस्तक लिखना संभव नहीं था। यह पुस्तक लिखी नहीं जा सकती थी यदि संस्थान द्वारा लेखक को विशेष सबैटिकल अवकाश की स्वीकृति नहीं दी गई होती। अंग्रेजी में 30 वर्षों तक इंजीनियरिंग पढ़ाने के बाद हिंदी में लिखना एक कठिन कार्य था। गूगल और चैटजीपीटी जैसे उपलब्ध अनुवादक सीधे उपयोगी नहीं हैं क्योंकि वे लेखक की सामग्री और व्याकरण के अनुरूप अभी तक नहीं हैं। संघ लोक सेवा आयोग में विशेषज्ञ के रूप में, मैंने

सिविल सेवा परीक्षा के प्रश्नपत्रों का अनुवाद किया, जो हिंदी में पुस्तक लिखने की मेरी पहली प्रेरणा बनी।

इसके अलावा, संस्थान के डीन (अकादमिक) के रूप में, मैंने NEP को अपनाने कि प्रक्रिया प्रारंभ की और पाठ्यक्रम के लिए क्षेत्रीय भाषा, अर्थात हिंदी को बढ़ावा दिया। मैंने अपने सहयोगियों को हिंदी में सामग्री लिखने के लिए प्रेरित करने की इच्छा रखी और इसे मजबूत करने के लिए मैंने इसे एक चुनौती के रूप में लिया।

भाषा अवरोध सबसे बड़े तत्वों में से एक है और यह एक सतत विकास की प्रक्रिया है। सामाजिक ताने-बाने में इसकी स्वीकृति भी एक चुनौती है। हालांकि, नवाचार तब तक नहीं किए जा सकते जब तक कि अवधारणाएं मातृभाषा में नहीं सीखी जातीं। मुझे आशा है कि भविष्य में हिंदी में और अधिक पुस्तकें लिखी जाएंगी और संपूर्ण इंजीनियरिंग पाठ्यक्रम हिंदी में उपलब्ध होगा।

अध्यायों का अवलोकन:

अध्याय - 01: विद्युत् क्षेत्र - एक सामान्य परिचय यह अध्याय विद्युत क्षेत्रों, उनकी विशेषताओं और मौलिक सिद्धांतों का परिचय प्रदान करता है। यह आवेश, विद्युत बल, और क्षेत्र तीव्रता को कवर करता है, जो विद्युत अवधारणाओं को समझने की नींव रखता है।

अध्याय - 02: ऊर्जा - एक समग्र अवलोकन यह अध्याय ऊर्जा के रूपों, उत्पादन और रूपांतरण पर केंद्रित है। यह ऊर्जा संरक्षण के नियमों और विद्युत प्रणालियों में उनके अनुप्रयोगों को समझाता है।

अध्याय - 03: दिष्ट धरा - मूलभूत संकल्पनाएँ, परिभाषाएँ और परिपथ यह अध्याय दिष्ट धारा (DC) अवधारणाओं, परिभाषाओं और परिपथ तत्वों का परिचय देता है। इसमें ओम का नियम, किर्चॉफ के नियम और DC परिपथों को हल करने के तरीके शामिल हैं।

अध्याय - 04: प्रत्यावर्ती धारा - मूलभूत संकल्पनाएँ, परिभाषाएँ और परिपथ यह अध्याय प्रत्यावर्ती धारा (AC) के मूलभूत सिद्धांतों को कवर करता है, जिसमें फेज़र, रिएक्टेंस, इम्पीडेंस और AC परिपथों में शक्ति गणना शामिल है।

अध्याय - 05: तीन फेज प्रणाली यह अध्याय तीन-फेज़ प्रणालियों पर चर्चा करता है, जिसमें स्टार और डेल्टा कनेक्शन, लाइन और फेज मात्राएँ, और तीन-फेज़ परिपथों में शक्ति मापन शामिल है।

अध्याय - 06: एक एवं द्विघात परिपथ की क्षणिक अनुक्रिया यह अध्याय प्रथम और द्वितीय क्रम के परिपथों में क्षणिक अनुक्रियाओं से संबंधित है। इसमें स्विचिंग स्थितियों में RL, RC, और RLC परिपथों का विश्लेषण प्रस्तुत किया गया है।

अध्याय - 07: चुंबकीय परिपथ यह अध्याय चुंबकीय परिपथ, चुंबकीय क्षेत्र, फ्लक्स, अवरोध और उनके विद्युत परिपथों के साथ समानताओं का परिचय देता है।

अध्याय - 08: ट्रांसफॉर्मर यह अध्याय ट्रांसफार्मर, उनके निर्माण, संचालन, और दक्षता को कवर करता है। इसमें तुल्य परिपथ और परीक्षण विधियाँ भी शामिल हैं।

