

目录

| | |
|-----------------|-----|
| 铜线 | 003 |
| 胶带 | 011 |
| BOBBIN | 013 |
| CORE..... | 017 |
| TEFLON 套管 | 035 |
| 安规要求 | 036 |
| ROHS 知识 | 040 |
| 变压器经验公式 | 044 |
| 分贝解说 | 049 |
| 电磁基本定律 | 052 |

漆包铜线

公制漆包线规格(JIS 0,1,2,3)

| 导体 | 导线 | 0 种 | 1 种 | | 最大 | 2 种 | | 3 种 | | 最大 | 重量 | 导体 |
|------|--------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------|------|
| 直径 | 截面积 | 最大 | 最小 | 最大 | 导体电阻 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 导体电阻 | kg / km | 直径 |
| (mm) | (mm ²) | 完成外径 | 皮膜厚 | 完成外径 | Ω / km (20℃) | 皮膜厚 | 完成外径 | 皮膜厚 | 完成外径 | Ω / km (20℃) | | (mm) |
| 0.04 | 0.0013 | — | — | — | — | 0.03 | 0.056 | 0.002 | 0.052 | 15670 | 0.01153 | 0.04 |
| 0.05 | 0.0020 | — | — | — | — | 0.04 | 0.069 | 0.003 | 0.064 | 10240 | 0.01745 | 0.05 |
| 0.06 | 0.0028 | — | — | — | — | 0.04 | 0.081 | 0.003 | 0.075 | 6966 | 0.02595 | 0.06 |
| 0.07 | 0.0038 | — | — | — | — | 0.04 | 0.091 | 0.003 | 0.085 | 4990 | 0.0350 | 0.07 |
| 0.08 | 0.0050 | — | — | — | — | 0.05 | 0.103 | 0.003 | 0.097 | 3778 | 0.0460 | 0.08 |
| 0.09 | 0.0064 | — | — | — | — | 0.05 | 0.113 | 0.003 | 0.107 | 2959 | 0.0580 | 0.09 |
| 0.10 | 0.0079 | 0.156 | 0.009 | 0.140 | 2647 | 0.05 | 0.125 | 0.003 | 0.118 | 2381 | 0.0698 | 0.10 |
| 0.11 | 0.0095 | 0.166 | 0.009 | 0.150 | 2153 | 0.05 | 0.135 | 0.003 | 0.128 | 1957 | 0.0870 | 0.11 |
| 0.12 | 0.0113 | 0.180 | 0.010 | 0.162 | 1786 | 0.06 | 0.147 | 0.004 | 0.139 | 1636 | 0.1006 | 0.12 |
| 0.13 | 0.0133 | 0.190 | 0.010 | 0.172 | 1505 | 0.06 | 0.157 | 0.004 | 0.149 | 1389 | | 0.13 |
| 0.14 | 0.0154 | 0.200 | 0.010 | 0.182 | 1286 | 0.06 | 0.167 | 0.004 | 0.159 | 1193 | 0.1368 | 0.14 |
| 0.15 | 0.0177 | 0.210 | 0.010 | 0.192 | 1111 | 0.06 | 0.177 | 0.004 | 0.169 | 1037 | | 0.15 |
| 0.16 | 0.0201 | 0.222 | 0.011 | 0.204 | 969.5 | 0.07 | 0.189 | 0.005 | 0.181 | 908.8 | 0.1788 | 0.16 |
| 0.17 | 0.0227 | 0.232 | 0.011 | 0.214 | 853.5 | 0.07 | 0.199 | 0.005 | 0.191 | 803.2 | | 0.17 |
| 0.18 | 0.0254 | 0.246 | 0.012 | 0.226 | 757.2 | 0.08 | 0.211 | 0.005 | 0.202 | 715 | 0.2263 | 0.18 |
| 0.19 | 0.0284 | 0.256 | 0.012 | 0.236 | 676.2 | 0.08 | 0.221 | 0.005 | 0.212 | 640.6 | | 0.19 |
| 0.20 | 0.0314 | 0.266 | 0.012 | 0.246 | 607.6 | 0.08 | 0.231 | 0.005 | 0.222 | 577.2 | 0.2793 | 0.20 |
| 0.21 | 0.0346 | 0.276 | 0.012 | 0.256 | 549.0 | 0.08 | 0.241 | 0.005 | 0.232 | 522.8 | | 0.21 |
| 0.22 | 0.0380 | 0.286 | 0.012 | 0.266 | 498.4 | 0.08 | 0.252 | 0.005 | 0.243 | 480.1 | | 0.22 |
| 0.23 | 0.0415 | 0.298 | 0.013 | 0.278 | 454.5 | 0.09 | 0.264 | 0.006 | 0.255 | 438.6 | 0.3694 | 0.23 |
| 0.24 | 0.0452 | 0.308 | 0.013 | 0.288 | 416.2 | 0.09 | 0.274 | 0.006 | 0.265 | 402.2 | | 0.24 |
| 0.25 | 0.0491 | 0.318 | 0.013 | 0.298 | 382.5 | 0.09 | 0.284 | 0.006 | 0.275 | 370.2 | | 0.25 |
| 0.26 | 0.0531 | 0.330 | 0.013 | 0.310 | 358.4 | 0.09 | 0.294 | 0.006 | 0.285 | 341.8 | 0.4720 | 0.26 |
| 0.27 | 0.0573 | 0.340 | 0.013 | 0.320 | 331.4 | 0.09 | 0.304 | 0.006 | 0.295 | 316.6 | | 0.27 |
| 0.28 | 0.0616 | 0.350 | 0.013 | 0.330 | 307.3 | 0.09 | 0.314 | 0.006 | 0.305 | 294.1 | | 0.28 |
| 0.29 | 0.0661 | 0.360 | 0.013 | 0.340 | 285.7 | 0.09 | 0.324 | 0.006 | 0.315 | 273.9 | 0.5872 | 0.29 |
| 0.30 | 0.0707 | 0.374 | 0.014 | 0.352 | 262.9 | 0.01 | 0.337 | 0.007 | 0.327 | 254 | 0.6435 | 0.30 |
| 0.32 | 0.0804 | 0.394 | 0.014 | 0.372 | 230.0 | 0.01 | 0.357 | 0.007 | 0.347 | 222.8 | 0.7194 | 0.32 |
| 0.35 | 0.0962 | 0.424 | 0.014 | 0.402 | 191.2 | 0.01 | 0.387 | 0.007 | 0.377 | 185.7 | 0.8553 | 0.35 |
| 0.37 | 0.1075 | 0.446 | 0.014 | 0.424 | 170.6 | 0.01 | 0.407 | 0.007 | 0.397 | 165.9 | | 0.37 |
| 0.40 | 0.1257 | 0.480 | 0.015 | 0.456 | 145.3 | 0.011 | 0.439 | 0.007 | 0.429 | 141.7 | 1.1180 | 0.40 |
| 0.45 | 0.1590 | 0.532 | 0.016 | 0.508 | 114.2 | 0.011 | 0.49 | 0.007 | 0.479 | 112.1 | 1.4140 | 0.45 |
| 0.50 | 0.1963 | 0.586 | 0.017 | 0.560 | 91.43 | 0.012 | 0.542 | 0.008 | 0.531 | 89.95 | 1.7450 | 0.50 |
| 0.55 | 0.2376 | 0.646 | 0.017 | 0.620 | 78.15 | 0.012 | 0.592 | 0.008 | 0.581 | 74.18 | 2.1120 | 0.55 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|------|
| 0.60 | 0.2827 | 0.698 | 0.017 | 0.672 | 65.26 | 0.012 | 0.644 | 0.008 | 0.632 | 62.64 | 2.5130 | 0.60 |
| 0.65 | 0.3318 | 0.752 | 0.018 | 0.724 | 55.31 | 0.012 | 0.694 | — | — | 53.26 | 2.9500 | 0.65 |
| 0.70 | 0.3848 | 0.804 | 0.019 | 0.776 | 47.47 | 0.013 | 0.746 | — | — | 45.84 | 3.4210 | 0.70 |
| 0.75 | 0.4418 | 0.860 | 0.020 | 0.830 | 41.19 | 0.014 | 0.798 | — | — | 39.87 | | 0.75 |
| 0.80 | 0.5027 | 0.914 | 0.021 | 0.882 | 36.08 | 0.015 | 0.852 | — | — | 35.17 | 4.4690 | 0.80 |
| 0.85 | 0.5675 | 0.966 | 0.022 | 0.934 | 31.87 | 0.015 | 0.904 | — | — | 31.11 | | 0.85 |
| 0.90 | 0.6362 | 1.020 | 0.023 | 0.986 | 28.35 | 0.016 | 0.956 | — | — | 27.71 | 5.6560 | 0.90 |
| 0.95 | 0.7088 | 1.072 | 0.024 | 1.038 | 25.38 | 0.017 | 1.008 | — | — | 24.84 | | 0.95 |
| 1.00 | 0.7854 | 1.138 | 0.025 | 1.102 | 23.33 | 0.017 | 1.062 | — | — | 22.49 | 6.9820 | 1.00 |
| 1.10 | 0.9503 | 1.242 | 0.026 | 1.204 | 19.17 | — | — | — | — | | | 1.10 |
| 1.20 | 1.1310 | 1.342 | 0.026 | 1.304 | 16.04 | — | — | — | — | | 10.0600 | 1.20 |
| 1.30 | 1.3273 | 1.448 | 0.027 | 1.408 | 13.61 | — | — | — | — | | | 1.30 |
| 1.40 | 1.5394 | 1.548 | 0.027 | 1.508 | 11.70 | — | — | — | — | | 13.6800 | 1.40 |
| 1.50 | 1.7671 | 1.654 | 0.028 | 1.612 | 10.16 | — | — | — | — | | | 1.50 |
| 1.60 | 2.0106 | 1.754 | 0.028 | 1.712 | 8.906 | — | — | — | — | | 17.8800 | 1.60 |
| 1.70 | 2.2698 | 1.856 | 0.029 | 1.814 | 7.781 | — | — | — | — | | | 1.70 |
| 1.80 | 2.5447 | 1.956 | 0.029 | 1.914 | 7.007 | — | — | — | — | | 22.6300 | 1.80 |
| 1.90 | 2.8353 | 2.062 | 0.030 | 2.018 | 6.278 | — | — | — | — | | | 1.90 |
| 2.00 | 3.1416 | 2.162 | 0.030 | 2.118 | 5.656 | — | — | — | — | | 27.9300 | 2.00 |
| 2.10 | 3.4636 | 2.266 | 0.031 | 2.220 | 5.123 | — | — | — | — | | 31.0000 | 2.10 |
| 2.20 | 3.8013 | 2.368 | 0.032 | 2.322 | 4.662 | — | — | — | — | | | 2.20 |
| 2.30 | 4.1548 | 2.460 | 0.032 | 2.422 | 4.260 | — | — | — | — | | 36.9400 | 2.30 |
| 2.40 | 4.5239 | 2.574 | 0.033 | 2.562 | 3.908 | — | — | — | — | | | 2.40 |
| 2.50 | 4.9087 | 2.678 | 0.034 | 2.682 | 3.598 | — | — | — | — | | | 2.50 |
| 2.60 | 5.3093 | 2.778 | 0.034 | 2.728 | 3.324 | — | — | — | — | | 47.2900 | 2.60 |
| 2.70 | 5.7256 | 2.878 | 0.034 | 2.828 | 3.079 | — | — | — | — | | | 2.70 |
| 2.80 | 6.1575 | 2.978 | 0.034 | 2.982 | 2.861 | — | — | — | — | | | 2.80 |
| 2.90 | 6.6052 | 3.078 | 0.034 | 3.028 | 2.665 | — | — | — | — | | 58.7200 | 2.90 |
| 3.00 | 7.0686 | 3.178 | 0.034 | 3.128 | 2.489 | — | — | — | — | | 64.7600 | 3.00 |
| 3.20 | 8.0425 | 3.388 | 0.034 | 3.338 | 2.198 | — | — | — | — | | 71.4900 | 3.20 |

耐温等级

| | | | | | | | | |
|--------|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 耐温等级 | Y | A | E | B | F | H | C | N |
| 温度(°C) | 90 | 105 | 120 | 130 | 155 | 180 | 220 | 200 |
| JIS 制 | | MW-6 | | MW-28 | MW-80 | MW-77 | MW-73 | MW-35 |

线号对照表

| C.W.G(中国) | | S.W.G(英国) | | A.W.G(美国) | | 线径 | 最大电阻 Ω /Km | | 概重 |
|-----------|-------------------|-----------|--------|-----------|--------|-------|-------------------|---------|--------|
| 经径 | 截面积 | 线号 | 线径 | 线号 | 线径 | d/mm | 0/1 UEW | 2/3 UEW | Kg/Km |
| d/mm | s/mm ² | | | | | 0.020 | | 68950 | |
| 0.050 | 0.0020 | 48 | 0.0406 | 44 | 0.0502 | 0.025 | | 42780 | 0.0050 |
| 0.056 | 0.0025 | 47 | 0.0508 | 43 | 0.0564 | 0.030 | | 28870 | 0.0070 |
| 0.063 | 0.0032 | 46 | 0.0610 | 42 | 0.0633 | 0.040 | | 15670 | 0.0123 |
| 0.071 | 0.0040 | 45 | 0.0711 | 41 | 0.0711 | 0.050 | | 10240 | 0.0191 |
| 0.08 | 0.0050 | 44 | 0.0813 | 40 | 0.0787 | 0.060 | | 6966 | 0.0270 |
| 0.09 | 0.0063 | 43 | 0.0914 | 39 | 0.0889 | 0.070 | | 4990 | 0.0364 |
| 0.100 | 0.0080 | 42 | 0.1020 | 38 | 0.1010 | 0.080 | | 3778 | 0.0475 |
| 0.112 | 0.0100 | 41 | 0.1120 | 37 | 0.1130 | 0.090 | | 2959 | 0.0597 |
| 0.125 | 0.0120 | 40 | 0.1220 | 36 | 0.1270 | 0.100 | 2647 | 2381 | 0.0737 |
| 0.140 | 0.0160 | 39 | 0.1320 | 35 | 0.1430 | 0.110 | 2153 | 1957 | 0.0888 |
| 0.160 | 0.0200 | 38 | 0.1520 | 34 | 0.1600 | 0.120 | 1786 | 1636 | 0.1057 |
| 0.180 | 0.0250 | 36 | 0.1930 | 33 | 0.1800 | 0.130 | 1505 | 1389 | 0.1236 |
| 0.200 | 0.0330 | 35 | 0.2130 | 32 | 0.2020 | 0.140 | 1286 | 1193 | 0.1428 |
| 0.224 | 0.0400 | 34 | 0.2340 | 31 | 0.2270 | 0.150 | 1111 | 1037 | 0.1635 |
| 0.250 | 0.0500 | 33 | 0.2540 | 30 | 0.2550 | 0.160 | 969.5 | 908.8 | 0.1863 |
| 0.280 | 0.0630 | 32 | 0.2740 | 29 | 0.2860 | 0.170 | 853.5 | 803.2 | 0.2098 |
| 0.315 | 0.0800 | 30 | 0.3150 | 28 | 0.3210 | 0.180 | 757.2 | 715.0 | 0.2355 |
| 0.355 | 0.1000 | 29 | 0.3450 | 27 | 0.3610 | 0.190 | 676.2 | 640.6 | 0.2617 |
| 0.400 | 0.1250 | 27 | 0.4170 | 26 | 0.4050 | 0.200 | 607.6 | 577.2 | 0.2895 |
| 0.450 | 0.1600 | 26 | 0.4570 | 25 | 0.4550 | 0.210 | 579.0 | 522.8 | 0.3186 |
| 0.500 | 0.2000 | 25 | 0.5080 | 24 | 0.5110 | 0.220 | 498.4 | 480.1 | 0.3490 |
| 0.560 | 0.2500 | 24 | 0.5590 | 23 | 0.5730 | 0.230 | 454.5 | 438.6 | 0.3820 |
| 0.630 | 0.3150 | 23 | 0.6100 | 22 | 0.6440 | 0.240 | 416.2 | 402.2 | 0.4154 |
| 0.710 | 0.4000 | 22 | 0.7120 | 21 | 0.7230 | 0.250 | 382.5 | 370.2 | 0.4501 |
| 0.800 | 0.5000 | 21 | 0.8130 | 20 | 0.8120 | 0.260 | 358.4 | 341.8 | 0.4862 |
| 0.900 | 0.6300 | 20 | 0.9140 | 19 | 0.9120 | 0.270 | 331.4 | 316.6 | 0.5237 |
| 1.000 | 0.8000 | 19 | 1.0160 | 18 | 1.0240 | 0.280 | 307.3 | 294.1 | 0.5626 |
| 1.120 | 1.0000 | 18 | 1.2190 | 17 | 1.150 | 0.290 | 285.7 | 273.9 | 0.6030 |
| 1.250 | 1.2500 | 17 | 1.4220 | 16 | 1.2910 | 0.300 | 262.9 | 254.0 | 0.6460 |
| 1.400 | 1.6000 | 16 | 1.6260 | 15 | 1.4500 | 0.320 | 230.0 | 222.8 | 0.7336 |

