

# Index

## A

- Abelian groups *vol.1* : *p.*24
- Adjoint operators *vol.1* : *pp.*43 – 44, 87, 103  
*vol.3* : *pp.*134 – 135
- Adjugate matrix *vol.2* : *pp.*120 – 121
- Affine spaces *vol.1* : *p.*93
- Asymptotically stable *vol.2* : *p.*76  
*vol.3* : *pp.*82 – 84  
*vol.4* : *p.*7
- Attracting fixed point *vol.2* : *p.*76  
*vol.3* : *pp.*83 – 84
- Attractiveness *vol.3* : *p.*83
- Autonomous systems *vol.1* : *p.*7

## B

- Basin boundary *vol.2* : *p.*89
- Basin of attraction *vol.2* : *p.*89
- Basis *vol.2* : *pp.*125 – 127
- Bendixson's theorem *vol.4* : *pp.*25 – 26
- Bifurcation *vol.1* : *pp.*11 – 12, 63 – 64  
*vol.4* : *pp.*12 – 13
- Bifurcation (fold) *vol.4* : *pp.*12 – 13
- Bifurcation (transcritical) *vol.4* : *pp.*12 – 15
- Bifurcation diagram *vol.4* : *pp.*12, 15 – 17
- Body velocity *vol.1* : *p.*38

## C

- Carrying capacity *vol.4* : *p.*9
- Causal systems *vol.2* : *p.*152  
*vol.3* : *pp.*3 – 4
- Cayley-hamilton theorem *vol.2* : *pp.*139 – 140  
*vol.3* : *pp.*121 – 122
- Centers (equilibrium point) *vol.4* : *p.*22
- Centroid of area *vol.1* : *pp.*4 – 6
- Characteristic equation *vol.2* : *pp.*77, 138 – 139  
*vol.3* : *p.*37
- Column space *vol.2* : *pp.*133 – 134
- Complex conjugate transpose *vol.3* : *pp.*40 – 44
- Condition number (of a matrix) *vol.3* : *pp.*61 – 62
- Connection vector field *vol.1* : *pp.*118 – 119
- Conservative system *vol.2* : *pp.*89 – 91, 103
- Conservative vector fields *vol.1* : *pp.*145 – 146
- Conserved quantity *vol.2* : *p.*90
- Constraint, holonomic *vol.1* : *pp.*76 – 77
- Constraint, nonholonomic *vol.1* : *pp.*110 – 117, 135 – 136
- Contour *vol.2* : *pp.*91 – 92
- Controllability *vol.3* : *p.*132

Controllability gramian	<i>vol.3 : p.135</i>
Convolution	<i>vol.3 : pp.2 – 4</i>
Convolution (discrete)	<i>vol.3 : pp.14, 17</i>
Coordinate transformation matrix	<i>vol.2 : pp.128 – 129</i> <i>vol.4 : pp.18, 20</i>
Coordinate vector	<i>vol.2 : pp.126 – 127</i>
Corange	<i>vol.2 : pp.51 – 54</i>
Corank	<i>vol.2 : pp.51 – 54</i>
Cotangent bundle	<i>vol.1 : p.126</i>
Cotangent space	<i>vol.1 : p.126</i>
Cotangent vector	<i>vol.1 : pp.127 – 130</i>
Cramer's rule	<i>vol.2 : p.121</i>
Cross product	<i>vol.1 : pp.1 – 2</i>
Curl (vector)	<i>vol.1 : p.145</i>
Curvature (constraint)	<i>vol.1 : pp.144 – 145</i>
<i>D</i>	
Dead zone nonlinearity	<i>vol.2 : p.151</i>
Deficient matrix	<i>vol.2 : pp.140 – 141</i>
Degenerate matrix	<i>vol.2 : p.139</i>
Degrees of freedom	<i>vol.1 : p.17</i>
Detectable	<i>vol.3 : pp.145 – 146, 149</i>
Determinant	<i>vol.2 : pp.78 – 81, 115 – 119</i>
Diagonal coordinate form	<i>vol.3 : pp.38 – 46</i>
Diagonalization	<i>vol.2 : pp.142 – 144</i> <i>vol.3 : p.46</i>
Diffeomorphic	<i>vol.1 : p.20</i>
Differential-algebraic equations	<i>vol.2 : pp.41 – 44, 47 – 48</i>
Differential-algebraic equations, differentiation index	<i>vol.2 : pp.47 – 48</i>
Differential-algebraic equations, model consistency	<i>vol.2 : p.44</i>
Differential-algebraic equations, regularity	<i>vol.2 : p.45</i>
Differential-algebraic equations, solution	<i>vol.2 : p.44</i>
Dimension (of a vector space)	<i>vol.2 : pp.125 – 126</i>
Direct product of two sets	<i>vol.1 : p.20</i>
Direct sum	<i>vol.1 : p.20</i>
Direct sum of two sets	<i>vol.1 : p.125</i>
Directional linearity	<i>vol.1 : p.106</i>
Distribution (allowable velocities)	<i>vol.1 : pp.112, 148 – 150</i>
Dot product	<i>vol.2 : pp.134 – 135</i> <i>vol.3 : p.41</i>
<i>E</i>	
Eigenspace	<i>vol.2 : p.140</i>
Eigenvalue	<i>vol.2 : pp.77, 138 – 145</i> <i>vol.3 : pp.36 – 45, 56 – 59</i>
Eigenvector	<i>vol.2 : pp.76 – 77, 138 – 145</i> <i>vol.3 : pp.36 – 45</i>
Eigenvector (left)	<i>vol.3 : pp.50 – 51</i>
Elementary row operators	<i>vol.2 : p.107</i>