अध्याय - 09: विद्युत मापक यंत्र यह अध्याय मापक यंत्रों, उनके सिद्धांतों और कार्य पद्धतियों को समझाता है, जिसमें वोल्टमीटर, एमीटर और वॉटमीटर शामिल हैं।

अध्याय - 10: वैद्युत-यांत्रिक ऊर्जा रूपांतरण यह अध्याय वैद्युत-यांत्रिक ऊर्जा रूपांतरण सिद्धांतों पर केंद्रित है, जिसमें टॉर्क उत्पादन और ऊर्जा रूपांतरण प्रक्रियाएँ शामिल हैं।

अध्याय - 11: तीन-फेज़ प्रेरण मोटर यह अध्याय तीन-फेज़ प्रेरण मोटरों की संरचना, कार्य सिद्धांत, प्रदर्शन विशेषताएँ और अनुप्रयोगों का अन्वेषण करता है।

अध्याय - 12: तुल्यकालिक मशीन तुल्यकालिक मशीनों पर चर्चा की गई है, जिसमें संचालन के सिद्धांत, विशेषताएँ और विनियमन शामिल हैं।

अध्याय - 13: दिष्ट धारा मशीन यह अध्याय दिष्ट धारा मशीनों, जिनमें जनरेटर और मोटर शामिल हैं, उनके कार्य, विशेषताएँ और प्रदर्शन को कवर करता है।

अध्याय - 14: विद्युत सुरक्षा यह अध्याय विद्युत सुरक्षा पर केंद्रित है, जिसमें ग्राउंडिंग, सर्किट ब्रेकर, फ्यूज, और विद्युत प्रणालियों के लिए सुरक्षा प्रोटोकॉल शामिल हैं।

कृतज्ञताएँ: यह पुस्तक सतत प्रयास और सहयोग का परिणाम है। मैं अध्ययन अवकाश की स्वीकृति के लिए संस्थान और उन सभी लोगों का हार्दिक आभार व्यक्त करता हूँ जिन्होंने अपना समय, विशेषज्ञता और समर्थन प्रदान किया।

मैं प्रो. नीरज त्यागी का भाषा सुधारने और नैतिक समर्थन के लिए धन्यवाद करता हूँ। मैं श्री भगत सिंह प्रजापति का भी सामग्री और भाषा में सुधार के सुझावों के लिए आभार प्रकट करता हूँ। श्री सुचेता ससिस को इंकस्पेस ड्राइंग और समीकरण नंबरों की व्यवस्था में सहायता के लिए

धन्यवाद देता हूँ। श्री सच्चिदानंद वीर सावरकर को इंकस्पेस चित्र बनाने में सहायता के लिए धन्यवाद।

मैं आशा करता हूँ कि भविष्य में और अधिक पुस्तकें हिंदी में लिखी जाएंगी और संपूर्ण इंजीनियरी पाठ्यक्रम हिंदी में उपलब्ध होगा।

अध्याय - 01

विद्युत क्षेत्र

Contents

1 विद्युत् क्षेत्र या फील्ड - एक सामान्य परिचय 2

1.1 विभव व विद्युत स्थितिज ऊर्जा 4

1.2 विद्युत् धारा 5

1-2-1 ओम का नियम (Ohm's Law) 10

1.3 धारिता एवं संधारित्र 11

1.4 संधारित्र का संयोजन 14

1.4.1 संधारित्र का श्रेणी एवं समांतर संयोजन विभिन्न कारणों से किसी विद्युत् परिपथ में करना पड़ता है। 14

1.5 विद्युत क्षेत्र की ऊर्जा 17

1.6 विद्युत् कुचालक पदार्थ 19

1.7 ऊर्जा की परिभाषा 21

1.7.1 ऊर्जा मात्रक और उनकी तुलना 22

1.7.2 भारतीय ऊर्जा परिदृश्य 23

1.7.3 वैश्विक परिपेक्ष 24

1.7.4 विद्युत ऊर्जा बनाम गैसोलीन-आधारित परिवहन: दक्षता और ऊर्जा घनत्व की तुलनात्मक विश्लेषण 26

अध्याय १

1 विद्युत् क्षेत्र या फील्ड - एक सामान्य परिचय

विद्युत आवेश वस्तुओं को बनाने वाले मूलभूत कणों का एक आंतरिक गुण है। कोई भी पदार्थ प्राथमिक कणों से बना होता है, इनका प्रत्येक कण विद्युत आवेश वहन करते हैं -उदाहरण के लिए, एक प्रोटॉन एक धनात्मक आवेश (धनावेश) वहन करता है और एक इलेक्ट्रॉन, एक ऋणात्मक आवेश (ऋणावेश)। बेंजामिन फ्रैंकलिन द्वारा आवेश को धनावेश और ऋणावेश दो प्रकार में परिभाषित किया गया और आज भी इसी का प्रयोग किया जा रहा है।