| C.W.G(中国) | | S.W.G(英国) | | A.W.G(美国) | | 线径 | 最大电阻 Ω /Km | | 概重 |
|-----------|-------------------|-----------|--------|-----------|--------|-------|-------------------|---------|--------|
| 经径 | 截面积 | 线号 | 线径 | 线号 | 线径 | d/mm | 0/1 UEW | 2/3 UEW | Kg/Km |
| d/mm | s/mm ² | | | | | 0.020 | | 68950 | |
| 0.050 | 0.0020 | 48 | 0.0406 | 44 | 0.0502 | 0.025 | | 42780 | 0.0050 |
| 0.056 | 0.0025 | 47 | 0.0508 | 43 | 0.0564 | 0.030 | | 28870 | 0.0070 |
| 0.063 | 0.0032 | 46 | 0.0610 | 42 | 0.0633 | 0.040 | | 15670 | 0.0123 |
| 0.071 | 0.0040 | 45 | 0.0711 | 41 | 0.0711 | 0.050 | | 10240 | 0.0191 |
| 0.08 | 0.0050 | 44 | 0.0813 | 40 | 0.0787 | 0.060 | | 6966 | 0.0270 |
| 0.09 | 0.0063 | 43 | 0.0914 | 39 | 0.0889 | 0.070 | | 4990 | 0.0364 |
| 0.100 | 0.0080 | 42 | 0.1020 | 38 | 0.1010 | 0.080 | | 3778 | 0.0475 |
| 0.112 | 0.0100 | 41 | 0.1120 | 37 | 0.1130 | 0.090 | | 2959 | 0.0597 |
| 0.125 | 0.0120 | 40 | 0.1220 | 36 | 0.1270 | 0.100 | 2647 | 2381 | 0.0737 |
| 0.140 | 0.0160 | 39 | 0.1320 | 35 | 0.1430 | 0.110 | 2153 | 1957 | 0.0888 |
| 0.160 | 0.0200 | 38 | 0.1520 | 34 | 0.1600 | 0.120 | 1786 | 1636 | 0.1057 |
| 0.180 | 0.0250 | 36 | 0.1930 | 33 | 0.1800 | 0.130 | 1505 | 1389 | 0.1236 |
| 0.200 | 0.0330 | 35 | 0.2130 | 32 | 0.2020 | 0.140 | 1286 | 1193 | 0.1428 |
| 0.224 | 0.0400 | 34 | 0.2340 | 31 | 0.2270 | 0.150 | 1111 | 1037 | 0.1635 |
| 0.250 | 0.0500 | 33 | 0.2540 | 30 | 0.2550 | 0.160 | 969.5 | 908.8 | 0.1863 |
| 0.280 | 0.0630 | 32 | 0.2740 | 29 | 0.2860 | 0.170 | 853.5 | 803.2 | 0.2098 |
| 0.315 | 0.0800 | 30 | 0.3150 | 28 | 0.3210 | 0.180 | 757.2 | 715.0 | 0.2355 |
| 0.355 | 0.1000 | 29 | 0.3450 | 27 | 0.3610 | 0.190 | 676.2 | 640.6 | 0.2617 |
| 0.400 | 0.1250 | 27 | 0.4170 | 26 | 0.4050 | 0.200 | 607.6 | 577.2 | 0.2895 |
| 0.450 | 0.1600 | 26 | 0.4570 | 25 | 0.4550 | 0.210 | 579.0 | 522.8 | 0.3186 |
| 0.500 | 0.2000 | 25 | 0.5080 | 24 | 0.5110 | 0.220 | 498.4 | 480.1 | 0.3490 |
| 0.560 | 0.2500 | 24 | 0.5590 | 23 | 0.5730 | 0.230 | 454.5 | 438.6 | 0.3820 |
| 0.630 | 0.3150 | 23 | 0.6100 | 22 | 0.6440 | 0.240 | 416.2 | 402.2 | 0.4154 |
| 0.710 | 0.4000 | 22 | 0.7120 | 21 | 0.7230 | 0.250 | 382.5 | 370.2 | 0.4501 |
| 0.800 | 0.5000 | 21 | 0.8130 | 20 | 0.8120 | 0.260 | 358.4 | 341.8 | 0.4862 |
| 0.900 | 0.6300 | 20 | 0.9140 | 19 | 0.9120 | 0.270 | 331.4 | 316.6 | 0.5237 |
| 1.000 | 0.8000 | 19 | 1.0160 | 18 | 1.0240 | 0.280 | 307.3 | 294.1 | 0.5626 |
| 1.120 | 1.0000 | 18 | 1.2190 | 17 | 1.150 | 0.290 | 285.7 | 273.9 | 0.6030 |
| 1.250 | 1.2500 | 17 | 1.4220 | 16 | 1.2910 | 0.300 | 262.9 | 254.0 | 0.6460 |
| 1.400 | 1.6000 | 16 | 1.6260 | 15 | 1.4500 | 0.320 | 230.0 | 222.8 | 0.7336 |

铜线漆膜厚度

| | Thin | Medium | | Thick |
|---------|------|---------|---------|---------|
| JIS | 3 | 2 | 1 | 0 |
| NEMA(美) | | single | heavy | triple |
| IEC | | Grade 1 | Grade 2 | Grade 3 |

铜线检验标准

| 品名 | 油性树脂漆包线 | 聚乙烯醇缩甲醛漆包线 | 聚酯瓷漆包线 | 聚胺基甲酸脂漆包线 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|---|---|--|--------|---------|--------|-----------|--------|----------|--------|--|---------|------|---------|--------|---------|--------|-----------|--------|----------|--------|--|---------|------|---------|--------|---------|--------|-----------|--------|----------|--------|--|---------|------|---------|--------|---------|--------|-----------|--------|----------|
| 国家标准 号 码 | CNS3984C3049 | CNS3986 C3051 | CNS3986 C3051 | CNS3986 C3051 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 符 号 | E W | P V F | P E W | U E W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 漆膜厚 度 类 别 | 1种(3.2-0.1mm)漆膜厚者 2种(1-0.025mm)漆膜薄者 | 0种(3.2-0.1mm)漆膜特厚者 1种(3.2-0.1mm)漆膜厚者 2种(1-0.025mm)漆膜薄者 | 0种(3.2-0.1mm)漆膜特厚者 1种(3.2-0.1mm)漆膜厚者 2种(1-0.05mm)漆膜薄者 | 0种(3.2-0.1mm)漆膜特厚者 1种(3.2-0.1mm)漆膜厚者 2, 3种(1-0.025mm)漆膜薄者 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 针孔试 验 | 截取长度约6公尺之试料1条, 浸入试验液中约5公尺, 导以12V之直流电压1分钟后, 产生之针孔数符合下表之规定 1种(2.0-0.3mm) 5个以下 2种(1.0-0.05mm) 8个以下 3种(0.04-0.025mm)12个以下 | 同左 但须先加热处理(125℃10分)后再行试验, 产生之针孔数符合下表之规定 0种 2个以下 1种 3个以下 2种 5个以下 | 同PVF试验法, 产生之针孔数, 须符合下表之规定 0种 2个以下 1种 3个以下 2种 5个以下 | 同PVF试验法, 产生之针孔数, 须符合下表之规定 0种 2个以下 1种 3个以下 2种 5个以下 3种 12个以下 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 卷线试 验 | 截取确无针孔之适当长度试料5条, 依下表所列平滑圆棒, 紧密卷线10次再行针孔试, 此时5条中不得有3条以上有针孔(0.37-2.0mm 施行之) | 依下表所列平滑圆棒, 紧密卷线10次, 不得有以肉眼所风之龟裂现象(0.37mm以上施行之) | 同PVF试法 | 同PVF试法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>导线直径 mm</th> <th>圆棒直径</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0-1.2</td> <td>导线直径8倍</td> </tr> <tr> <td>1.1-0.8</td> <td>导线直径6倍</td> </tr> <tr> <td>0.75-0.55</td> <td>导线直径5倍</td> </tr> <tr> <td>0.5-0.37</td> <td>导线直径4倍</td> </tr> </tbody> </table> | 导线直径 mm | 圆棒直径 | 2.0-1.2 | 导线直径8倍 | 1.1-0.8 | 导线直径6倍 | 0.75-0.55 | 导线直径5倍 | 0.5-0.37 | 导线直径4倍 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>导线直径 mm</th> <th>圆棒直径</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0-1.2</td> <td>导线直径6倍</td> </tr> <tr> <td>1.1-0.8</td> <td>导线直径5倍</td> </tr> <tr> <td>0.75-0.55</td> <td>导线直径4倍</td> </tr> <tr> <td>0.5-0.37</td> <td>导线直径3倍</td> </tr> </tbody> </table> | 导线直径 mm | 圆棒直径 | 2.0-1.2 | 导线直径6倍 | 1.1-0.8 | 导线直径5倍 | 0.75-0.55 | 导线直径4倍 | 0.5-0.37 | 导线直径3倍 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>导线直径 mm</th> <th>圆棒直径</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0-1.2</td> <td>导线直径6倍</td> </tr> <tr> <td>1.1-0.8</td> <td>导线直径5倍</td> </tr> <tr> <td>0.75-0.55</td> <td>导线直径4倍</td> </tr> <tr> <td>0.5-0.37</td> <td>导线直径3倍</td> </tr> </tbody> </table> | 导线直径 mm | 圆棒直径 | 2.0-1.2 | 导线直径6倍 | 1.1-0.8 | 导线直径5倍 | 0.75-0.55 | 导线直径4倍 | 0.5-0.37 | 导线直径3倍 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>导线直径 mm</th> <th>圆棒直径</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0-1.2</td> <td>导线直径5倍</td> </tr> <tr> <td>1.1-0.8</td> <td>导线直径4倍</td> </tr> <tr> <td>0.75-0.55</td> <td>导线直径3倍</td> </tr> <tr> <td>0.5-0.37</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | 导线直径 mm | 圆棒直径 | 2.0-1.2 | 导线直径5倍 | 1.1-0.8 | 导线直径4倍 | 0.75-0.55 | 导线直径3倍 | 0.5-0.37 |
| 导线直径 mm | 圆棒直径 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0-1.2 | 导线直径8倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1-0.8 | 导线直径6倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75-0.55 | 导线直径5倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5-0.37 | 导线直径4倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 导线直径 mm | 圆棒直径 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0-1.2 | 导线直径6倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1-0.8 | 导线直径5倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75-0.55 | 导线直径4倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5-0.37 | 导线直径3倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 导线直径 mm | 圆棒直径 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0-1.2 | 导线直径6倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1-0.8 | 导线直径5倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75-0.55 | 导线直径4倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5-0.37 | 导线直径3倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 导线直径 mm | 圆棒直径 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.0-1.2 | 导线直径5倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1-0.8 | 导线直径4倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75-0.55 | 导线直径3倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5-0.37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 伸长试 验 | 截取确无针孔之适当长度试料5条, 设标点距离为250mm而伸长10%, 再行针孔试, 此时5条中不得有3条以上有针孔(0.37mm 施行之) | 截取确无针孔之适当长度试料3条, 设标点距离为250mm, 0.35-0.1mm而伸长10%, 0.09-0.08mm而伸长5%, 伸长后以8倍之放大镜检查时, 不得有龟裂现象. | 同PVF试验法 | 同PVF试验法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 绝缘破 坏 试 验 | 2条 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

铜线检验主要参数

1. 外观: (JIS C 3003 4)

以目视,手触,指甲法等检查,

- 1.1 有无伤痕或污损;
- 1.2 表面之光滑度,光泽,颜色是否均匀;
- 1.3 以指甲刮擦,漆膜是否易脱落.

2. 构造检查: (JIS C 3003 5 (1))

用精度为 0.001mm 以上之测微计测量完成外径,导体径,漆膜厚度.

3. 针孔试验: (JIS C 3003 6)(三层绝缘线针孔为 0 个)

导体径在 0.07mm 以上者,取长度为 6 米之试料加热于 125°C/10min.(或常温下)后,浸入针孔试验液(3%之酚太酒精溶液,适量加入到 0.2%的氯化钠溶液中)中约 5m,试验液为正极,试料导体为极,施以 12V 之电流 1 分钟.

0 种 3 个及以下; 1 种 5 个及以下; 2 种 8 个及以下; 3 种 12 个及以下;

4. 耐溶剂性: (JIS C 3003 13.1)

取长 20cm 之试料 1 根,置于 125±3°C 的恒温炉中加热 10 分钟后取出,以不弯曲,不伸长之状态,将试料大约 15cm 之部份浸入温度 60±3°C 的二甲苯溶液中浸泡 30 分钟,取出以目视检查漆膜上是否有起泡或膨胀..接着对导体径 0.19 以下者采用指甲法(用指甲尖端摩擦该线);导体径 0.20 以上者采用铅笔法(将 2H 之铅笔削成刃形,并对试料以约 60 度角及约 500gf 之作用力刮擦一次).再以目视检查漆膜上是否有产生气泡或凸起,但浸渍于溶剂之端部及液面之下部 20mm 不做为试验之对象.

注:红字部份只针对漆包线,不包括三层绝缘线

5. 直焊性: (JIS C 3003 14/16)

同一线轴上取试样长约 150mm 共 3 条,分别将其一端 40mm 浸入锡炉(锡条按 CNS247 中规定的软焊料 Sn50:Pb50)中焊锡,所深入部份应均匀完全上锡(浸渍部份上端 10mm 处不做试验之对象),并且不能有碳化之黑屑.

| 漆包线 导体径(mm) | 漆包线 焊锡温度 380±5°C 焊锡时间(s) | 三层绝缘线 导体径(mm) | 三层绝缘线 焊锡温度 420±5°C 焊锡时间(s) |
|----------------|--------------------------------|------------------|----------------------------------|
| 0.32 以下 | 2 | 0.20~0.40 | 4 |
| 0.35~0.50 | 3 | 0.45~0.70 | 6 |
| 0.55~1.00 | 4 | 0.75~1.00 | 10 |
| 1.10~1.50 | 5 | | |

6. 导体电阻测试: (漆包线 JIS C 3003 17,绝缘线 JIS C 3005 4.7.1)

用惠登或交流电桥法测定试料之电阻,并算出温度为 20°C 时线长 1Km 之电阻,须符合附表之规定值.(该项试验依据 JIS CNS 3003-1984.第 19 节内容)

计算公式: $R(\Omega/km)=1 \text{ 米之电阻} \times 1000 \times \text{温度系数}$

导体电阻温度系数表(标准温度为 20℃)

| 温度℃ | 系数 | 温度℃ | 系数 | 温度℃ | 系数 |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 10 | 1.041 | 19 | 1.004 | 28 | 0.970 |
| 11 | 1.037 | 20 | 1.000 | 29 | 0.966 |
| 12 | 1.033 | 21 | 0.996 | 30 | 0.962 |
| 13 | 1.028 | 22 | 0.992 | 31 | 0.959 |
| 14 | 1.024 | 23 | 0.989 | 32 | 0.955 |
| 15 | 1.020 | 24 | 0.985 | 33 | 0.951 |
| 16 | 1.016 | 25 | 0.981 | 34 | 0.948 |
| 17 | 1.012 | 26 | 0.977 | 35 | 0.944 |
| 18 | 1.008 | 27 | 0.973 | | |

三层绝缘线导体电阻如下:

| 导体直径(mm) | 最大导体阻抗 (20℃)(mΩ/m) | 最小伸长率(%) | 导体直径(mm) | 最大导体阻抗 (20℃)(mΩ/m) | 最小伸长率(%) |
|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------------|----------|
| 0.20 | 607.6 | 15 | 0.40 | 145.3 | 20 |
| 0.21 | 549.0 | 15 | 0.45 | 114.2 | 20 |
| 0.22 | 498.4 | 15 | 0.50 | 91.43 | 20 |
| 0.23 | 454.5 | 15 | 0.55 | 78.15 | 20 |
| 0.24 | 416.2 | 15 | 0.60 | 65.26 | 20 |
| 0.25 | 382.5 | 15 | 0.65 | 55.31 | 20 |
| 0.26 | 358.4 | 15 | 0.70 | 47.47 | 20 |
| 0.27 | 331.4 | 15 | 0.75 | 41.19 | 20 |
| 0.28 | 307.3 | 15 | 0.80 | 36.08 | 25 |
| 0.29 | 285.7 | 20 | 0.85 | 31.87 | 25 |
| 0.30 | 262.9 | 20 | 0.90 | 28.35 | 25 |
| 0.32 | 230.0 | 20 | 0.95 | 25.38 | 25 |
| 0.35 | 191.2 | 20 | 1.00 | 23.33 | 25 |
| 0.37 | 170.6 | 20 | | | |

7. 伸长率: (JIS C 3003 18)

取长约 400mm 之试片,在中央部份做 250mm 之标线距离,以 $305 \pm 25\text{mm/min}$ 之速率拉伸至断裂,试片在标线之外拉断,该次试验视为无效,连接断裂部份后测量标线间长度,依下列公式算出伸长率:

伸长率(%)={连接断裂部份标线间长度(mm) - 原标点距离(mm)} ÷ 原标点距离(mm)

| 标准规格(mm) | 最小伸长率(%) | 标准规格(mm) | 最小伸长率(%) | 标准规格(mm) | 最小伸长率(%) |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|

| | | | | | |
|-------|----|-------|----|-------|----|
| 0.050 | 10 | 0.200 | 21 | 0.500 | 25 |
| 0.060 | 10 | 0.210 | 21 | 0.550 | 26 |
| 0.070 | 13 | 0.230 | 22 | 0.600 | 27 |
| 0.080 | 14 | 0.250 | 22 | 0.650 | 28 |
| 0.090 | 15 | 0.260 | 22 | 0.700 | 28 |
| 0.100 | 16 | 0.270 | 22 | 0.750 | 28 |
| 0.110 | 17 | 0.290 | 23 | 0.800 | 28 |
| 0.120 | 17 | 0.300 | 23 | 0.850 | 29 |
| 0.130 | 18 | 0.310 | 23 | 0.900 | 29 |
| 0.140 | 18 | 0.340 | 24 | 0.950 | 30 |
| 0.150 | 19 | 0.350 | 24 | 1.000 | 30 |
| 0.160 | 19 | 0.370 | 24 | 1.100 | 30 |
| 0.170 | 20 | 0.400 | 24 | 1.200 | 31 |
| 0.180 | 20 | 0.450 | 25 | 1.300 | 32 |

8. 绝缘破坏电压; (漆包线 JIS C 3003 110,绝缘线 JIS C 3005 4.6)

漆包线: 同一轴线截取样品 3 根(每根长约 350mm),将每根样品对折剪成两段,依下表中的张力及卷线圈数与自身对绞,绞合部分长约 120mm;再在每根绞线的两根导体之间施加 50Hz 或 60Hz 的正弦交流电压,试验电压以大约 500V/S 的速率均匀上升,由此测下破坏电压值,但若破坏发生在 5S 以内者,则降低升压速度,使其在 5S 以上发生破坏.

| 导体直径(mm) | 张力(kgf) | 绞数 | 导体直径(mm) | 张力(kgf) | 绞数 |
|-----------|---------|----|-----------|---------|----|
| 0.05 | 0.003 | 50 | 0.30~0.45 | 0.350 | 16 |
| 0.06~0.07 | 0.005 | 40 | 0.50~0.70 | 0.450 | 12 |
| 0.08~0.11 | 0.010 | 30 | 0.75~1.20 | 1.500 | 9 |
| 0.12~0.17 | 0.040 | 24 | 1.30~2.00 | 4.000 | 6 |
| 0.18~0.29 | 0.120 | 20 | 2.10~3.20 | 7.000 | 3 |

三层绝缘线: 同一轴线截取样品五根(每根长约 400mm),将每根样品对折剪成两段,依下表中的张力及卷线圈数与自身对绞,绞合部分长约 125mm;再在每根绞线的两根导体之间施加 50Hz 或 60Hz 的正弦交流电压,试验电压以大约 500V/S 的速率均匀上升,直至样品被击穿,样品被击穿的电压数值须大于 12000V.

| 导体直径(mm) | | 张力(N) | 绞数 |
|----------|-------|-------|----|
| 起 | 至 | | |
| 0.100 | 0.250 | 0.85 | 33 |
| 0.250 | 0.355 | 1.70 | 23 |
| 0.355 | 0.500 | 3.40 | 16 |
| 0.500 | 0.710 | 7.00 | 12 |
| 0.710 | 1.060 | 13.50 | 8 |

1. 美規線漆膜區分

美規線最厚的是: QUAD
 TRIPLE
 HEAYY
 最薄者: SINGLE

↓

依次遞減

美規線都是最外層加尼龍(COATING NYLON),習慣上稱:QPN、TPN、SPN.

2. 線漆膜的區分

應用國家或地區主要為: 臺灣和日本.
 依最外層漆膜厚度分為:

0種線 3層漆膜
 1種線 2層漆膜
 2種線 1層漆膜
 3種線 最薄漆膜

↓

漆膜等效可以參考下列標準代用:

TPN= 0 U E W + NY
 HPN= 1 U E W + NY
 SPN= 2 U E W + NY

绝缘胶带

电气胶带的构造

从一卷 3M#1350 粘贴胶带的外表,会令人联想到它所牵涉的物料科学、技术和先进生产处理等复杂性质.电气胶带的基本结构: **分离涂层(Release Coating)**、**带基/基材(Backing)**、**涂底剂(Primer Coating)**、**粘剂(Adhesive)**.以带基/基材的不同分类有: 环氧胶带(epoxy tape)、聚酸亚胺胶带 (polyimide tape)、聚四氟乙烯胶带(PTFE Tape)、乙烯树脂胶带(Vinyl Tape)、聚酯薄膜(Polyester Tape)、强化纤维胶带(Filament Tape)、合成物薄膜(Composite Tape)、玻璃布(Glass Cloth)、乙醋酸布(Acetate Cloth)、纸带(Paper)

胶带检验

(一) 粘着力:

1.工具: 拉力试验机、不锈钢片、2 kg橡胶滚轮。

2.工作说明:

(1). 割取长约 25~30 cm, 宽 25 mm胶带试片。

(2). 钢片表面以卫生纸沾溶剂(甲苯、乙酸乙酯、丙酮)拭净, 擦干。

(3). 取宽 25 mm胶带轻轻贴合于钢片中央处, 再以 2 kg橡胶滚轮对准胶带试片, 来回滚压一次。应避免钢片与胶带贴合处产生气泡。

(4). 超出钢片部分的下端胶带试带反折, 以 180° 反向拉起一小段距离(约 1~2 cm长), 露出之钢片部分, 以拉力试验机下端夹头固定。胶带试片反折部分, 固定于拉力试验机上端夹头, 启动拉力试验机进行粘着力试验。

备注 1: D/S tape (双面胶带) 检验粘着力时, 可将另一面以 0.02 mm~0.03 mm opp film 或 Mylar film (玛拉薄膜) 贴合补强以利操作。

备注 2: 热熔胶系压克力胶(6375H、8575H、N-3026EX) 之粘着力及保持力检验须于上述步骤(3), 先以电熨斗(开至最高刻度)加热 5 秒钟, 以 2 kg橡胶滚轮对准胶带试片, 来回滚压一次后, 再以其余步骤进行检验。

(二) 初期力:

1.工具: 30° 斜坡滚台、滚球—#4、#6、#8、#10、#12、#16、#20、#24、#28、#32。

2.工作说明:

(1). 割取胶带试片长约 120 mm, 宽 25 mm (有效规格=100 mm×25 mm)。

(2). 用卫生纸沾挥发性溶剂(甲苯、乙酸乙酯、丙酮)擦拭滚球, 滚台面。

(3). 胶带试片前缘置于离平顶台面下 100 mm处, 胶面(有效长度 100 mm)朝上且维持平整, 用玛拉胶带固定胶带试片前后端。

(4). 将滚球以镊夹夹起, 置于滚台之平顶边缘, 轻轻推下。

(5). 若滚球停止于胶带试片之胶面上重复三次, 取胶带试片所能粘住之最大球号, 记录为试片之初期力。

(三) 保持力:

1.工具: 保持力试验机、1 kg秤锤、钢片(上端钻有圆孔)、2 kg橡胶滚轮。

2.工作说明:

- (1). 割取长约 180 mm、宽 25 mm之胶带试片(有效规格=25 mm×25 mm)。
- (2). 钢片以挥发性溶剂(甲苯、乙酸乙酯、丙酮)擦拭干净。
- (3). 取胶带试片对正轻轻贴合于钢片中央处,以 2 kg橡胶滚轮对准胶带试片来回滚压一次。
- (4). 除去胶带试片上端多余部分,使胶带试片与钢片之有效贴合面积为 25 mm×25 mm,底端较长的胶带试片,将之反折粘勾住 1 kg秤锤。
- (5). 悬挂于保持力试验机上,开始计时,直到胶带试片从钢片上滑落,记录时间(保持力)。

(四) 张力强度:(KG/15mm)&伸长率:

1.工具: 拉力试验机。

2.工作说明:

- (1). 割取基材,长 120mm~200mm,宽 15mm 试片三张。
- (2). 基材上下两端,各以拉力试验机夹头夹住,两端点距离 D1,(即原长度)。
- (3). 启动拉力试验机,直到基材断裂为止,记录断裂时之长度 D2 及断裂时之拉力,此即为张力强度,单位为 kg/15mm。
- (4). 依下列公式,计算伸长率

$$\text{伸长率}=(D2-D1)/D1 \times 100\%$$

注意事项: 试片断裂处不得于夹头内,若拉断处位于夹头内则须重测。

(五) 耐燃性:

1.工具: 耐燃试验箱。

2.工作说明:

- (1) 割取胶带试片长约 250~300 mm、宽约 25 mm。
- (2) 将胶带上端固定于耐燃试验箱上端横杆,另一端悬空。
- (3) 以打火机点燃胶带试片下端,点着后,移开火源。

1.判定方法: 火源移开后,3 秒钟内,火必须自动熄灭,或火球滴落板面,必须立刻熄灭。

(六) 破坏电压:

1. 装置: AC DIELECTRIC TESTER。
2. 取样: 取 TAPE 25 mm×120 mm。
3. 步骤: a. 取 TAPE 置于电极之间,以电压 0.5KV/Sec 之定速测试。
b. 逐渐增加,直到 TAPE 穿破为止,(指针回复零点)记录当时之最高电压。
c. 必须求 10 点之平均值。

BOBBIN 的分类:

依据变压器的性质要求不同,按材质分为:热塑性材料,热固性材料.

热塑性材料我们常用的有尼龙(NYLON), 塑料(PET), 塑料(PBT)三种.热固性材料常用的有电木(PM).

特性及用途:

- 1.电木(PM):热固性材料,稳定性高,不易变形,耐温 150°C,可承受 370°C之高温.表面光滑,易碎,不能回收.用于耐温较高之变压器.
- 2.尼龙(NYLON):热塑性材料,工程塑料,延展性好,不易碎,耐温 115°C,易吸水,使用前先用 80°C的温度烘烤,使固性稳定.表面光滑,半透明,不易碎.一般用于耐油性强的变压器上.
- 3.塑料(PET):热塑性材料,510 系统,硬性高,易成形.不易变形,耐温 170°C,表面不光滑,不易碎,一般用于绕线管.
- 4.塑料(PBT):热塑性材料,较软,不易变形,不耐高温(160°C),表面不光滑,不易碎一般用于绕线管

*热塑性材料可回收:第一次为 20%,第二次为 15%,第三次 7%.

1. 外箱標示內容: 規格、數量、安規、廠商檢驗標識等.
2. 外觀尺寸: 線架高度、寬度、長度、槽寬、槽深等各部位尺寸;PIN 長、PIN 距、PIN 直徑、PIN 排距等尺寸;PIN 數是否相符,PIN 是否鬆動,是否露銅、氧化、刮傷、倒角等.鐵心套入線架是否太緊或卡死,上下(立式線架)或左右(臥式線架)是否還有 1.0mm 以上的余裕間隙.
3. 線架材質:是否為規格書要求材質(可從外觀上簡單地識別);各部位尺寸是否太大,影響作業;是否破損,成型不完全,射料不足,變形或污機.
4. 拉力試驗:線架結構是否能承受 5 K g (E I-3 0 以上)或 2K g (E I-3 0 以下)壓力;用手擠壓是否容易斷裂;PIN 是否能夠承受 2K g 拉力;拉 PIN 時有無 PIN 斷和塑膠崩裂的情況.
5. 耐壓試驗:線架管壁厚度是否大于 0.8mm(E I-3 0 以上)或 0.5 mm(E I-3 0 以下);能否承受 A C 5 K V 3 m A 或者 A C 4 K V 3 m A 之高壓;尼龍線架加溫 1 8 0°C 20 分鐘之後,用 1KV 1m A 高壓試驗時,不得擊穿;電木線架加溫 1 8 0°C 20 分鐘后,用 1 .2 K V 1m A 高壓試驗時,不得有擊穿現象.
6. 耐溫性: 經錫爐 450°C~500°C 3 秒鐘鍍錫,是否有掉 PIN 、PIN 紅、塑膠碳化、爆裂、熔化、變形;P C B 支架的,在 4 0 0 ±2 0 °C 時,不可有變色,銅皮不可脫落;白色塑膠線架烘烤 1 0 0°C 小時后,應無變色現象 (這樣對制程變形有抑制作用),則耐溫性良好.

| 特性 \ 材质 | | NYLON | PHENOLIC | PBT | PET | LCP | PPS |
|---------|----------------------------|--------------|------------------|-------------------|-----------|------------------|--------------------|
| 机械特性 | 扰曲强度 Kg/cm ² | 12500 Mpa | 120 | 1400-1800 | 1900 | 1420 | 2600 |
| | 洛氏硬度 | | 120 | 93 | 120 | 91 | 123 |
| 热学特性 | 热变形温度℃ | --- | 235 | 205 | 246 | 313 | 260 |
| | 熔点℃ | 260 | --- | 225 | 270 | --- | --- |
| | 耐燃性 UL94 | V-0 | V-0 | V-0 | V-0 | V-0 | V-0 |
| 电气特性 | 电阻率ohm-cm | | 10 ¹³ | >10 ¹⁶ | 1.0E+16 | 10 ¹³ | 4*10 ¹⁶ |
| | 绝缘强度 Kv/mm | | 10 | 22 | 18 | --- | 16 |
| 用途 | | 低频变压器 | 高频变压器 | 高频变压器、滤波器 | 高频变压器、滤波器 | SMD型变压器 | 低频变压器、电感器 |

UL94 判定标准

UL94 HB 可燃性标准

试片:长 125mm*宽 13mm*厚(一般为 1.5mm;3.0mm;6.0mm 厚)

实验程序

1. 每一种厚度准备了三个试片,测试前先在 23℃和 50%相对湿度下放置 48 小时;
2. 每一试片以长轴呈水平,短轴呈 45°方式固定;
3. 每一试片在 25mm 及 100mm 处画线做记号;
4. 每一试片之一端固定,低缘下方 10mm 处水平放置一片金属网;
5. 一个 20mm 高蓝色本生灯火焰燃烧试片固定之一端 30 秒钟然后移开,在火焰移开后假如试片继续燃烧,则测出火焰由前缘燃烧至 2 个记号之间所用的时间,燃烧速率以 mm/min 计算.

HB 等级的判定

1.3.0mm 到 13mm 厚度之试片,没有一个在 75mm 距离内燃烧速率超过 40mm/min;或小于 3mm 厚度之试片,没有一个在 75mm 距离内燃烧速率超过 75mm/min 或火焰在接近 100mm 记号前中止燃烧.

UL94 V-0,V-1,V-2 可燃标准

试片:长 125mm*宽 13mm*厚(一般为 0.7mm;1.5mm;3.0mm 厚)

实验程序

1. 每一厚度总共 10 个试片(分为两组)被测试;
2. 每一厚度取 5 个试片为一组在 23℃和 50%的湿度下放置 48 小时后再测试;
3. 同一厚度另取 5 个试片为一组在 70℃下放置 7 天后再测试;
4. 每一试片以长轴垂直地面方式固定;
5. 试片上端被支撑以至下端高于本生灯 10mm;
6. 蓝色 20mm 高火焰燃烧试片下端边缘中心 10 秒钟,然后移开,假如试片在 30 秒钟之内停止燃烧,则本生灯之焰再次燃烧试片下端边缘中心 10 秒,假如试片熔化,则滴下来的火焰分子掉落在距试片下端 300mm 处之棉花层.

V-0 的要求条件:

1. 在每一次本生灯火焰燃烧 10 秒钟移开后,没有任何一个试片被火焰燃烧超过 10 秒钟;
2. 每一组的 5 试片中,共 10 次火焰燃烧 10 秒钟移开后,总共火焰燃烧的时间不超过 50 秒钟;
3. 没有任何试片被火焰点燃并燃烧到试片被夹住固定的上端
4. 没有任何试片滴落的火焰分子会点燃 300mm 下之干燥的吸收性外科用棉花;
5. 没有任何试片在第二次测试火焰移开后燃烧持续超过 30 秒钟.

V-1 的要求条件:

1. 在每一次本生灯火焰燃烧 10 秒钟移开后,没有任何一个试片被火焰燃烧超过 30 秒钟;
2. 每一组的 5 试片中,共 10 次火焰燃烧 10 秒钟移开后,总共火焰燃烧的时间不超过 250 秒钟;
3. 没有任何试片被火焰点燃并燃烧到试片被夹住固定的上端
4. 没有任何试片滴落的火焰分子会点燃 300mm 下之干燥的吸收性外科用棉花;
5. 没有任何试片在第二次测试火焰移开后燃烧持续超过 60 秒钟.

V-2 的要求条件:

1. 在每一次本生灯火焰燃烧 10 秒钟移开后,没有任何一个试片被火焰燃烧超过 30 秒钟;
2. 每一组的 5 试片中,共 10 次火焰燃烧 10 秒钟移开后,总共火焰燃烧的时间不超过 250 秒钟;
3. 没有任何试片被火焰点燃并燃烧到试片被夹住固定的上端
4. 没有任何试片滴落的火焰分子会点燃 300mm 下之干燥的吸收性外科用棉花;
5. 没有任何试片在第二次测试火焰移开后燃烧持续超过 60 秒钟

UL94 5VA 和 5VB 可燃性标准

试片:长 125mm*宽 13mm*厚(一般为 3.0mm 厚)

试板:长 150mm*宽 150mm*厚(一般为 3.0mm 厚)

试片测试程序

1. 每一厚度总共 10 个试片(分为两组)被测试;
2. 每一厚度取 5 个试片为一组在 23℃和 50%的湿度下放置 48 小时后再测试;
3. 同一厚度另取 5 个试片为一组在 70℃下放置 7 天后再测试;
4. 测试棒试片以长轴垂直地面方式固定;
5. 一个高度 40mm 中是蓝色的火焰总长 125mm 高的本生灯,与垂直方向呈 20 度角放置,并使蓝色火焰的顶端接触前试片的底端,燃烧试片底端 5 秒钟后再移开火焰 5 秒钟,如此操作重复 5 次

试板测试程序

除了试板水平方式放置以外,其测试程序都与测试片之程序相同,火焰燃烧试板之底面.