Embedding	<i>vol.1 : p.96</i>
Equilibrium point	<i>vol.3 : pp.1, 5 – 10, 79 – 84</i> <i>vol.4 : pp.3 – 4</i>
Equivalent vectors w.r.t. functions	<i>vol.1 : pp.100 – 101</i>
Euler-lagrange equation	<i>vol.1 : p.136</i>
Existence and uniqueness theorem	<i>vol.1 : pp.11, 13</i> <i>vol.2 : p.82</i>
Exponential map	<i>vol.1 : pp.48 – 51, 103 – 104</i>
External forces	<i>vol.1 : p.1</i>
<i>F</i>	
Finite escape time	<i>vol.4 : pp.9 – 10</i>
Focus node	<i>vol.4 : p.22</i>
Fold bifurcation	<i>vol.4 : pp.12 – 13</i>
Force couple	<i>vol.1 : p.2</i>
Force couple system	<i>vol.1 : p.3</i>
Forward euler integration	<i>vol.2 : p.148</i>
Forward kinematics	<i>vol.1 : pp.78, 83 – 84</i>
Frequency response	<i>vol.3 : pp.98, 105</i>
Frobenius norm	<i>vol.3 : pp.62, 102 – 117</i>
Fundamental vector field (infinitesimal generators)	<i>vol.1 : pp.99 – 100</i>
<i>G</i>	
Gait generation	<i>vol.1 : p.124</i>
Gaussian elimination	<i>vol.2 : p.104</i>
Generalized coordinates	<i>vol.1 : p.78</i>
Geodesics	<i>vol.1 : pp.44 – 46, 51, 96 – 99</i>
Globally asymptotically stable	<i>vol.3 : p.93</i>
Gradient vector field	<i>vol.1 : pp.129 – 130</i>
Gram schmidt orthogonality procedure	<i>vol.2 : p.137</i>
Group	<i>vol.1 : pp.21, 94 – 95</i>
Group invariant vectors	<i>vol.1 : p.100</i>
Group, left/right action	<i>vol.1 : pp.24 – 29, 33, 80, 96, 137</i>
Group, symmetry	<i>vol.1 : pp.108 – 109, 137</i>
<i>H</i>	
$H_\infty$ norm	<i>vol.3 : pp.108 – 119</i>
Hartman grobman theorem	<i>vol.4 : pp.23 – 24</i>
Hartman-grobman theorem	<i>vol.2 : p.88</i>
Hermitian matrix	<i>vol.3 : p.107</i>
Heteroclinic trajectory	<i>vol.2 : p.94</i>
Holonomic constraint	<i>vol.1 : pp.76 – 77</i>
Homeomorphic	<i>vol.1 : p.19</i> <i>vol.2 : p.88</i> <i>vol.4 : p.23</i>
Homogeneity	<i>vol.3 : p.1</i>
Homogeneous equations	<i>vol.2 : p.105</i>
Hurwitz matrix	<i>vol.3 : pp.94 – 96</i>
Hyperbolic equilibrium point	<i>vol.4 : pp.22 – 24</i>
Hyperbolic fixed point	<i>vol.2 : pp.87 – 88</i>