अधिकांश रोजमर्रा की वस्तुओं, जैसे कि प्याला, में ऋणावेशित कण और धनावेशित कण की संख्याएँ लगभग समान होती हैं, जिससे आवेश का शुद्ध योगफल शून्य रहता है। यह आवेश का संतुलन कहलाता है, और वस्तु को आवेश संतुलित कहा जाता है। इन पदार्थो को विद्युत रूप से न्यूट्रल या उदासीन (या संक्षेप में केवल उदासीन /न्यूट्रल) पदार्थ कहते है । सजातीय आवेश एक दूसरे की प्रतिकर्षित तथा विजातीय आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते है। भौतिकी में विद्युत के दो महान प्रश्न हैं (1) ब्रह्मांड में कण विद्युत आवेश के साथ ही क्यों हैं (वास्तव में आवेश क्या है और इनकी परमाणु से स्वतंत्र सत्ता क्यों नहीं है?) और (2) विद्युत आवेश दो प्रकार के ही क्यों होते है (और ज्यादा या कम नहीं)। भौतिकविद् दुनिया के विभिन्न हिस्सों में ब्रह्मांड के रहस्यों को समझने के लिए निरंतर अनुसंधान कर रहे हैं। आधुनिक भौतिकी में एक महत्वपूर्ण खोज यह हुई है कि पदार्थ और तरंगों की द्वैत प्रकृति होती है, अर्थात् वे दोनों कण और तरंग के रूप में व्यवहार कर सकते हैं। इस अवधारणा ने भौतिकी की समझ को एक नई दिशा दी है। वैज्ञानिकों ने यह निष्कर्ष निकाला है कि ब्रह्मांड की मूल संरचना अत्यंत सूक्ष्म और कंपनशील तारों या स्ट्रिंग्स से बनी है, जो विभिन्न ऊर्जा स्तरों पर दोलित होकर पदार्थ और बलों की विविधता उत्पन्न करती हैं। इस सिद्धांत को सुपरस्ट्रिंग सिद्धांत कहा जाता है। यह सिद्धांत क्वांटम यांत्रिकी और सापेक्षता के सिद्धांतों को एकीकृत करने का प्रयास करता है और यह बताता है कि ब्रह्मांड की सभी शक्तियाँ और मूलभूत कण इन सूक्ष्म स्ट्रिंग्स की विभिन्न प्रकार की स्पंदन अवस्थाओं के परिणामस्वरूप प्रकट होते हैं। यह सिद्धांत ब्रह्मांड की उत्पत्ति, समय, स्थान, और विभिन्न आयामों की जटिल संरचना को समझाने में एक क्रांतिकारी दृष्टिकोण प्रदान करता है। वैज्ञानिक अभी भी इस पर शोध कर रहे हैं और इस सिद्धांत को प्रमाणित करने के लिए प्रयोगों और गणनाओं में जुटे हुए हैं।

जहाँ तक इंजीनियरिंग अनुप्रयोगों की बात है, बोहर (Bohr) के परमाणु मॉडल को पर्याप्त और उपयुक्त माना जाता है। इस मॉडल के आधार पर ठोस अवस्था भौतिकी (Solid State Physics) का अध्ययन किया जाता है, जिसका उद्देश्य विभिन्न सामग्रियों के गुणों को समझना और उनके व्यवहार को स्पष्ट करना है। यह अध्ययन इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा अवस्थाओं, बंधनों, और परमाणुओं के बीच पारस्परिक क्रियाओं पर केंद्रित होता है।

बोहर के मॉडल ने यह व्याख्या की कि परमाणु में इलेक्ट्रॉन निश्चित कक्षाओं या कक्षीयों (orbits) में घूमते हैं और वे केवल निश्चित ऊर्जा स्तरों पर ही मौजूद हो सकते हैं। यह सिद्धांत न केवल भौतिकी के मूलभूत नियमों को समझाने में सहायक है, बल्कि अर्धचालक (Semiconductors), सुपरकंडक्टर (Superconductors), और नैनो-सामग्री (Nanomaterials) जैसे आधुनिक उपकरणों और सामग्रियों के विकास के लिए भी आधार प्रदान करता है।

इंजीनियरिंग में, बोहर (Bohr) के परमाणु मॉडल का उपयोग इलेक्ट्रॉनिक्स, संचार प्रणाली, और ऊर्जा संचरण उपकरणों के डिज़ाइन और निर्माण में किया जाता है। ठोस अवस्था भौतिकी के नियमों का पालन करते हुए निर्मित उपकरणों में उच्च विश्वसनीयता और दीर्घकालिक स्थिरता सुनिश्चित की जाती है, जो तकनीकी विकास और नवाचार का एक मजबूत आधार बनाते हैं। अतः, हम बोहर (Bohr) के परमाणु मॉडल पर आधारित चर्चा कारेंगें।