5VA 的要求条件

1. 在第 5 次的火焰燃烧 5 秒钟之后,没有任何一片试片被点燃或持续燃烧超过 60 秒;
2. 没有任何试片滴落之火焰分子会点燃放置于下面 300mm 处之干燥吸收性外科用棉花层
3. 没有任何一片试板被火焰烧穿透.

5VB 的要求条件

1. 在第 5 次的火焰燃烧 5 秒钟之后,没有任何一片试片被点燃或持续燃烧超过 60 秒;
2. 没有任何试片滴落之火焰分子会点燃放置于下面 300mm 处之干燥吸收性外科用棉花层
3. 没有任何一片试板被火焰烧穿透.

| 判定标准 | HB | V-2 | V-1 | V-0 | 5VB | 5VA |
|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 试样数目 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 试板数目 | | | | | 3 | 3 |
| 火焰燃烧次数 | 1 | 2 | 2 | 2 | 5 | 5 |
| 每次火焰燃烧每一试片的燃烧秒数不能超过 | | 30 | 30 | 10 | | |
| 5个试片,两次火焰分子是否会点燃下方的棉花层 | | 250 | 250 | 50 | | |
| 滴落的火焰分子是否会点烯下方的棉花层 | | Yes | No | No | No | No |
| 每一试片最长这延烧秒数不能超过 | | 60 | 60 | 30 | | |
| 火焰是否燃烧到被夹子固定之上端 | | No | No | No | No | No |
| 第5次火焰燃烧后试片延烧秒数不能超过 | | | | | 60 | 60 |
| 3.0~13mm 厚度之试片在 75mm 内之燃烧速率(mm/min) | 40 | | | | | |
| 小于 3.0mm 厚度之试片在 75mm 距离内之燃烧速率 (mm/min) | 75 | | | | | |
| 试板是否被火焰穿透 | | | | | Yes | No |

BOBBIN 常用原料一览表

| 原料类别 | 材料规格 | 供货商 | 原产地 | UL 等级 | UL 卡号 | 最小壁厚 (mm) |
|-------------|---------------|-----|-----|--------|------------|--------------|
| 电 木 类 | T375J | 长春 | 台湾 | 94V-0 | E59481(S) | 0.79 |
| | T355J | 长春 | 台湾 | 94V-0 | E59481(S) | 0.62 |
| | PM8375 | 住友 | 日本 | 94V-0 | E41429 | 0.49 |
| | PM9630 | 住友 | 日本 | 94V-0 | E41429(M) | 0.40 |
| | PM9820 | 住友 | 日本 | 94V-0 | E41429(M) | 0.43 |
| | DAP-AM113 | 住友 | 日本 | 94V-0 | E41429 | 0.40 |
| | CP-J-8800 | 日立 | 日本 | 94V-0 | E42956 | 0.38 |
| 塑 胶 类 | PBT-4115 | 长春 | 台湾 | 94V-0 | E59481(S) | 0.82 |
| | PBT-4130 | 长春 | 台湾 | 94V-0 | E59481(S) | 0.74 |
| | PET-T10G30 | 新光 | 台湾 | 94V-0 | E107536 | 0.71 |
| | PET-FR530 | 杜邦 | 美国 | 94V-0 | E69578(M) | 0.35 |
| | LCP-E4008 | 住友 | 日本 | 94V-0 | E54705(M) | 0.30 |
| | ABS-757 | 奇美 | 台湾 | 94V-HB | E56070 | 1.50 |
| | PP-704 | 泰松 | 日本 | 94V-0 | E164708(M) | 0.75 |
| | NYLON-6210G6 | 南亚 | 台湾 | 94V-HB | E130155(M) | 0.75 |
| | NYLON-6410G5 | 南亚 | 台湾 | 94V-0 | E130155(M) | 0.75 |
| | NYLON-70G33L | 杜邦 | 美国 | 94V-HB | E41938(M) | 0.71 |
| | NYLON-FR50 | 杜邦 | 美国 | 94V-0 | E41938(M) | 0.35 |
| | NYLON-FR72G25 | 杜邦 | 美国 | 94V-0 | E41938(M) | 0.50 |
| | BASF A3X2G5 | 巴斯夫 | 德国 | 94V-0 | E41871 | 0.81 |
| | BASF A3X2G7 | 巴斯夫 | 德国 | 94V-0 | E41871 | 0.75 |

磁芯

铁氧体磁性材料可用化学分子式 MFe_2O_4 表示。式中 M 代表锰、镍、锌、铜等金属离子。铁氧体磁性是通过烧结这些金属化合物的混合物而制造出来的。铁氧体的主要特点是电阻率远大于金属磁性材料，这抑制了涡流的产生，使铁氧体磁应用于高频领域。

首先，按照预定的配方比重，把高纯、粉状的氧化物（如 Fe_2O_3 、 Mn_3O_4 、 ZnO 、 NiO 等）混合均匀，再经过煅烧、粉碎、造粒和模压成型，在高温（1000~1400 下进行烧结。烧结出的铁氧体制品通过机械加工获得成品尺寸。上述各道工序均严格的控制，以使产品的所有特性符合规定的指标。

不同的用途要选择不同的铁氧体材料。有适用于低损耗、高频特性好的系列，导率的线性材料。按照不同的适用频率范围分为：中低频段（20~150kHz）、中段（100~500kHz）、超高频段（500~1MHz）。

第二节铁氧体磁性材料的各项物理特性定义与计算公式

01) 初始磁导率 μ_i

初始磁导率是磁性材料的磁导率 (B/H) 在磁性曲线始端的极限值，即

$$\mu_i = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{H}$$

式中 μ_0 : 真空磁导率 ($4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$) ;

H: 交流磁场强度 (A/m) ;

B: 交流磁通密度 (T) 。

02) 有效磁导率 μ_e

在闭合磁路中（漏磁可以忽略），磁芯的有效磁导率可表示为：

$$\mu_e = \frac{L}{4\pi N^2} \times \frac{l_e}{A_e} \times 10^7$$

式中 L: 装有磁芯的线圈的自感量；

N: 线圈匝数；

$$\frac{l_e}{A_e} = C_1 = \text{磁芯常数 (mm}^{-1}\text{)}$$

03) 饱和磁通密度 B_s

磁化到饱和状态的磁通密度。

04) 剩余磁通密度 B_r

从磁饱和状态去处磁场后，剩余的磁通密度。

05) 矫顽力 H_c

从饱和状态去处磁场后，磁芯继续被反向的磁场磁化，直至磁通密度减小到零，此时的磁场强度称为矫顽力，

06) 损耗因素 $\tan \delta$

损耗因数是磁滞损耗、涡流损耗和剩余损耗三者之和：

$$\tan \delta = \tan \delta_h + \tan \delta_e + \tan \delta_r$$

$$= h_1 \sqrt{\frac{L}{V}} i + e_1 f + r_1$$

损耗因数也可用电阻和电抗之比来表示：

$$\tan \delta = \frac{R_m}{\omega L} = \frac{R_{eff} - R_w}{\omega L}$$

式中： $\tan \delta_e$ ：涡流损耗因数；

$\tan \delta_r$ ：剩余损耗因数；

h_1 ：磁滞损耗因数；

L ：装有磁芯的线圈的自感量（H）；

V ：磁芯体积（ m^3 ）；

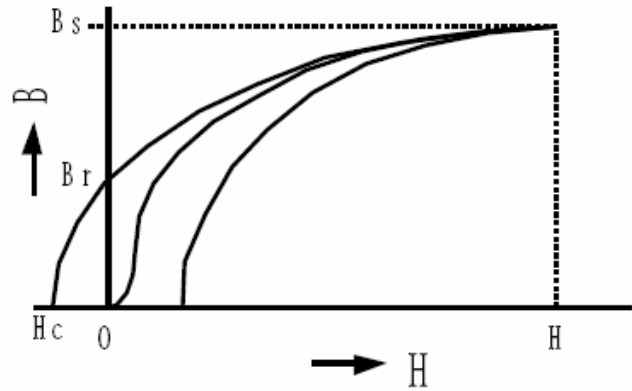
i ：电流（A）；

e_1 ：涡流损耗系数；

f ：频率（Hz）；

r_1 ：剩余损耗系数；

R_m ：磁芯损耗的等效电阻（ Ω ）；



ω : 角速度 ($2\pi f$, rad/s) ;

R_{eff} : 包括磁芯损耗的总电阻 (Ω) ;

R_w : 线圈的电阻 (Ω) ;

其中 h_1 可用下式表示:

$$h_1 = \frac{1}{\omega L} \times \sqrt{\frac{V}{L}} \times \frac{R_2 - R_1}{i_2 - i_1} \times 10^3$$

式中: R_1 : 电流为 i_1 的损耗电阻;

R_2 : 电流为 i_2 的损耗电阻;

07) 相对损耗因素 $\tan \delta / \mu_i$

相对损耗因素是损耗因数和初始磁导率之比:

$\tan \delta / \mu_i$ (适用于材料) ;

$\tan \delta / \mu_e$ (适用于磁路中含有空气隙的磁芯)

08) 品质因数 Q

品质因数为损耗因数的倒数:

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{\omega L}{R_m}$$

注: 装有磁芯的线圈的品质因数可表示为

$$Q_e = \frac{\omega L}{R_{\text{eff}}}$$

09) 温度系数 α_μ

温度系数为温度在 T_1 至 T_2 范围内变化时, 每 1°C 相应的磁导率的相对变化量:

$$\alpha_\mu = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \times \frac{1}{T_2 - T_1} \quad (T_2 > T_1)$$

式中 μ_1 : 温度为 T_1 时的初始磁导率;

μ_2 : 温度为 T_2 时的初始磁导率。

10) 相对温度系数 α_μ

这个系数为温度系数和磁导率之比，即

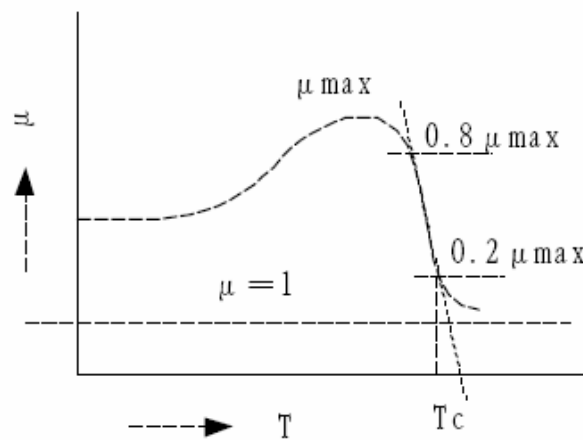
$$\alpha_{\mu} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{(\mu_1)^2} \times \frac{1}{T_2 - T_1} \quad (T_2 > T_1)$$

实际磁芯的温度系数可由下式得到：

$$\alpha_{\mu} = \alpha_{\mu_r} \times \mu_e$$

11) 居里温度 T_c

在该温度下磁芯的磁状态由铁磁性转变成顺磁性，如图：



居里温度 T_c

12) 减落因数 D_F

在恒温条件下，完全退磁后的磁芯的初始磁导率随时间的衰减变化定义为减落因数：

$$D_F = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\log \frac{T_2}{T_1}} \times \frac{1}{(\mu_i)^2} \quad (T_2 > T_1)$$

式中 μ_1 ：退磁后 t_1 分钟的初始磁导率；

μ_2 ：退磁后 t_2 分钟的初始磁导率。

通常 t_1 为 10 分钟， t_2 为 100 分钟。

13) 电阻率 ρ

具有单位截面积和单位长度的磁性材料的电阻。

14) 密度 d

密度定义为单位体积材料的重量，即

$$d = \frac{W}{V}$$

式中 W: 磁性体的重量;

V: 磁性体的体积。

15) 磁心损耗 P_c

磁芯在高磁通密度时的单位体积损耗。该磁通密度通常表示为

$$B_m = \frac{E}{4.44 f N A_e} \times 10^6 (mT)$$

式中 B_m : 磁通密度的峰值 (mT) ;

E: 线圈两端的电压 (V) ;

f: 频率 (kHz) ;

N: 线圈匝数;

A_e : 有效截面积 (mm^2) 。

磁芯损耗的常用测量方法包括乘积电压表示法和波形记忆法等。

16) 电感因数 AL

电感因数定义为具有一定形状和尺寸的磁芯上每一匝线圈产生的自感量，即

$$AL = \frac{L}{N^2}$$

式中 L: 装有磁芯的线圈的自感量 (H) ;

N: 线圈匝数。

电感因数常以 $10^{-9}H/N^2$ (nH/N^2) 为单位。

电子变压器的应用

1 电子变压器在电源技术中的作用

电子变压器和半导体开关器件，半导体整流器件，电容器一起，称为电源装置中的4大主要元器件。根据在电源装置中的作用，电子变压器可以分为：

- 1) 起电压和功率变换作用的电源变压器，功率变压器，整流变压器，逆变变压器，开关变压器，脉冲功率变压器；
- 2) 起传递宽带、声频、中周功率和信号作用的宽带变压器，声频变压器，中周变压器；
- 3) 起传递脉冲、驱动和触发信号作用的脉冲变压器，驱动变压器，触发变压器；
- 4) 起原边和副边绝缘隔离作用的隔离变压器，起屏蔽作用的屏蔽变压器；
- 5) 起单相变三相或三相变单相作用的相数变换变压器，起改变输出相位作用的相位变换变压器（移相器）；
- 6) 起改变输出频率作用的倍频或分频变压器；
- 7) 起改变输出阻抗与负载阻抗相匹配作用的匹配变压器；
- 8) 起稳定输出电压或电流作用的稳压变压器（包括恒压变压器）或稳流变压器，起调节输出电压作用的调压变压器；
- 9) 起交流和直流滤波作用的滤波电感器；
- 10) 起抑制电磁干扰作用的电磁干扰滤波电感器，起抑制噪声作用的噪声滤波电感器；
- 11) 起吸收浪涌电流作用的吸收电感器，起减缓电流变化速率的缓冲电感器；
- 12) 起储能作用的储能电感器，起帮助半导体开关换向作用的换向电感器；
- 13) 起开关作用的磁性开关电感器和变压器；
- 14) 起调节电感作用的可控电感器和饱和电感器；
- 15) 起变换电压、电流或脉冲检测信号的电压互感器、电流互感器、脉冲互感器、直流互感器、零磁通互感器、弱电互感器、零序电流互感器、霍尔电流电压检测器。

从以上的列举可以看出，不论是直流电源，交流电源，还是特种电源，都离不开电子变压器。有人把电源界定为经过高频开关变换的直流电源和交流电源。在介绍软磁电磁组件在电源技术中的作用时，往往举高频开关电源中的各种电磁组件为例证。同时，在电子电源中使用的软磁电磁组件中，各种变压器占主要地位，因此用变压器作为电子电源中软磁组件的代表，称它们为“电子变压器”。

2.1 使用条件

电子变压器的使用条件，包括两方面内容：可靠性和电磁兼容性。以前只注意可靠性，现在由于环境保护意识增强，必须注意电磁兼容性。

可靠性是指在具体的使用条件下，电子变压器能正常工作到使用寿命为止。一般使用条件中对电子变压器影响最大的是环境温度。决定电子变压器受温度影响强度的参数是软磁材料的居里点。软磁材料居里点高，受温度影响小；软磁材料居里点低，对温度变化比较敏感，受温度影响大。例如锰锌铁氧体的居里点只有 215℃，比较低，磁通密度、磁导率和损耗都随温度发生变化，除正常温度 25℃ 而外，还要给出 60℃，80℃，100℃ 时的各种参数数据。因此，锰锌铁氧体磁芯的工作温度一般限制在 100℃ 以下，也就是环境温度为 40℃ 时，温升必须低于 60℃。钴基非晶合金的居里点为 205℃，也低，使用温度也限制在 100℃ 以下。铁基非晶合金的居里点为 370℃，可以在 150℃~180℃ 以下使用。高磁导坡莫合金的居里点为 460℃ 至 480℃，可以在 200℃~250℃ 以下使用。微晶纳米晶合金的居里点为 600℃，取向硅钢居里点为 730℃，可以在 300℃~400℃ 下使用。

电磁兼容性是指电子变压器既不产生对外界的电磁干扰，又能承受外界电磁干扰。电磁干扰包括可听见的音频噪声和听不见的高频噪声。电子变压器产生电磁干扰的主要原因是磁芯的磁致伸缩。磁

致伸缩系数大的软磁材料，产生的电磁干扰大。铁基非晶合金的磁致伸缩系数通常为最大（ $27\sim 30$ ） $\times 10^{-6}$ ，必须采取减少噪声抑制干扰的措施。高磁导 Ni50 坡莫合金的磁致伸缩系数为 25×10^{-6} ，锰锌铁氧体的磁致伸缩系数为 21×10^{-6} 。以上这 3 种软磁材料属于容易产生电磁干扰的材料，在应用中要注意。3%取向硅钢的磁致伸缩系数为 $(1\sim 3)\times 10^{-6}$ ，微晶纳米晶合金的磁致伸缩系数为 $(0.5\sim 2)\times 10^{-6}$ 。这 2 种软磁材料属于比较容易产生电磁干扰的材料。6.5%硅钢的磁致伸缩系数为 0.1×10^{-6} ，高磁导 Ni80 坡莫合金的磁致伸缩系数为 $(0.1\sim 0.5)\times 10^{-6}$ ，钴基非晶合金的磁致伸缩系数为 0.1×10^{-6} 以下。这 3 种软磁材料属于不太容易产生电磁干扰的材料。由磁致伸缩产生的电磁干扰的频率一般与电子变压器的工作频率相同。如果有低于或高于工作频率的电磁干扰，那是由其它原因产生的。