Hysteresis	<i>vol.1 : pp.66, 70 – 71</i> <i>vol.2 : p.42</i>
<i>I</i>	
Idempotent	<i>vol.2 : p.37</i>
Image (algebra)	<i>vol.1 : p.124</i>
Impulse response	<i>vol.3 : pp.19 – 20, 29 – 30, 36</i>
Index theory	<i>vol.2 : pp.98 – 101</i>
Induced norm	<i>vol.3 : pp.103 – 104</i>
Infinity norm	<i>vol.3 : pp.100 – 101</i>
Inner product	<i>vol.2 : pp.134 – 135</i> <i>vol.3 : p.41</i>
Internal forces	<i>vol.1 : p.1</i>
Intersection (spaces)	<i>vol.2 : pp.130 – 131</i>
Invariance	<i>vol.1 : p.139</i>
Isocline	<i>vol.2 : pp.74, 84</i>
Isomorphic	<i>vol.1 : p.22</i>
<i>J</i>	
Jacobi-liouville formula	<i>vol.3 : p.27</i>
Jacobian	<i>vol.1 : pp.84 – 86</i> <i>vol.2 : p.85</i>
Jordan blocks	<i>vol.3 : pp.46 – 50, 56 – 59, 77 – 78</i>
<i>K</i>	
K-step observability matrix	<i>vol.3 : pp.138 – 139</i>
Kalman rank test	<i>vol.3 : p.136</i>
Kernel	<i>vol.1 : pp.124 – 125</i>
Kinematic locomotion	<i>vol.1 : pp.105 – 107</i>
<i>L</i>	
L1 norm	<i>vol.3 : pp.100 – 101</i>
L2 induced gain of a system	<i>vol.3 : p.108</i>
L2 norm	<i>vol.3 : pp.100 – 101</i>
Lagrangian	<i>vol.2 : p.45</i>
Lagrangian multipliers	<i>vol.2 : pp.45 – 46</i> <i>vol.3 : p.126</i>
Laplace transform	<i>vol.2 : p.147</i> <i>vol.3 : pp.29 – 33</i>
Liapunov fixed point	<i>vol.2 : p.76</i>
Lie algebra	<i>vol.1 : pp.41, 98 – 100, 103, 151 – 152</i>
Lie bracket	<i>vol.1 : pp.148 – 150</i> <i>vol.2 : p.1</i>
Lie groups	<i>vol.1 : pp.21, 96 – 99</i>
Lifted actions	<i>vol.1 : pp.31 – 42, 52 – 54, 85, 137 – 138</i>
Limit cycle	<i>vol.3 : p.82</i> <i>vol.4 : pp.10 – 12</i>
Linear combination	<i>vol.2 : p.124</i>
Linear equations	<i>vol.2 : p.104</i>
Linear independence	<i>vol.2 : pp.124 – 125</i>
Linear time invariance	<i>vol.2 : p.152</i>