विद्युत आवेश के समान चिह्न वाले कण एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं, और कण विपरीत चिन्ह वाले एक दूसरे को आकर्षित करते हैं। आवेश की ध्रुवता (पोलेरिटी), आवेश का वह गुण है जिससे आवेश के प्रकार - धनात्मक या ऋणात्मक आवेश निर्धारित किए जाते हैं। एक वास्तु को आवेशित तब कहा जाता है, जब वास्तु पर आवेश उपस्थित हो अन्यथा उसे अनावेशित कहते हैं। विद्युत क्षेत्र किसी भी विद्युत आवेशित निकाय या कण पर एक आकर्षक/ प्रतिकर्षण बल प्रयुक्त करता है। बल से विस्थापन होता है, अतएव विद्युत क्षेत्र कार्य करने की क्षमता रखता है। कार्य करने की इस क्षमता को विद्युत ऊर्जा कहा जाता है। किसी वस्तु के विद्युत आवेशित कण और उनके विद्युत क्षेत्र, किसी भी पदार्थ के दो अवियोजित (undivided) रूप है।

भौतिकी का एक आधारभूत अवलोकन यह भी है कि एक गतिमान आवेशित कण अपने गति मार्ग के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। चूंकि गतिमान आवेशित कणों से एक विद्युत धारा उत्पन्न होती है, इसलिय हम कह सकते है कि विद्युत धारा के चारों ओर एक चुंबकीय क्षेत्र विद्यमान रहता है। विद्युतचुंबकत्व (Electromagnetism) की यह विशेषता, जो विद्युत और चुंबकीय प्रभावों के संयुक्त अध्ययन पर आधारित है, अपने आप में एक अद्भुत रहस्य है। यह विज्ञान न केवल प्रकृति के मौलिक सिद्धांतों को उजागर करता है, बल्कि आधुनिक तकनीकी प्रगति का भी आधार है।

विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र आपस में गहराई से जुड़े हुए हैं, और इनका परस्पर प्रभाव कई रोचक घटनाओं को जन्म देता है। उदाहरण के लिए, जब किसी चालक तार में विद्युत धारा प्रवाहित होती है, तो उसके चारों ओर एक चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। इसी प्रकार, परिवर्तित चुंबकीय क्षेत्र विद्युत धारा उत्पन्न कर सकता है, जिसे प्रेरण (Induction) कहा जाता है।

इस सिद्धांत ने विद्युत मोटर, जनरेटर, ट्रांसफार्मर, और संचार प्रणालियों जैसे उपकरणों के विकास को संभव बनाया है। माइक्रोवेव, रेडियो तरंगें, और एक्स-रे जैसी विद्युतचुंबकीय तरंगें चिकित्सा, दूरसंचार, और अंतरिक्ष अनुसंधान में क्रांतिकारी उपयोग प्रदान करती हैं।

विद्युतचुंबकत्व का यह अद्भुत संतुलन यह भी दर्शाता है कि प्रकृति किस प्रकार विभिन्न बलों को एकीकृत करती है, और इसका अध्ययन वैज्ञानिकों और इंजीनियरों के लिए नए आविष्कारों और खोजों के द्वार खोलता है।

आम तौर पर, हम पदार्थों का वर्गीकरण उनमें आवेश की गति करने की क्षमता के अनुसार करते है। विद्युत् चालक वे पदार्थ हैं, जिनके माध्यम से आवेश तेजी से स्वतंत्र रूप से प्रवाहित हो सकता है; उदाहरणार्थ: धातुएँ (जैसे सामान्य लैंप में प्रयुक्त तांबे का तार), मानव शरीर, और नल का पानी इत्यादि शामिल हैं। विद्युत्-रोधी अथवा कुचालक- जिन्हें कुचालकर या विद्युतरोधी भी कहा जाता है- वो पदार्थ हैं जिसके माध्यम से आवेश स्वतंत्र रूप से **नहीं** प्रवाहित हो सकता है; उदाहरणार्थ: रबर (जैसे कि सामान्य लैंप तार पर इन्सुलेशन), प्लास्टिक, कांच, और रासायनिक रूप से शुद्ध पानी। सेमीचालक या अर्धचालक - वे पदार्थ हैं जो चालक और विद्युत्-रोधी अथवा कुचालक के बीच मध्यवर्ती होते हैं; उदाहरणार्थ: कंप्यूटर चिप्स में प्रयुक्त सिलिकॉन और जर्मेनियम। अतिचालक या सुपरचालक - ऐसे पदार्थ हैं जो पूर्ण सुचालक हैं, जो बिना कोई बाधा के आवेश को प्रवाहित होने देते हैं।