2.2 完成功能

电子变压器从功能上区分主要有变压器和电感器 2 种。特殊组件完成的功能另外讨论。变压器完成的功能有 3 个：功率传送、电压变换和绝缘隔离。电感器完成功能有 2 个：功率传送和纹波抑制。

功率传送有 2 种方式。第一种是变压器传送方式，即外加在变压器原绕组上的交变电压，在磁芯中产生磁通变化，使副绕组感应电压，加在负载上，从而使电功率从原边传送到副边。传送功率的大小决定于感应电压，也就是决定于单位时间内的磁通密度变量 ΔB 。 ΔB 与磁导率无关，而与饱和磁通密度 B_s 和剩余磁通密度 B_r 有关。从饱和磁通密度来看，各种软磁材料的 B_s 从大到小的顺序为：铁钴合金为 $2.3\sim 2.4T$ ，硅钢为 $1.75\sim 2.2T$ ，铁基非晶合金为 $1.25\sim 1.75T$ ，铁基微晶纳米晶合金为 $1.1\sim 1.5T$ ，铁硅铝合金为 $1.0\sim 1.6T$ ，高磁导铁镍坡莫合金为 $0.8\sim 1.6T$ ，钴基非晶合金为 $0.5\sim 1.4T$ ，铁铝合金为 $0.7\sim 1.3T$ ，铁镍基非晶合金为 $0.4\sim 0.7T$ ，锰锌铁氧体为 $0.3\sim 0.7T$ 。作为电子变压器的磁芯用材料，硅钢和铁基非晶合金占优势，而锰锌铁氧体处于劣势。

功率传送的第二种是电感器传送方式，即输入给电感器绕组的电能，使磁芯激磁，变为磁能储存起来，然后通过去磁变成电能释放给负载。传送功率的大小决定于电感器磁芯的储能，也就是决定于电感器的电感量。电感量不直接与饱和磁通密度有关，而与磁导率有关，磁导率高，电感量大，储能多，传送功率大。各种软磁材料的磁导率从大到小顺序为：Ni80 坡莫合金为 $(1.2\sim 3)\times 10^6$ ，钴基非晶合金为 $(1\sim 1.5)\times 10^6$ ，铁基微晶纳米晶合金为 $(5\sim 8)\times 10^5$ ，铁基非晶合金为 $(2\sim 5)\times 10^5$ ，Ni50 坡莫合金为 $(1\sim 3)\times 10^5$ ，硅钢为 $(2\sim 9)\times 10^4$ ，锰锌铁氧体为 $(1\sim 3)\times 10^4$ 。作为电感器的磁芯用材料，Ni80 坡莫合金、钴基非晶合金、铁基微晶纳米晶合金占优势，硅钢和锰锌铁氧体处于劣势。

传送功率大小，还与单位时间内的传送次数有关，即与电子变压器的工作频率有关。工作频率越高，在同样尺寸的磁芯和线圈参数下，传送的功率越大。

电压变换通过变压器原绕组和副绕组匝数比来完成，不管功率传送大小如何，原边和副边的电压变换比等于原绕组和副绕组匝数比。

绝缘隔离通过变压器原绕组和副绕组的绝缘结构来完成。绝缘结构的复杂程度，与外加和变换的电压大小有关，电压越高，绝缘结构越复杂。

纹波抑制通过电感器的自感电势来实现。只要通过电感器的电流发生变化，线圈在磁芯中产生的磁通也会发生变化，使电感器的线圈两端出现自感电势，其方向与外加电压方向相反，从而阻止电流的变化。纹波的变化频率比基频高，电流纹波的电流频率比基频大，因此，更能被电感器产生的自感电势抑制。

电感器对纹波抑制的能力，决定于自感电势的大小，也就是电感量大小，与磁芯的磁导率有关，Ni80 坡莫合金、钴基非晶合金、铁基微晶纳米晶合金磁导率大，处于优势，硅钢和锰锌铁氧体磁导率小，处于劣势。

2.3 提高效率

电子变压器的损耗包括磁芯损耗（铁损）和线圈损耗（铜损）。铁损只要电子变压器投入工作，一直存在，是电子变压器损耗的主要部分。因此，根据铁损选择磁芯材料，是电子变压器设计的主要内容，铁损也成为评价软磁材料的一个主要参数。铁损与电子变压器磁芯的工作磁通密度和工作频率有关，在介绍软磁材料的铁损时，必须说明是在什么工作磁通密度下和什么工作频率下的损耗。例如，P0.5/400，表示在工作磁通密度 0.5T 和工作频率 400Hz 下的铁损。P0.1/100k 表示在工作磁通密度 0.1T 和工作频率 100kHz 下的铁损。

软磁材料包括磁滞损耗、涡流损耗和剩余损耗。涡流损耗又与材料的电阻率 ρ 成反比。 ρ 越大，涡流损耗越小。各种软磁材料的 ρ 从大到小的顺序为：锰锌铁氧体为 $108\sim 109\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，铁镍基非晶合金为 $150\sim 180\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，铁基非晶合金为 $130\sim 150\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，钴基非晶合金为 $120\sim 140\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，高磁导坡莫合金为 $40\sim 80\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，铁硅铝合金为 $40\sim 60\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，铁铝合金为 $30\sim 60\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，硅钢为 $40\sim 50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，铁钴合金为 $20\sim 40\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 。因此，锰锌铁氧体的 ρ 比金属软磁材料高 106~107 倍，在高频中涡流小，应用占优势。但是当工作频率超过一定值以后，锰锌铁氧体磁性颗粒之内的绝缘体被击穿和熔化， ρ 变得相当小，损耗迅速上升到很高水平，这个工作频率就是锰锌铁氧体的极限工作频率。

金属软磁材料厚度变薄，也可以降低涡流损耗。根据现有的电子变压器使用金属软磁材料带材的经验，工作频率和带材厚度的关系为：工频 50~60Hz 用 0.50~0.23mm ($500\sim 230\mu\text{m}$)，中频 400Hz 至 1kHz 用 0.20~0.08mm ($200\sim 80\mu\text{m}$)，1kHz 至 20kHz 用 0.10~0.025mm ($100\sim 25\mu\text{m}$)，中高频 20kHz 至 100kHz 用 0.05~0.015mm ($50\sim 15\mu\text{m}$)，高频 100kHz 至 1MHz 用 0.02~0.005mm ($20\sim 5\mu\text{m}$)，1MHz 以上，厚度小于 $5\mu\text{m}$ 。金属软磁材料带材只要降到一定厚度，涡流损耗可显著减少。不论是硅钢、坡莫合金，还是钴基非晶合金和微晶纳米晶合金都可以在中、高频电子变压器中使用，和锰锌铁氧体竞争。

2.4 降低成本

电子变压器的成本包括材料成本、制造成本和管理成本。降低成本要从这三个方面来考虑。

软磁材料成本在电子变压器的材料成本中占有相当大的比例。根据现行的市场价格，每 kg 重量的软磁材料的价格从小到大的顺序是：锰锌软磁铁氧体，硅钢，铁基非晶合金，Ni50 坡莫合金，钴基非晶合金，Ni80 坡莫合金。锰锌铁氧体在中高频范围内广泛应用，硅钢在工频范围内广泛应用，最主要的原因之一就是价格便宜。

管理成本一般约占材料和制造成本之和的 30% 左右。如果管理得好，充分利用人力和财力，有可能降到 20% 左右。充分利用人力，是指工时利用率要高，减少管理人员和工人比例等等。充分利用财力，是指缩短生产周期，减少库存，加快资金流转等等。

所以，一个好的电子变压器设计者，除了要了解电子变压器的理论和设计方法而外，还要了解各种软磁材料，电磁线，绝缘材料的性能和价格；还要了解磁芯加工和热处理工艺，线圈绕制和绝缘处理工艺和结构组装工艺；还要了解实现质量控制的检测参数和仪器设备；还要了解生产管理的基本知识以及电子变压器的市场动态等等。只有知识全面的设计者，才能设计出性能好，价格低的电子变压器。

3 新软磁材料在电子变压器中的应用

3.1 硅钢

电源技术中的工频电子变压器大量使用 3%取向硅钢，现在厚度普遍从 0.35mm 减到 0.27mm 或 0.23mm。国内生产的 23Q110 的 0.23mm 厚，3%取向硅钢，饱和磁通密度 B_s 为 1.8T，其 P1.7/50 为 1.10W/kg；27QG095 的 0.27mm 厚，3%Hi-B 取向硅钢， B_s 为 1.89T，P1.7/50 为 0.95W/kg。日本生产的 0.23mm 厚，3%取向硅钢 B_s 为 1.85T，P1.7/50 为 0.85W/kg。与国内产品相差不多。但是 0.23mm 厚

的3%取向硅钢经过特殊处理,即用电解法将表面抛光至镜面,再涂张力涂层,最后细化磁畴,可以使P1.7/50下降到0.45W/kg。同时,对要求损耗低的电子变压器,日本还进一步把厚度减薄到0.15mm,经过特殊处理,可以使P1.3/50下降到0.082~0.11W/kg和铁基非晶合金水平基本相当。

日本还用温度梯度炉高温退火新工艺,使0.15mm厚,3%取向硅钢的Bs达到1.95~2.0T,经过特殊处理,使P1.3/50为0.15W/kg,P1.7/50为0.35W/kg。采用三次再结晶新工艺,制成更薄的硅钢,Bs为2.03T,P1.3/50为0.19W/kg(0.075mm厚),0.17W/kg(0.071mm厚)和0.13W/kg(0.032mm厚)。

电源装置中的中频(400Hz至10kHz)电子变压器,除了使用0.20~0.08mm厚,3%取向硅钢外,日本已采用6.5%无取向硅钢。6.5%硅钢,磁致伸缩近似为零,可制成低噪声电子变压器,磁导率为16000~25000。 ρ 比3%硅钢高一倍,中频损耗低,例如:0.10mm厚的6.5%无取向硅钢P1/50为0.6W/kg,P1/400为6.1W/kg,P0.5/1K为5.2W/kg,P0.1/10k为8.2W/kg,Bs为1.25T。采用温轧法可以生产6.5%取向硅钢,Bs提高到1.62~1.67T。0.23mm厚的6.5%取向硅钢P1/50为0.25W/kg。日本已用6.5%硅钢制成1kHz音频变压器,在1.0T时,噪声比3%取向硅钢下降21dB,铁损下降40%,还用6.5%硅钢取代3%取向硅钢用于8kHz电焊机中,铁芯重量从7.5kg减少到3kg。6.5%硅钢国内已进行小批量生产。

与研制6.5%硅钢的同时,日本还开发了硅含量呈梯度分布的硅钢。

1) 中高频低损耗梯度硅钢,表层硅含量6.5%,电阻率高,磁导率高,磁通集中在表面,涡流也集中表面,损耗小。内部硅含量低于6.5%。总的损耗低于6.5%硅钢。例如:0.20mm厚的6.5%硅钢的P0.1/10k为16W/kg,梯度硅钢为13W/kg;P0.05/20k 6.5%硅钢为14W/kg,梯度硅钢为9W/kg。由于总的硅平均含量低于6.5%,Bs比6.5%硅钢高,可达1.90T。延伸性即加工性也比6.5%硅钢好。已经用这种梯度硅钢制成家用电器逆变器用电感器,由于Bs高,损耗低,既体积小,又发热少。

2) 低剩磁梯度硅钢,表层硅含量高,磁致伸缩小,中心层硅含量低,磁致伸缩大。表层与中心层存在的磁致伸缩差而引发应力。出现的弹性能导致剩磁低,一般饱和磁通密度Bs为1.96T,剩磁Br为0.34T。 $\Delta B=B_m-Br$ 超过1.0T(B_m 为工作磁通密度)。损耗也低,P1.2/50为1.27W/kg。可以用于脉冲变压器,单方向磁通变化电源变压器等。作为电源变压器铁芯时,还可以抑制合闸时的突发电流浪涌。

最近报导,日本开发出用于中高频电子变压器的硅钢新品种——添加铬(Cr)的硅钢。在4.5%硅钢中,添加4%铬,电阻率可达 $82\mu\Omega\cdot\text{cm}$,而一般3%取向硅钢电阻率为 $44\mu\Omega\cdot\text{cm}$,牌号为“HiFreqs”。0.1mm厚添加铬的硅钢损耗低,P0.2/5k为20.5W/kg,P0.1/10k为10W/kg,P0.05/20k为5W/kg;延伸性即加工性好,与3%硅钢一样,可以进行冲剪,铆固加工;耐腐蚀性好,在盐水和湿气中,不涂层也不腐蚀。已用这种添加铬的硅钢制成25kHz开关电源用滤波电感器,铁芯损耗为22W/kg,比6.5%硅钢(36W/kg)和铁基非晶合金(29W/kg)小。还用它制成70kHz感应加热装置电子变压器,比0.1mm厚3%取向硅钢发热显著减少,寿命延长4倍以上。

3.2 软磁铁氧体

软磁铁氧体的特点是:饱和磁通密度低,磁导率低,居里温度低,中高频损耗低,成本低。前三个低是它的缺点,限制了它的使用范围,现在正在努力改进。后两个低是它的优点,有利于进入高频市场,现在正在努力扩展。

以100kHz,0.2T和100℃下的损耗为例,TDK公司的PC40为410mW/cm³,PC44为300mW/cm³,PC47为250mW/cm³。TOKIN公司的BH1为250mW/cm³,损耗不断在下降。国内金宁生产的JP4E也达到300mW/cm³。

不断地提高工作频率,是另一个努力方向。TDK公司的PC50工作频率为500kHz至1MHz。FDK公司的7H20,TOKIN的B40也能在1MHz下工作。Philips公司的3F4,3F45,3F5工作频率都超过1MHz。

国内金宁的 JP5，天通的 TP5A 工作频率都达到 500kHz 至 1.5MHz。东磁的 DMR1.2K 的工作频率甚至超越 3MHz，达到 5.64MHz。

磁导率是软磁铁氧体的弱项。现在国内生产的产品一般为 10000 左右。国外 TDK 公司的 H5C5, Philips 公司的 3E9，分别达到 30000 和 20000。

采用 SHS 法合成 MnZn 铁氧体材料的研究，值得注意。用这种方法的试验结果表明，可以大大降低铁氧体的制造能耗和成本。国内已有试验成功的报导。

3.3 非晶和纳米晶合金

铁基非晶合金在工频和中频领域，正在和硅钢竞争。铁基非晶合金和硅钢相比，有以下优缺点。

1) 铁基非晶合金的饱和磁通密度 B_s 比硅钢低，但是，在同样的 B_m 下，铁基非晶合金的损耗比 0.23mm 厚的 3% 硅钢小。一般人认为损耗小的原因是铁基非晶合金带材厚度薄，电阻率高。这只是一个方面，更主要的原因是铁基非晶合金是非晶态，原子排列是随机的，不存在原子定向排列产生的磁晶各向异性，也不存在产生局部变形和成分偏移的晶粒边界。因此，妨碍畴壁运动和磁矩转动的能量壁垒非常小，具有前所未有的软磁性，所以磁导率高，矫顽力小，损耗低。

2) 铁基非晶合金磁芯填充系数为 0.84~0.86，与硅钢填充系数 0.90~0.95 相比，同样重量的铁基非晶合金磁芯体积比硅钢磁芯大。

3) 铁基非晶合金磁芯的工作磁通密度为 1.35T~1.40T，硅钢为 1.6T~1.7T。铁基非晶合金工频变压器的重量是硅钢工频变压器的重量的 130% 左右。但是，即使重量重，对同样容量的工频变压器，磁芯采用铁基非晶合金的损耗，比采用硅钢的要低 70%~80%。

4) 假定工频变压器的负载损耗（铜损）都一样，负载率也都是 50%。那么，要使硅钢工频变压器的铁损和铁基非晶合金工频变压器的一样，则硅钢变压器的重量是铁基非晶合金变压器的 1.8 倍。因此，国内一般人所认同的抛开变压器的损耗水平，笼统地谈论铁基非晶合金工频变压器的重量、成本和价格，是硅钢工频变压器的 130%~150%，并不符合市场要求的性能价格比原则。国外提出两种比较的方法，一种是在同样损耗的条件下，求出两种工频变压器所用的铜铁材料重量和价格，进行比较。另一种方法是对铁基非晶合金工频变压器的损耗降低瓦数，折合成货币进行补偿。每瓦空载损耗折合成 5~11 美元，相当于人民币 42~92 元。每瓦负载损耗折合成 0.7~1.0 美元，相当于人民币 6~8.3 元。例如一个 50Hz，5kVA 单相变压器用硅钢磁芯，报价为 1700 元/台；空载损耗 28W，按 60 元人民币/W 计，为 1680 元；负载损耗 110W，按 8 元人民币/W 计，为 880 元；则，总的评估价为 4260 元/台。用铁基非晶合金磁芯，报价为 2500 元/台；空载损耗 6W，折合成人民币 360 元；负载损耗 110W，折合成人民币 880 元，总的评估价为 3740 元/台。如果不考虑损耗，单计算报价，5kVA 铁基非晶合金工频变压器为硅钢工频变压器的 147%。如果考虑损耗，总的评估价为 89%。