Linear transformation	<i>vol.3 : pp.8 – 9, 17</i>
Linearity	<i>vol.2 : pp.131 – 133</i>
Linearity (mapping)	<i>vol.3 : p.15</i>
Linearity (systems)	<i>vol.1 : pp.106 – 107</i>
	<i>vol.2 : p.152</i>
	<i>vol.3 : p.1</i>
Linearization at a fixed point	<i>vol.1 : pp.10 – 11</i>
	<i>vol.2 : pp.84 – 85</i>
	<i>vol.3 : pp.1, 7 – 10</i>
	<i>vol.4 : pp.5 – 8, 23 – 24</i>
Local connection	<i>vol.1 : pp.114 – 117, 120, 122 – 123, 130, 142</i>
Locomotion	<i>vol.1 : p.104</i>
Logistic equation	<i>vol.4 : p.9</i>
Lorenz attractor	<i>vol.4 : p.12</i>
Lotka-volterra model of competition	<i>vol.2 : p.88</i>
Lyapunov functions	<i>vol.3 : pp.85 – 96, 117 – 119, 124 – 126</i>
<i>M</i>	
Manifolds	<i>vol.1 : pp.17 – 19, 93</i>
Manifolds, accessible	<i>vol.1 : pp.76 – 78</i>
Manifolds, $c^k$ -differentiable	<i>vol.1 : p.20</i>
Manifolds, curvature	<i>vol.1 : p.93</i>
Manifolds, stable	<i>vol.2 : p.89</i>
Manifolds, topology	<i>vol.1 : p.93</i>
Marginally stable	<i>vol.3 : pp.53, 56</i>
Markov parameters	<i>vol.3 : p.20</i>
Matrix cofactor	<i>vol.2 : pp.111, 118 – 120</i>
Matrix determinant	<i>vol.2 : pp.115 – 119</i>
Matrix exponentiation	<i>vol.3 : pp.26 – 27, 36</i>
Matrix inverse	<i>vol.2 : pp.110 – 115</i>
Matrix minor	<i>vol.2 : p.111</i>
Matrix operations	<i>vol.2 : p.106</i>
Matthew equation	<i>vol.3 : p.27</i>
Memoryless systems	<i>vol.2 : p.152</i>
	<i>vol.3 : p.4</i>
Minimum energy input	<i>vol.3 : pp.127 – 129, 133 – 136</i>
Modal contributions of initial conditions	<i>vol.3 : pp.41 – 45, 51</i>
Modal decomposition	<i>vol.3 : pp.35 – 45, 51</i>
Model consistency	<i>vol.2 : p.44</i>
Model uncertainty	<i>vol.3 : pp.109 – 115</i>
Modular addition	<i>vol.1 : p.21</i>
Momentum	<i>vol.1 : pp.138 – 140</i>
Monotonic function	<i>vol.1 : p.13</i>
Multiplicative calculus	<i>vol.1 : pp.34 – 38, 46 – 47</i>
<i>N</i>	
Negative semidefinite matrix	<i>vol.3 : p.93</i>
Neumann series	<i>vol.3 : p.22</i>
Neutrally stable	<i>vol.2 : p.76</i>

Nilpotent matrix	<i>vol.3 : p.35</i>
Node	<i>vol.4 : p.21</i>
Noether's theorem	<i>vol.1 : pp.131 – 134</i>
Noncommutativity	<i>vol.1 : p.147</i>
Nonconservativity	<i>vol.1 : pp.145 – 147</i>
Nonholonomic constraint	<i>vol.1 : pp.110 – 117, 135 – 136</i>
Normal matrix	<i>vol.3 : pp.36 – 46</i>
Nullcline	<i>vol.2 : p.84</i>
Nullity	<i>vol.2 : p.134</i>
Nullspace	<i>vol.2 : pp.132 – 134</i>
<i>O</i>	
Observability	<i>vol.3 : pp.136 – 139</i>
Observer based controller	<i>vol.3 : pp.148 – 149</i>
One-form	<i>vol.1 : pp.125, 127 – 129</i>
Optimal frame	<i>vol.1 : p.83</i>
Orthogonal compliment	<i>vol.2 : pp.137 – 138</i>
Orthogonal set	<i>vol.2 : p.135</i>
Orthonormal	<i>vol.2 : pp.135 – 136</i>
Orthonormal basis	<i>vol.2 : p.136</i>
Outer product	<i>vol.2 : p.136</i>
Output feedback design	<i>vol.3 : p.147</i>
Overdetermined system	<i>vol.2 : pp.19, 41</i>
<i>P</i>	
P norm	<i>vol.3 : pp.100 – 102</i>
Parallel linkage mechanisms	<i>vol.3 : pp.59 – 60</i>
Pbh test	<i>vol.3 : p.136</i>
Pendulum	<i>vol.4 : pp.7 – 8</i>
Pfaffian constraint	<i>vol.1 : pp.111 – 117</i>
Phase (angle)	<i>vol.2 : p.61</i>
Phase coordinate form	<i>vol.3 : p.6</i>
Phase drift	<i>vol.2 : p.68</i>
Phase lock	<i>vol.2 : p.67</i>
Phase portrait	<i>vol.1 : pp.7 – 9</i> <i>vol.2 : pp.74, 83</i> <i>vol.3 : p.35</i> <i>vol.4 : pp.5, 17 – 19</i>
Pitchfork bifurcation	<i>vol.4 : pp.12, 15 – 17</i>
Poles (transfer function)	<i>vol.2 : p.147</i> <i>vol.3 : pp.58 – 59</i>
Position trajectory	<i>vol.1 : p.105</i>
Positive definite matrix	<i>vol.3 : p.87</i>
Positive invariant set	<i>vol.4 : p.21</i>
Positive semidefinite matrix	<i>vol.3 : p.125</i>
Potentials	<i>vol.1 : p.17</i>
Power spectral density	<i>vol.3 : pp.116 – 119</i>
Preimage (algebra)	<i>vol.1 : p.124</i>
Principally kinematic system	<i>vol.1 : p.139</i>