5) 现在测试工频电源变压器磁芯材料损耗，是在畸变小于 2% 的正弦波电压下进行的。而实际的工频电网畸变为 5%。在这种情况下，铁基非晶合金损耗增加到 106%，硅钢损耗增加到 123%。如果在高次谐波大，畸变为 75% 的条件下（例如工频整流变压器），铁基非晶合金损耗增加到 160%，硅钢损耗增加到 300% 以上。说明铁基非晶合金抗电源波形畸变能力比硅钢强。

6) 铁基非晶合金的磁致伸缩系数大，是硅钢的 3~5 倍。因此，铁基非晶合金工频变压器的噪声为硅钢工频变压器噪声的 120%，要大 3~5dB。

7) 现行市场上，铁基非晶合金带材价格是 0.23mm 3% 取向硅钢的 150%，是 0.15mm 3% 取向硅钢（经过特殊处理）的 40% 左右。

8) 铁基非晶合金退火温度比硅钢低，消耗能量小，而且铁基非晶合金磁芯一般由专门生产厂制造。硅钢磁芯一般由变压器生产厂制造。

根据以上比较，只要达到一定生产规模，铁基非晶合金在工频范围内的电子变压器中将取代部分硅钢市场。在 400Hz 至 10kHz 中频范围内，即使有新的硅钢品种出现，铁基非晶合金仍将会取代大部分 0.15mm 以下厚度的硅钢市场。

非晶纳米晶合金在中高频领域中，正在和软磁铁氧体竞争。在 10kHz 至 50kHz 电子变压器中，铁基纳米晶合金的工作磁通密度可达 0.5T，损耗 $P_{0.5/20k} \leq 25W/kg$ ，因而，在大功率电子变压器中有明显的优势。在 50kHz 至 100kHz 电子变压器中，铁基纳米晶合金损耗 $P_{0.2/100k}$ 为 30~75W/kg，铁基非晶合金 $P_{0.2/100k}$ 为 30W/kg，可以取代部分铁氧体市场。

非晶纳米晶合金经过 20 多年的推广应用，已经证明其具有下述优点：

- 1) 不存在时效稳定性问题，纳米晶合金在 200℃ 以下，钴基非晶合金在 100℃ 以下，经过长期使用，性能无显著变化；
- 2) 温度稳定性比软磁铁氧体好，在 -55℃ 至 150℃ 范围内，磁性能变化 5%~10%，而且可逆；
- 3) 耐冲击振动，随电源整机在 30g 下的振动试验中，均未发生过性能恶化问题；
- 4) 铁基非晶合金脆性大大改善，带材平整度良好，可以剪切加工，也可以制成搭接式卷绕磁芯，经过 5 次弯折或拆卸，性能无显著变化。

3.4 软磁复合材料

经过争论，现在对磁粉芯等已经取得了一致认识，即认为它属于软磁复合材料。软磁复合材料是将磁性微粒均匀分散在非磁性物中形成的。与传统的金属软磁合金和铁氧体材料相比，它有很多独特的优点：磁性金属粒子分散在非导体对象中，可以减少高频涡流损耗，提高应用频率；既可以采取热压法加工成粉芯，也可以利用现在的塑料工程技术，注塑制造成复杂形状的磁体；具有密度小，重量轻，生产效率高，成本低，产品重复性和一致性好等优点。缺点是由于磁性粒子之间被非磁性体分开，磁路隔断，磁导率现在一般在 100 以内。不过，采用纳米技术和其它措施，国外已有磁导率超过 1000 的报导，最大可达 6000。

软磁复合材料的磁导率受到很多因素的影响，如磁性粒子的成分，粒子的形状，尺寸，填充密度等。因此，根据工作频率可以进行调整。

磁粉芯是软磁复合材料的典型例子。现在已在 20kHz 至 100kHz 甚至 1MHz 的电感器中取代了部分软磁铁氧体。例如铁硅铝磁粉芯，硅含量为 8.8%，铝为 5.76%，剩余全为铁。粒度为 90~45 μm，45~32 μm 和 32~30 μm。用硅树脂作粘接剂，1% 左右硬脂酸作润滑剂，在 2t/cm² 压力下，制成 $\Phi 13 \times \Phi 8 \times 5$ 的环形磁芯，在氢气中用 673° K，773° K，873° K 退火，使磁导率达到 100, 300, 600。在 100kHz 下损耗低，已经代替软磁铁氧体和 MPP 磁粉芯用于电感器中。

各种软磁材料的 ρ 从大到小的顺序为：锰锌铁氧体为 108~109 μΩ·cm，铁镍基非晶合金为 150~180 μΩ·cm，铁基非晶合金为 130~150 μΩ·cm，钴基非晶合金为 120~140 μΩ·cm，高磁导坡莫合金为 40~80 μΩ·cm，铁硅铝合金为 40~60 μΩ·cm，铁铝合金为 30~60 μΩ·cm，硅钢为 40~50 μΩ·cm，铁钴合金为 20~40 μΩ·cm。因此，锰锌铁氧体的 ρ 比金属软磁材料高 106~107 倍。

坡莫合金金属磁芯,非晶,微晶磁芯性能特点

坡莫合金金属磁芯:各类坡莫合金材料有着各自不同的,较硅钢材料与铁氧体优异的典型磁性能,有着较高的温度稳定性和时效稳定性.高初始磁导率类坡莫合金材料 (IJ79,IJ85,IJ86)铁芯常制作电流互感器,小信号变压器;高矩形度类坡莫合金材料(IJ51)铁芯 常制作磁放大器,双极性脉冲变压器;低剩磁类坡莫合金材料(IJ67h)铁芯常制作中小功率单极性脉冲变压器.

非晶磁芯:

(1)铁基非晶铁芯:在几乎所有的非晶合金铁芯中具有最高的饱和磁感应强度(1.45~1.56T),同时具有高导磁率,低矫顽力,低损耗,低激磁电流和良好的温度稳定性和时效稳定性.主要用于替代硅钢片,作为各种形式,不同功率的工频配电变压器,中频变压器,工作频率从 50Hz 到 10KHz;作为大功率开关电源电抗器铁芯,使用频率可达 50KHz.

(2)铁镍基非晶铁芯:中等偏低的饱和磁感应强度(0.75T),高导磁率,低矫顽力,耐磨耐蚀,稳定性好.常用于取代坡莫合金铁芯作为漏电开关中的零序电流互感器铁芯.

(3)钴基非晶铁芯:在所有的非晶合金铁芯中具有最高的磁导率,同时具有中等偏低的饱和磁感应强度(0.65T),低矫顽力,低损耗,优异的耐磨性和耐蚀性,良好的温度稳定性和时效稳定性,耐冲击振动.主要用于取代坡莫合金铁芯和铁氧体铁芯制作高频变压器,滤波电感,磁放大器,脉冲变压器,脉冲压缩器等应用在中高端领域(军用)

微晶磁芯:

较高的饱和磁感应强度(1.1~1.2T),高导磁率,低矫顽力,低损耗及良好的稳定性,耐磨性,耐蚀性,同时具有较低的价格,在所有的金属软磁材料铁芯中具有最佳的性价比,用于制作微晶铁芯的材料被誉为"绿色材料".广泛应用于取代硅钢,坡莫合金及铁氧体,作为各种形式的高频(20KHz~100KHz)开关电源中的大中小功率的主变压器,控制变压器,滤波电感,储能电感,电抗器,磁放大器和饱和电抗器铁芯,EMC 滤波器共模电感和差模电感铁芯,IDSN 微型隔离变压器铁芯;也广泛应用于各种类型不同精度的互感器铁芯.

环型规格范围:

磁芯最大外径:750mm

磁芯最小内径:6mm

磁芯最小片宽:5mm

磁芯最大片宽:40mm (可叠加得到更宽)

其它规格可以根据客户需求订做

参考说明:

坡莫合金金属磁芯,非晶,微晶磁芯电磁性能状态:

横磁热处理,低 B_r ,有一定的恒导特性,适用于小功率单极性脉冲变压器,单端开关电源变压器,滤波电感,电抗器;

常规热处理,低 P_c ,极低的激磁电流;适用于中频变压器;

纵磁热处理,高 B_r ,适用于配电变压器,中频变压器,双端开关电源变压器,大功率双极性脉冲变压器,饱和电抗器及脉冲压缩器.

非晶与超微晶材料的应用

磁材料 $120 \times 60 \times 40$ 磁芯。按照

$$E=4.44f \times B_m \times N \times S_c \times 10^{-4} \quad (1)$$

式中： B_m ——工作磁感应强度，一般选在 $B_s/2$ 处较合适，既 B_m 选 $0.8T$ ；

E ——交流输入电压，V；

N ——初级匝数；

f ——交流输入电压频率，Hz；

S_c ——磁芯有效截面积， cm^2 。

又因为

$$S_c = (1/2) \times D \times (R-r) \times h \quad (2)$$

式中： D ——磁芯的占空系数，一般取 0.65 ；

R ——磁芯的外环直径，cm；

r ——磁芯的内环直径，cm；

h ——磁芯的高度，cm。

$$\begin{aligned} \text{所以 } S_c &= (1/2) \times D \times (R-r) \times h \\ &= (1/2) \times 0.65 \times (12-6) \times 4 \\ &= 7.8cm^2 \end{aligned}$$

由式 (1) 可得： $N=198$ 匝 考虑铜损， N 选 200 匝。

2) 验证

为了验证 $N=200$ 匝时，磁导率 μ_e 是否在磁芯材料参数的范围之内，可利用式 (3) $N=104 \times (3)$

式中： L ——初级电感量，H；

l_c ——磁芯的平均磁路长度，cm。

因为

$$l_c = 1.57 \times (D+d) = 1.57 \times (12+6) = 28.26cm$$

L 的计算如下：

在未绕成变压器之前，初级电感量是不能测出的，但可以由式 (4) 推算出。= (4)

即可以先绕 $N_1=10$ 匝，测得 $L_1=13mH$ ，于是 $N=200$ 匝时可得到 $L=L_1 \times \frac{N^2}{N_1^2} = 13 \times 4 = 5.2H$

由式 (3) 可得 $\mu_e = \frac{L \times 10^8}{N^2 \times l_c} = \frac{5.2 \times 10^8}{200^2 \times 28.26} = 4 \times 10^4$

μ_e 满足 $\mu_i = 8 \times 10^4$ 的要求。说明变压器初级匝数设计合理。

次级匝数可由电压与匝数的变比求出,这里不再累述。

经过实验,这一理论计算可以带起 1kW 负载,工作稳定可靠。

3) 设计时注意点

① B_m 不能选的过高由于磁芯参数的分散性,使得在相同匝数下的电感量有差异,而且相差较多,若 B_m 取得太高,容易使磁芯饱和。 ② 怎样判断磁芯已进入饱和?

——在浅饱和状态下,增加初级电压,次级电压不增加,增加的能量全部被磁芯损耗掉;负载加重后,输出电压迅速下跌,负载能力下降,能量被磁芯损耗。

——在深饱和状态下,初级电压加不到 220V 磁芯就很烫,而且初级电压再升高,次级电压也不变,能量全部被磁芯损耗。

3 开关电源用磁芯

3.1 单端式变换器用磁芯

单端式变换器主要要求磁芯剩余磁感应强度低,即 B_r/B_s 较小。

采用铁基超微晶低剩磁($B_r/B_s \leq 0.2$)材料的磁芯,饱和磁感应强度 $B_m=1.2T$,剩磁 $B_r < 0.2T$,初始磁导率 $\mu_i > 2 \times 10^4$,最大磁导率 $\mu_m = 5 \times 10^4$,损耗 $P_{0.35}(10kHz) < 18W/kg$ 。

这是因为单端式变换器磁芯工作在磁滞回线的第一象限,对材料的要求是具有大的 ΔB ($\Delta B = B_m - B_r$),铁基超微晶材料的饱和磁感应强度 $B_m=1.2T$,它无论经过怎样的磁场处理,都是不会变的,所以要使 ΔB 增大,只有采用低 B_r 的磁芯。特别对于单端反激主变压器,要求有足够的饱和磁感应强度 B_m 和合适的磁导率。因为单端反激电路中的主变压器要求储能,线圈储能的多少取决于两个因素:一是材料的工作磁感应强度 B_e 或电感量 L ;另一个是工作磁场 H_m 或工作电流 I 。储能 $W = LI^2$,在一定的电流下,磁芯不能饱和。饱和磁感应强度 B_m 由材料决定,低 B_r 的磁芯利于恒磁导,使磁芯在一定的电流下不饱和。

3.2 全桥、半桥、推挽式变换器用磁芯

对于这种双端式变换器主要要求磁芯的饱和磁感应强度 B_m 高。

虽然铁基非晶材料的饱和磁感应强度 B_m 高,但是由于铁基非晶材料的工作频率较低 ($< 15kHz$),频率高时,损耗增加,所以对于几百 kHz 以上的逆变电源是不适用的。而采用铁基超微晶中剩磁($B_r/B_s \leq 0.6$)材料的磁芯。饱和磁感应强度 $B_m=1.2T$,初始磁导率 $\mu_i > 8 \times 10^4$,最大磁导率 $\mu_m = 45 \times 10^4$ 。损耗 $P_{0.3}/(100kHz) < 300W/kg$,工作频率高。

因为全桥、半桥、推挽式变换器中的变压器工作在双端,对 B_r 的要求不是很严格,它需要的是 $2B_m$ 。但若选用高 B_r 的磁芯,当电源功率较大时,容易产生饱和现象。为此,对于中、大功率的开关电源,可采用

中 B_r 磁芯,这样还可使变压器有一定的电感量。特别对于谐振电源,一定的变压器电感可充当谐振电感,使全桥、半桥、推挽式电路产生谐振,达到 ZVS 或 ZCS 软开关的作用。

但对于有的大功率的开关电源,为防止偏磁,也采用低剩磁(低 B_r)磁芯。

3 扼流圈用磁芯

扼流圈用磁芯要求有一定的储能,所以要采用低剩磁,横磁导率的材料。

采用铁基非晶低剩磁(低 B_r)材料磁芯,饱和磁感应强度 $B_m=1.5T$,剩磁 $B_r<0.1T$,恒磁导率 250~1200。

扼流圈是阻止交流成份,只让直流通过的电感组件,所以直流电流和交流电流加在磁芯上时的磁特性,即直流偏磁特性是很重要的。具体地说,电感值应使得直流电流不易让磁芯饱和,而对于交流成分确是足够大的。为此作为材料特性,需要高饱和磁通密度 B_m ,磁导率恒定。

下面就几种材料的特性做一下对比,详见表 1。

表 1 几种材料的特性对比材料饱和磁感应强度/T 磁导率损耗/W/kg

铁基非晶扼流圈 1.5250~1200 $P_{0.05}(2kHz)<1.5$

坡莫合金 0.75 根据形状和加气隙的不同而不同 $P_{0.5}(2kHz)<25$

硅钢片 2P1.0(1kHz)<20

铁氧体 0.4P1.0(1kHz)<7.5

非晶扼流圈与坡莫合金、硅钢片、铁氧体相比可以提高工作频率、增强耐直流电流的能力、高温时仍保持高饱和磁通密度、降低功耗等优点。

4 非晶饱和磁芯

饱和磁芯主要是把磁芯当作一个“磁开关”,当磁芯不饱和时,电感很大,相当于磁开关断开;当磁芯完全饱和时,电感很小,相当于磁开关短路。

采用钴基非晶合金磁芯,它具有高磁导率,低矫顽力,高矩比(B_s/B_r),低损耗等特点。饱和磁感应强度 $B_m=0.5\sim 0.8T$,矫顽力 $H_C<2A/m$ 。

1) 自饱和电抗器

自饱和电抗器是希望磁芯做一个反应很快的开关,有一点电流就使磁芯很快饱和。所以应采用高剩磁(高 B_r)材料,初始磁导率 $\mu_i>5\times 10^4$,最大磁导率 $\mu_m>25\times 10^4$,损耗 $P_{0.5}(20kHz)<35W/kg$ 。主要用于消除开关电源的二次寄生振荡、消除尖峰等。

2) 可饱和电抗器

可饱和电抗器是利用了磁芯未饱和与饱和后磁导率间的巨大差异来延迟电流以得到一段预置时间。这时可以将脉冲变压器传输过来的脉冲进行压缩,根据电流的大小来调节脉宽,从而可改变输出电压。利用可饱和电抗器的这一特点,就可以实现多路调节。因为采用一般的脉宽调节的开关电源只能对一组输出进行脉宽调节,改变输出电压,而不能做到几路输出电压都可调,利用可饱和电抗器,通过用电位器控制各输出电路的电流来改变各电路的脉宽,从而实现多路调节。现在国外已做出了通过电位器使十几路输出都可调节的电路。

所以可饱和电抗器应根据电流的大小和输出脉宽压缩情况来选择磁芯。例如需要大电流下还有一定脉冲压缩的,应使用低剩磁(低 B_r)磁芯.总之要具体问题具体分析。

铁氟龙套管

| 规格 (AWG) | 内径 (mm) | (T)外径 (mm) | (L)外径 (mm) | 规格 (AWG) | 内径 (mm) | (T)外径 (mm) | (L)外径 (mm) |
|-------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| 30 | 0.30± 0.08 | 0.70±0.08 | 0.6 | 13 | 1.93± 0.12 | 2.53±0.12 | 2.50 |
| 28 | 0.38± 0.08 | 0.78±0.08 | 0.68 | 12 | 2.16± 0.14 | 2.76±0.14 | 2.60 |
| 26 | 0.46± 0.08 | 0.86±0.08 | 0.76 | 11 | 2.41± 0.14 | 3.01±0.14 | 2.80 |
| 24 | 0.56± 0.08 | 1.06±0.08 | 0.86 | 10 | 2.69± 0.14 | 3.29±0.14 | 3.00 |
| 23 | 0.66± 0.08 | 1.16±0.08 | 0.96 | 9 | 3.00± 0.16 | 3.80±0.16 | 3.40 |
| 22 | 0.71± 0.08 | 1.21±0.08 | 1.00 | 8 | 3.38± 0.16 | 4.18±0.16 | 3.80 |
| 21 | 0.81± 0.08 | 1.31±0.08 | 1.10 | 7 | 3.76± 0.16 | 4.56±0.16 | 4.20 |
| 20 | 0.86± 0.08 | 1.46±0.08 | 1.16 | 6 | 4.22± 0.18 | 4.92±0.18 | 4.70 |
| 19 | 0.96± 0.08 | 1.56±0.08 | 1.26 | 5 | 4.72± 0.18 | 5.42±0.18 | 5.20 |
| 18 | 1.07± 0.10 | 1.67±0.10 | 1.37 | 4 | 5.28± 0.20 | 6.02±0.20 | 5.80 |
| 17 | 1.19± 0.10 | 1.79±0.10 | 1.50 | 3 | 5.94± 0.20 | 6.74±0.20 | 6.50 |
| 16 | 1.34± 0.10 | 1.94±0.10 | 1.65 | 2 | 6.68± 0.20 | 7.48±0.20 | 7.20 |
| 15 | 1.50± 0.12 | 2.10±0.12 | 1.80 | 1 | 7.46± 0.20 | 8.29±0.20 | 8.00 |
| 14 | 1.68± 0.12 | 2.28±0.12 | 2.10 | 0 | 8.38± 0.20 | 9.18±0.20 | 8.90 |

电子产品的安全距离及其相关安全要求

所谓安全距离，就是为保护人在使用电子产品的时候，危险电压带电部分与人不能轻易接触到，也不能让它来引起危险导致威胁人身安全。

因此必须在一般情况下，安全距离是在产品设计中最重要的部分之一。检查安全距离从设计阶段开始。结构检查人员会首先检查 PCB 板上的安全距离（最好拿空的 PCB 板用透明薄尺或游标卡尺来测量），之后，就是检查危险电压带电部分与其它部分（如外壳、安全电压部分等）距离等等。总之，一切关乎与安全的部分都要测量，特别重点会在电源部分。

具体参考各种安全标准：

IEC60950\IEC60065\UL60950\GB8898\GB4943 等

以下引自其它文章：

安全距离包括电气间隙（空间距离），爬电距离（沿面距离）和绝缘穿透距离

1、电气间隙：两相邻导体或一个导体与相邻电机壳表面的沿空气测量的最短距离。

2、爬电距离：两相邻导体或一个导体与相邻电机壳表面的沿绝缘表面测量的最短距离。

电气间隙的决定：

根据测量的工作电压及绝缘等级，即可决定距离

一次侧线路之电气间隙尺寸要求，

二次侧线路之电气间隙尺寸要求

但通常：一次侧交流部分：保险丝前 L-N \geq 2.5mm，L,N PE（大地） \geq 2.5mm，保险丝装置之后可不作要求，但尽可能保持一定距离以避免发生短路损坏电源。

一次侧交流对直流部分 \geq 2.0mm

一次侧直流地对大地 \geq 2.5mm（一次侧浮接地对大地）

一次侧部分对二次侧部分 \geq 4.0mm，跨接于一二次侧之间之元器件

二次侧部分之电气间隙 \geq 0.5mm 即可

二次侧地对大地 \geq 1.0mm 即可

附注：决定是否符合要求前，内部零件应先施于 10N 力，外壳施以 30N 力，以减少其距离，使确认为最糟情况下，空间距离仍符合规定。

爬电距离的决定：

根据工作电压及绝缘等级，查表 6 可决定其爬电距离

但通常：（1）、一次侧交流部分：保险丝前 L-N \geq 2.5mm，L,N大地 \geq 2.5mm，保险丝之后可不作要求，但尽量保持一定距离以避免短路损坏电源。

（2）、一次侧交流对直流部分 \geq 2.0mm

（3）、一次侧直流地对地 \geq 4.0mm 如一次侧地对大地

（4）、一次侧对二次侧 \geq 6.4mm，如光耦、Y 电容等元器件脚间距 \leq 6.4mm 要开槽。

（5）、二次侧部分之间 \geq 0.5mm 即可

（6）、二次侧地对大地 \geq 2.0mm 以上

（7）、变压器两级间 \geq 8.0mm 以上

3、绝缘穿透距离：

应根据工作电压和绝缘应用场合符合下列规定：

——对工作电压不超过 50V（71V 交流峰值或直流值），无厚度要求；

——附加绝缘最小厚度应为 0.4mm；

——当加强绝缘不承受在正常温度下可能会导致该绝缘材料变形或性能降低的任何机械应力时的，则该加强绝缘的最小厚度应为 0.4mm。

如果所提供的绝缘是用在设备保护外壳内，而且在操作人员维护时不会受到磕碰或擦伤，并且属于如下任一种情况，则上述要求不适用于不论其厚度如何的薄层绝缘材料；

——对附加绝缘，至少使用两层材料，其中的每一层材料能通过附加绝缘的抗电强度试验；或者：

——由三层材料构成的附加绝缘，其中任意两层材料的组合都能通过附加绝缘的抗电强度试验；或者：

——对加强绝缘，至少使用两层材料，其中的每一层材料能通过加强绝缘的抗电强度试验；或者：

——由三层绝缘材料构成的加强绝缘，其中任意两层材料的组合都能通过加强绝缘的抗电强度试验。

4、有关于布线工艺注意点：

如电容等平贴组件，必须平贴，不用点胶

如两导体在施以 10N 力可使距离缩短，小于安规距离要求时，可点胶固定此零件，保证其电气间隙。

有的外壳设备内铺 PVC 胶片时，应注意保证安规距离（注意加工工艺）

零件点胶固定注意不可使 PCB 板上有胶丝等异物。

在加工零件时，应不引起绝缘破坏。

5、有关于阻燃材料要求：

热缩套管 V-1 或 VTM-2 以上；PVC 套管 V-1 或 VTM-2 以上

铁氟龙套管 V-1 或 VTM-2 以上；塑胶材质如硅胶片，绝缘胶带 V-1 或 VTM-2 以上

PCB 板 94V-1 以上

6、有关于绝缘等级

(1)、工作绝缘：设备正常工作所需的绝缘

(2)、基本绝缘：对电击提供基本保护的绝缘

(3)、附加绝缘：除基本绝缘以外另施加的独立绝缘，用以保护在基本绝缘一旦失效时仍能防止电击

(4)、双重绝缘：由基本绝缘加上附加绝缘构成的绝缘

(5)、加强绝缘：一种单一的绝缘结构，在本标准规定的条件下，其所提供的电击的保护等级相当于双重绝缘

各种绝缘的适用情形如下：

A、操作绝缘 operational insulation

a、介于两不同电压之零件间

b、介于 ELV 电路（或 SELV 电路）及接地的导电零件间。

B、基本绝缘 basic insulation

- a、介于具危险电压零件及接地的导电零件之间；
 - b、介于具危险电压及依赖接地的 SELV 电路之间；
 - c、介于一次侧的电源导体及接地屏蔽物或主电源变压器的铁心之间；
 - d、做为双重绝缘的一部分。
- C、补充绝缘 supplementary insulation
- a、一般而言，介于可触及的导体零件及在基本绝缘损坏后有可能带有危险电压的零件之间，如：
 - I、介于把手、旋钮，提柄或类似物的外表及其未接地的轴心之间。
 - II、介于第二类设备的金属外壳与穿过此外壳的电源线外皮之间。
 - III、介于 ELV 电路及未接地的金属外壳之间。
 - b、做为双重绝缘的一部分
- D、双重绝缘
- Double insulation Reinforced insulation
- 一般而言，介于一次侧电路及
- a、可触及的未接地导电零件之间，或
 - b、浮接（floating）的 SELV 的电路之间或
 - c、TNV 电路之间
- 双重绝缘=基本绝缘+补充绝缘
- 注：ELV 线路：特低电压电路
- 在正常工作条件下，在导体之间或任一导体之间的交流峰值不超过 42.4V 或直流值不超过 60V 的二次电路。
- SELV 电路：安全特低电压电路。
- 作了适当的设计和保护的二次电路，使得在正常条件下或单一故障条件下，任意两个可触及的零部件之间，以及任意的可触及零部件和设备的保护接地端子（仅对 I 类设备）之间的电压，均不会超过安全值。
- TNV：通讯网络电压电路
- 在正常工作条件下，携带通信信号的电路。

磁性组件部份

共同部份

| No | Item | Description | Note |
|----|------|---|---|
| 1 | 变压器 | 一次侧(Primary)与二次侧(Secondary)线圈之间至少有二层以上的 Insulation Tape。(不包含使用 Triple Insulation Wires 的变压器。) | 一次侧与二次侧之间有_____层 Insulation Tape。 <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |
| 2 | 变压器 | 输出功率 ≥ 75 Watt 的 Power Supply 所使用的变压器 Margin Tape 宽度 ≥ 4.0 mm 以上。 | Margin Tape 宽度: <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |
| 3 | 变压器 | 输出功率 < 75Watt 的 Power Supply 或 Stand-By Circuit 所使用的变压器。Margin Tape 宽度 ≥ 3.2 mm。 | Margin Tape 宽度: <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |
| 4 | 变压器 | 凡采用 Boost 线路架构的 Power Supply 且输出功率 > 100 Watt, 所使用的变压器 Margin Tape 宽度 ≥ 5.0 mm。 | Margin Tape 宽度: <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |
| 5 | 变压器 | (Primary Pin 沿着 Bobbin 至 Core 距离) + (Core 沿着 Bobbin 至 Secondary Pin 的距离) \geq (变压器内 Margin Tape 宽度的两倍)。 | Primary Pin 至 Core 距离: Core 至 Secondary 距离: Margin Tape 宽度: <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |
| 6 | 变压器 | 使用 Triple Insulation Wire 时,其线材折弯角度 < 45° 否则弯角处不视为绝缘线材(尤其是线圈出线部份) | <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |
| 7 | 变压器 | 使用 Triple Insulation Wire 时,应考虑变压器经过含浸,过锡炉,导致线材上绝缘层向内收缩,裸露铜线,使安规距离不足。 | <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |
| 8 | 变压器 | 使用 CTI 结构变压器,必须采用有 IEC 认可的 CTI 材质。 PS:不可使用 Telfon Tube | 厂商: 型号: 材质(CTI 等级): <input type="checkbox"/> PASS <input type="checkbox"/> NG <input type="checkbox"/> N/A |

NOTE: 以上 2-5 项可由实测变压器最大工作电压,来判定 Margin Tape 实际最小宽度。

ROHS 知识

1.环保电子产品须符合下列法规规定:

| 法规名称 | 规范项目 | 规范程度(ppm) | 特殊规定 |
|------------|---------------|-----------|--|
| 欧盟 ROHS | Cd | 100 | |
| | Pb | 1000 | |
| | Hg | 1000 | |
| | Cr6+ | 1000 | |
| | PBB | 1000 | |
| | PBDE | 1000 | |
| 欧盟镉指令 | Cd | 100 | 瑞典要求 75ppm 以下 |
| 包装材指令 | Pb+Cd+Hg+Cr6+ | 总量小于 100 | |
| 加洲 65 号文 | 电线外被 | 300 | |
| ELV 废弃汽车指令 | Cd | 100 | 针对车用零件 |
| | Pb | 1000 | |
| | Hg | 1000 | |
| | Cr6+ | 1000 | |
| PVC 的禁用 | PVC | | 日本产业界针对 PVC 的 消滅使用包装材禁用 PVC、捆绑带、塑胶袋 |
| SONY(GP)标准 | Cd | 5 | 包材上限 Pb+Cd+Hg+Cr6+总量小 于 100ppm 镉<5ppm |
| | Pb | 100 | |
| | Hg | 禁用 | |
| | Cr6+ | 禁用 | |
| | PBB | 禁用 | |

2.ROHS 具体涉及的产品:

白家电: 电冰箱、洗衣机、微波炉、空调、吸尘器等

黑家电: 音频、视频产品、DVD、CD、IT 产品、数码产品等

电动工具: 电动电子玩具、医疗电气设备

照明设备、监控设施、自动售货机

3.WEEE 立法的目的:在于提高报废电子电气产品的回收及再循环率,从而降低最终处理的电子废料的数量,以此减少对环境的污染,提高对自然资源的利用率。

4.根据 WEEE 指令,自 2005 年 8 月 13 日起,欧盟市场上流通的电子电气设备的生产商必须在法律意义上承担起支付自己报废产品回收费用的责任.

5.豁免条中的铅、镉和六价铬的应用:

5.1 小型日光灯中的汞含量不得超过 5 毫克/灯。

5.2 一般用途的直管日光灯中的汞含量不得超过:

-----盐磷酸盐 10 毫克

-----正常的三磷酸盐 5 毫克

-----长效的三磷酸盐 8毫克

5.3 钢中合金元素中的铅含量达 0.35%(3500PPM)、铝含量达 0.4%(4000PPM),铜合金中的铅含量达 4%(40000PPM)。

5.4 高温融化的焊料中的铅(即:锡铅焊料合金中铅含量超过 85%)

5.5---用于服务器、存储器和存储系统的焊料中的铅(豁免准予至 2010 年)

----用于交换、信号和传输,以及电信网络管理的网络基础设施设备中焊料中的铅。

----电子陶瓷产品中的铅(例如:高压电子装置)

WEEE 指令所管辖电气电子设备分类:

1. 大型家用器具
2. 小型家用器具
3. 信息技术和远程通讯设备
4. 用户设备
5. 照明设备
6. 电气和电子工具(大型静态工业工具除外)
7. 玩具、休闲和运动设备
8. 医用设备(所有被植入和被感染产品除外)
9. 监测和控制器械
10. 自动售货机

1.包装材料上:(镉+铅+汞+六价铬)<100ppm 其中镉<5 ppm

2.SONY SS-002590 04 最后一码用"9"表示

3.RoHS 2002/95/EC 最后一码用"8"表示,成品料号以"98"开头。

4.WEEE:对管制弃置处理电气、电子设备废物的 2002/96/EC 指令。

目的:为防止(电气、电子设备废物)的产生及减轻其对环境保护造成的负担。

RoHS:针对于电气、电子设备内限制使用若干有害物质的 2002/95/EC 指令。

目的:为限制于电气、电子设备中,使用产生有害物质,从而减少有害电气、电子设备废物的产生,保障人类健康及环境生态质量。

目的:为防止(电气电子设备废物)的产生及减轻其对环境保护造成的负担。

5.包装物料:包括废弃物循环利用的目标,2008 年 12 月 31 日前达到 55%-----80%。

最低允许量为:

玻璃(60%) 纸材纸板(60%) 金属(50%) 塑料(22.5%) 木材(15%)

2010 年前完成包装材不含重金属及其它有害物质。

6. 中华人民共和国电子行业标准----电子信息产品污染控制标识要求:

环保使用期限:

指电子信息产品中含有的有毒有害物质或元素,在正常使用情况下,不发生外泻、突变,以致使用该电子信息产品不致对环境造成严重污染,人身、财产造成严重损害的期限。

GB/T 16288-1996 塑料包装回收标志

SJ/T xxx-200x 限量标准

剖析 ROHS 指令中关于合金铅含量豁免的问题

欧盟委员会在 2005 年 8 月 18 日通过了一项 RoHS 指令修订决议(2005/618/EC),当中明确设定了均质材料中 6 种有害

物质的浓度上限，其中铅的含量不得超过 1000ppm。而 RoHS 指令(2002/95/EC)的《附件 Article 4(1)》第 6 项条文则指明，当铅作为合金元素存在于钢、铝、铜合金中时，其在钢、铝、铜合金中的允许重量含量可分别达到 0.35%、0.4% 及 4%。

许多此类合金材料的生产商和应用者对此有不同的理解。有的认为，只要以上合金中铅的含量不超过 RoHS 指令(2002/95/EC)附件所指定的豁免上限即可；有的认为，要视具体情况而定。要分析这个问题，首先要理解合金元素的概念。

合金元素是指特别添加到金属或合金中的、为了保证获得所要求的组织结构、物理化学和机械性能的化学元素。所以 RoHS 指令设定的豁免条件是铅作为合金元素时，其在钢、铝、铜合金中的含量才允许达到相应的豁免值。但当铅作为杂质存在时，其浓度便不可超过 1000ppm。

一般来说铅总会降低钢的性能，或者说铅的掺入对钢是无益的，此时铅便是杂质，其在钢中的重量含量不能超过 1000ppm。但在特殊情况下，比如为了增加钢的易切削性能，可以在钢中加入适量的铅，使切屑易断，同时起到了润滑的作用，此时铅是作为合金元素存在的，其在钢中的重量含量可允许达到 0.35%。