Principle minors	<i>vol.3 : p.88</i>
Principle of least action	<i>vol.1 : pp.131 – 133</i>
Projection operator	<i>vol.2 : p.37</i>
<i>Q</i>	
Quadratic programming	<i>vol.3 : pp.125 – 126</i>
<i>R</i>	
Radially unbounded	<i>vol.3 : p.89</i>
Range (matrix)	<i>vol.2 : pp.132 – 133</i>
Range of entrainment	<i>vol.2 : pp.68 – 69</i>
Rank	<i>vol.2 : pp.51, 53 – 54, 132 – 134</i>
Reachability	<i>vol.3 : pp.120 – 126, 130, 132</i>
Reachability gramian	<i>vol.3 : pp.124 – 129, 133 – 135</i>
Reaction force	<i>vol.1 : p.4</i>
Realization theory	<i>vol.2 : p.149</i>
Reconstruction equation	<i>vol.1 : pp.114 – 123, 138</i>
Region of attraction	<i>vol.4 : p.15</i>
Regular control problem	<i>vol.2 : p.45</i>
Resolvent	<i>vol.3 : pp.17 – 18, 30, 36</i>
Resonance	<i>vol.3 : p.50</i>
Reversible system	<i>vol.2 : pp.92 – 95</i>
Rigid body	<i>vol.1 : p.23</i>
Rigid body, left lifted action	<i>vol.1 : pp.38 – 41</i>
Rigid body, right lifted action	<i>vol.1 : pp.41 – 43</i>
Routh-hurwitz criterion	<i>vol.3 : pp.77 – 80</i>
Row echelon form	<i>vol.2 : p.107</i>
Row space	<i>vol.2 : p.134</i>
Runge-kutta method	<i>vol.2 : p.83</i>
<i>S</i>	
Saddle connection	<i>vol.2 : p.94</i>
Saddle node	<i>vol.4 : pp.19 – 21</i>
Semidirect product of two sets	<i>vol.1 : p.24</i>
Separatrix	<i>vol.2 : p.89</i>
Shape trajectory	<i>vol.1 : p.105</i>
Shift operator	<i>vol.3 : pp.1 – 2</i>
Signal norms	<i>vol.3 : pp.96 – 104</i>
Similar matrices	<i>vol.2 : p.142</i>
Singular matrix	<i>vol.2 : pp.41 – 42, 51, 110, 122</i>
Singular value decomposition	<i>vol.3 : pp.104 – 110, 128 – 129</i>
Singular vectors	<i>vol.3 : p.106</i>
Sink node	<i>vol.4 : pp.19, 21</i>
Small-gain theorem	<i>vol.3 : pp.109 – 114</i>
Solution, differential-algebraic equations	<i>vol.2 : p.44</i>
Source node	<i>vol.4 : pp.19, 21</i>
Span	<i>vol.2 : pp.124 – 125</i>
Spatial velocity	<i>vol.1 : pp.43, 85</i>
Special euclidean group	<i>vol.1 : p.23</i>
	<i>vol.2 : pp.1 – 2</i>

Special orthogonal group, $so(n)$	<i>vol.1</i> : p.22
Stability	<i>vol.2</i> : pp.1 – 2 <i>vol.3</i> : pp.80 – 84 <i>vol.4</i> : p.5
Stabilizable	<i>vol.3</i> : pp.141 – 143, 149
Stable	<i>vol.2</i> : p.76 <i>vol.3</i> : pp.53 – 59, 91 – 94 <i>vol.4</i> : p.5
State estimator controller	<i>vol.3</i> : pp.144 – 147
State feedback controller	<i>vol.3</i> : pp.140 – 144
State space model	<i>vol.2</i> : pp.147 – 150 <i>vol.3</i> : p.5
State transition matrix	<i>vol.3</i> : pp.11 – 13
State vector	<i>vol.2</i> : pp.147 – 149 <i>vol.3</i> : p.5
Strain energy	<i>vol.2</i> : pp.5 – 7
Structural stability	<i>vol.2</i> : p.88
Subcritical pitchfork bifurcation	<i>vol.4</i> : p.17
Subspace	<i>vol.2</i> : pp.129 – 130
Sum (spaces)	<i>vol.2</i> : pp.130 – 131
Supercritical pitchfork bifurcation	<i>vol.4</i> : pp.15 – 16
Superposition	<i>vol.3</i> : pp.1, 13
Supremum	<i>vol.3</i> : p.98
Symmetric matrix	<i>vol.2</i> : p.144 <i>vol.3</i> : pp.86 – 96
Symmetry	<i>vol.1</i> : pp.108 – 109, 131
System norms	<i>vol.3</i> : pp.99 – 120
<i>T</i>	
Tangent spaces	<i>vol.1</i> : pp.29 – 30
Taylor series expansion	<i>vol.3</i> : pp.7 – 8 <i>vol.4</i> : p.6
Tensor product	<i>vol.1</i> : p.20
Time invariance	<i>vol.2</i> : p.152 <i>vol.3</i> : pp.1 – 4
Time-reversal symmetry	<i>vol.2</i> : pp.92 – 93
Toeplitz matrix	<i>vol.3</i> : p.3
Trace	<i>vol.2</i> : pp.78 – 80
Traction	<i>vol.3</i> : pp.60 – 61
Transcritical bifurcation	<i>vol.4</i> : pp.12 – 15
Transfer function	<i>vol.2</i> : pp.146 – 147, 150 <i>vol.3</i> : pp.18 – 20, 36, 52
Transmission	<i>vol.3</i> : p.61
<i>U</i>	
Underactuated robotic mechanisms	<i>vol.3</i> : pp.59 – 77
Underactuated system	<i>vol.1</i> : p.104
Underdetermined system	<i>vol.2</i> : pp.19, 41
Unitary diagonal coordinate transformation	<i>vol.3</i> : pp.38 – 43, 50



Unstable	<i>vol.2 : p.76</i>
<i>V</i>	
Van der pol oscillator	<i>vol.4 : pp.11 – 12</i>
Variance amplification	<i>vol.3 : p.117</i>
Variations of constants formula	<i>vol.3 : pp.24, 54</i>
Varignon's theorem	<i>vol.1 : p.1</i>
Vector field	<i>vol.1 : pp.30 – 31</i> <i>vol.2 : p.74</i>
Vector mapping	<i>vol.2 : p.127</i>
Vector space	<i>vol.2 : pp.122 – 123</i>
Vertical space	<i>vol.1 : p.125</i>
Virtual work	<i>vol.3 : pp.63 – 64</i>
<i>W</i>	
White-in-time gaussian processes	<i>vol.3 : pp.115 – 119</i>
Work (mechanical)	<i>vol.1 : p.145</i>
<i>Z</i>	
Z-transform	<i>vol.3 : pp.14 – 22</i>
Zero set	<i>vol.1 : pp.76, 110 – 111</i>
Zeros (transfer function)	<i>vol.2 : p.147</i>