在有些铝中加铅对其铸造工艺及耐磨性能有好处，比如滑动轴承铝合金中的铅，此时铅是作为合金元素存在于铝中，其在铝中的重量含量可允许达到 0.4%，而当铅在铝中作为杂质存在时，其含量不能超过 1000ppm。

在铜中加铅可以加强铜液的流畅性，增加韧性、润滑性及耐磨性。比如青铜轴承合金中的铅，此时铅是作为合金元素添加进铜中的，其在铜中的重量含量可以达到 4%；而当铅在铜中作为杂质存在时，其含量则不能超过 1000ppm。

综上所述，要判断合金中的铅含量是否可以达到相应的豁免值，就要首先判断铅是否是作为合金元素存在于这些合金当中。考虑到当前的工业冶炼水平，一般来说，如果工业所用的合金原材料合格，并且确保没有错用料，同时铅含量检测结果比较高的话(超过 1000ppm)，属于豁免范围的可能性会很大。

欧美包装材料的要求

欧盟出台了 94/62/EEC 目的在于鼓励重复利用及循环再生包装材料。另外还制定了涉及包装材料重复利用、循环再生、生物降解等六份标准 EN 13427-13432。为了鼓励玻璃包装材料的循环再生 特别制定 2001/171/EEC，允许用再生玻璃生产的包装材料中铅含量可以不受 94/62/EEC 的限制。

94/62/EEC 法规中作了规定：铅、镉、汞、六价铬的总含量不能超过 100 ppm。

在美国有十八个州制定了一项法案，减少包装材料中铅、镉、汞、六价铬的含量。限量标准同 94/62/EEC。玻璃及陶瓷包装材料中镉含量不能高于 1ppm，六价铬含量不能高于 5ppm，铅含量不能高于 5ppm。

包装材料指纸品材料、塑料材料、包装材料辅料。

法规中的包装材料是用于：(1) 产品直接包装，(2) 批量产品的第二次包装，(3) 运输的第三次包装。

欧盟 WEEE & RoHS 生效

2003 年 2 月 13 日，欧盟第 L37 期《官方公报》公布了欧洲议会和欧盟部长理⁴²

重会共同批准的《报废电子电气设备指令》(WEEE 2002/96/EC)和《关于在电子电气设备

RoHS 是《电气、电子设备中限制使用某些有害物质指令》(the Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment) 的英文缩写。

2.2 将测试报告上环境物质含量值与判定标准含量值作比较,判定此样品是否合格。
 (备注:因仪器检测下线的因素,测试结果含量为 7.5ppm 的样品送 SGS 测试其结果为 N.D,故将检测下线调至 10ppm,在此以下的样品测试结果均等同<5ppm) (ppm=mg/kg)

环境物质管控一览表(单位:ppm)

| | 零件部份 | | | | | | | | | | | | | | | 包材部份 | |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------------|-------|------|------|------|------|---------|--------|------|-------|------|-----------------------|----|
| EHS 标准 | Cd | Pb | Hg | Cr+6 | PBB | PBDE | PCB | PCN | PCT | CP | 三丁基锡化合物 | 三苯锡化合物 | 石棉 | 偶氮化合物 | 甲醛 | Cd+Pb +Hg+ Cr+6 | Cd |
| SONY(S S-00259) 标准 | <5 | <100 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | 禁含 | <100 | <5 |
| ROHS(20 02/95/ EC)标准 | <100 | <1000 | <1000 | <1000 | <1000 | <1000 | 未要求 | 未要求 | 未要求 | 未要求 | 未要求 | 未要求 | 未要求 | 未要求 | 未要求 | <100 | <5 |
| OEM 可测试项目 | 可测试出 | 可测试出 | 可测试出 | 可测总铬 | 可测出 总溴含量 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 无法测出 | 可计算 总含量 | 可测 |

ROHS 培训大纲

1. 欧盟 RoHS 指令
2. 什么是 RoHS? 为什么要执行 RoHS?
3. RoHS 制程
 - A. 绿色的供应厂商及零件/部件
 - B. RoHS 设备要求
 - C. RoHS 制程
 - D. 人员培训
 - E. 品质控制
4. RoHS 制程控制要点
 - 一. 欧盟 RoHS 指令

欧盟议会和欧盟理事会 2003 年 1 月 23 日第 2002/95/EC 号
关于在电气电子设备中限制使用某些有害物质指令

.....

第 4 条

防止

1. 成员国将确保, 从 2006 年 7 月 1 日起, 投放于市场的新电子和电气设备不包含铅, 汞, 镉, 六价铬, 聚溴二苯醚 (PBDE) 或 聚溴联苯 (PBB)。成员国在本指令通过前根据共同体法规制定的限制或禁止在电子电气设备中使用这些物质的措施可以维持至 2006 年 7 月 1 日。

二. 什么是 RoHS? 为什么要执行 RoHS?

1. RoHS: 英文原文为: Restriction of Hazardous Substance (电气、电子设备中限制使用某些有害物质指令)。

欧盟指令所指的危害物质:

- Pb 铅
- Hg 汞
- Cd 镉
- Cr6+六价铬
- PBDE 聚溴二苯醚
- PBB 聚溴联苯

2. 为什么要执行 RoHS 指令?

汞、镉、铅、六价铬、聚溴联苯 (PBB)、聚溴二苯醚 (PBDE) 的成分仍有可能对人类健康和环境形成危险。

绿色环保, 是对人类自身的保护, 欧盟的指令形成一个绿色标准, 这就要求所有成品和零件部件厂商必须作出相应的响应, 构建绿色的生产制造体系, 使贯穿整个供应商 → 客户 → 消费者的供应链成为“绿色供应链”。

三. RoHS 制程要求

1. 绿色的供应厂商和零件，部件

这样要求所以涉及的零件，部件，等都必须使用 RoHS 材料。即不得含有以上六种禁用物质。

- A. 供应厂商的认定：应鉴别，选择，发展和确定具有能力制造提供 RoHS 零件/组件的供应厂商，作为需求 RoHS 的产品制造所使用的零件/组件的来源。
- B. 明确规定 RoHS 组件/零件的要求，并传达沟通到供应厂商。
- C. 要求厂商提供证明其符合 RoHS 要求的相关资料文件，并包装及零件上识别 RoHS 的标识。
- D. 材料的采购定单必须明确指明 RoHS 的要求。

2. RoHS 设备要求

- A. 只用于需要符合 RoHS 需求的产品的设备/工具/治具/工装/钢板等，都必须予以指明，鉴别，并标识清楚，使用通用的 RoHS 标签。
- B. 只用于需要符合 RoHS 需求的产品的工具/治具/工装/钢板等，必须只储存在标识 RoHS 储存的区域内。
- C. 只用于需要符合 RoHS 需求的产品的设备/工具/治具/工装/钢板等的保养，都必须在预防性保养程序予以界定，并规定相应的表单及保养内容。

3. RoHS 制程

- A. 必须规定 RoHS 生产制程，并文件化；
- B. RoHS 产品必须在 RoHS 制程中生产制造；
- C. 生产制程中必须定义并执行标示及追溯的系统，鉴别和区分 RoHS 需求的产品。

4. 人员培训

- A. 参与需要符合 RoHS 要求的产品制造的人员（诸如作业员，检验员，领料人员，线长，主管）都必须接受产品的搬运，处理，和储存的要求方面的培训。
- B. 在需要符合 RoHS 要求的产品的制造上参与和接受训练的人员（诸如作业员，检验员，领料员，线长和主管）必须在一个规定的期间进行符合产品 RoHS 的搬运和制造方面能力的认定和再认定。

5. 品质控制

A. IQC

进料检验中对于厂商提交 RoHS 材料的出货检验报告和测试报告等文件，必须进行确认，并作为品质记录保存；

对于 RoHS 材料和非 RoHS 材料必须予以严格区分，不可以混杂放置，检验时，必须有专用的 RoHS 检验区域。

检验完成后，必须对合格材料贴上合格标签和 RoHS 标签。

B. IPQC

对于需要符合 RoHS 需求的生产线执行制程品质稽核，以确保制造过程依据既定的程序和作业而实施。使用《RoHS 生产检查表》，确认在生产前，所需要的 RoHS 相关要求是否符合，生产过程中必须随时监控。

C. FQC/OQC

在完成品检查和出货检查中，必须检查产品包装是否按照规定的要求，对于检查合格的产品批次，必须在其外包装上贴上合格标签和 RoHS 标签。

四. 制程控制要点:

1. 制程生产前进行全范围的检查，利用一个 **RoHS 制程检查清单 (CHECKLIST)** 保证每个 RoHS 制程涉及点均已进行了清洁，隔离，标识等动作，人员进行了相关培训。
2. 对于元器件，进行严格的与非 RoHS 制程器件**隔离，标识，和区分**，严禁将任何用于非 RoHS 制程上的物料用于 RoHS 制程。
3. 制程站别：对于制程各个站别，需要将每站涉及的**设备及工装，夹具，工具**等进行使用前的严格的擦拭，清洁，以保证不受外来的污染。制程中使用的辅助材料，必须是 RoHS 的，不受外来污染。比如，印刷的钢板，刮刀，擦拭布，贴片的吸嘴，回流焊的焊区，清洁用的溶剂，测试用的机器，治具，测试针，生产的流水线，工作台面，检验用仪器，均需要进行清洁。检验与返修站别必须保证与非 RoHS 制程进行严格的区分隔离开来，防止产品之间的相互混用。
4. **工艺文件**，必须保证足够的适宜的工作文件可以供生产和检验使用。
5. 对于**客户退回的产品**的处理，应该保证其处理环境的 RoHS 化，保证不发生后来的外物污染。
6. 对于参与 RoHS 生产的相关人员，包括仓库，检验，SMT，BE，REWORK，物料员等等人员，都必须进行 RoHS 生产制程的相关**培训**，以保证都有足够的相关知识和足够的认识。以保证对于 RoHS 制程的执行力度。培训合格后必须进行相关的**资格认证**，认证合格者方可上岗。

成品跌落试验

将成品的一角三棱六面依次固定在测试平台上,按住“跌落”键进行跌落实验,

(角为外箱封订的两个面与包装面的夹角、棱为与角相连的三条棱边)

角跌落时,实验品的重心与该角的联机垂直于地面.

棱跌落时,实验品的重心与该棱的联机垂直于地面,棱线与地面平行.

面跌落时,该面须与地面平行,实验品的裂痕不可超过 4CM、裂宽不可超过 0.3CM.

(标准见下表.本标准依据 CNS).

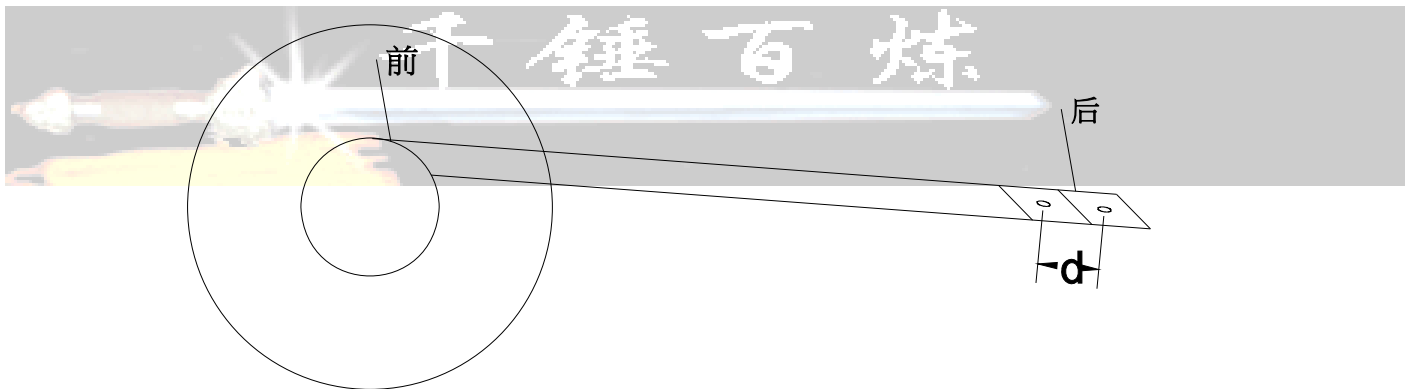
| 重量(Kg) | 落下高度(CM) | | 重量(Kg) | 落下高度(CM) | |
|--------|----------|-----|--------|----------|-----|
| | 面 | 棱 角 | | 面 | 棱 角 |
| 10 以下 | 65 | 55 | 50 | 45 | 35 |
| 20 | 60 | 50 | 60 | 40 | 30 |
| 30 | 55 | 45 | 100 | 30 | 20 |
| 40 | 50 | 40 | | | |

SMD 承装带留空个数计算:

据 EIA 规范,承装带包装时前留空 160mm,后留空 390mm,留空位要盖薄膜,留空个数为

$$n=(160/d)+(390/d)$$

n:留空个数; d:承装带两孔之间的孔距(mm)



铜线温升:

$$R_i=R_0* (1+a*(T_i-T_0))$$

R_i :在 $n^{\circ}\text{C}$ 时的 DCR (Ω); R_0 :室温下(25°C)时的 DCR (Ω); T_i :测试温度($^{\circ}\text{C}$); T_0 :室温(25°C);

a:常数= 0.0039Ω ,温度升高 1°C 时, 1Ω 上升的电阻值

铜线和铜箔用量:

$$\text{铜线(高频): } m=K*L_s*N*0.0069865* \phi^2$$

铜线(低频): $m=L_s*N*0.0703*\phi^2$

铜箔: $m=长*宽*厚*0.00893$;

K:系数,外围匝长取 0.8~1.0;

m:重量(g); L_s :平均匝长(mm); N:圈数; ϕ :线径(mm);

铜线线径:

$$I=I_1/K$$

$$\phi = 1.13 * \sqrt{I/J}$$

I_1 :额定电流或峰值电流; K:系数 $\sqrt{2}$ 或 $\sqrt{3}$,一般取 $\sqrt{2}$,只有在锯齿波或三角波时取 $\sqrt{3}$

ϕ :线径(mm); I:实际电流(A) J:电流密度,取 5~8,频率越高取值越小,50KHz 取 8 参考

单根导线换多股线:

$$n = \sqrt{D/d}$$

n:导线股数; D:单根导线直径(mm) d:多股线每一股导线直径(mm)

铜线的穿透厚度:

$$\Delta = K / (\sqrt{f})$$

Δ :穿透厚度(mm); K:系数,100°C时取 75,20°C时取 65.57,20°C时取 66.1; f:工作频率(Hz)

选用的线径不超过穿透厚度的 2~3 倍,铜箔的厚度应小于 2 倍的穿透厚度,在能承受通过电流的情况下,线径并非越大越好,由于趋肤效应和邻近效应的存在,电流密度会有所提高,铜线的利用率会下降,且 f 越大,穿透厚度越小.

用 DCR 计算线径:

$$R*1.1=(1.97*10^{-5}*N*L_s)/\phi^2$$

R:实测的 DCR(Ω); N:圈数; ϕ :线径(mm); L_s :平均匝长(mm);

DR CORE 的中柱小,Q 值就低,加电流后电感落差也较大

加电流后电感衰减差的最大范围(不可超出此范围):

$$\Delta L = [(L_1 - L_2) / L_1] * 100\%$$

ΔL :电感衰减差; L_1 :无加电时电感; L_2 :加电流时电感;

T-core 的 Al 值与 μ_i 值计算:

$$Al = \{[\mu_i^4 * H * (R-r)] / [(R+r) * 10]\} * K$$

$$\mu_i = [L * (R+r) * 10^4] / [4 * N^2 * H * (R-r)]$$

Al:电感系数 nH/N^2 ; μ_i :导磁率; R:磁环外径(mm); r:磁环内径(mm);

L:电感(Uh); H:磁环高度(mm); N:圈数; K:系数,常取 0.8~1.0;

音频插入损耗:

$$IL=20*\log | V_2/V_1 |$$

X:频率响应(dB); V₂:输出电压(mV); V₁:输入电压(mV);

频率响应亦可用此式计算出不同频率点的 IL 值再与 1KHz 的值相对比。

音频回流损耗:

$$RL=20*\log | (Z_1+Z_2)/(Z_1-Z_2) |$$

Z₁:输入阻抗; Z₂:输出阻抗;

电子材料电性误差表示:

J:±5% K:±10% L:±15% M:±20%

网络变压器装后有异音:

1.铁芯未固定; 2.L 值太小,储存能量太少; 3.Lk 和 Cx 值,Cx 值太大影响传输速率

音频测试阻抗不过:

1.线径; 2.圈数; 3.铁芯材质; 4.测试频率

影响音频插入损耗和回流损耗有以下几个因子:

1.绕组的 DCR; 2.PRI 与 SEC 的磁耦合与匝比; 3.磁芯的损耗; 4.Lk;

高频时能通过以下几方面来改善:

1.线规; 2.磁芯几何结构; 3.绕线方法; 磁芯材质;

音频材料阴抗低时,可适当降低次级 DCR 或增加初级 DCR,如果圈数比为 1:1 时,则可将初级圈数增加几圈或将次级圈数减少几圈.匝比不变,圈减少;I LOSS 下降,层间胶带增加,R LOSS 减小,I LOSS 变差; 圈数增加;I LOSS 变好,R LOSS 变差.幅宽不变,圈数减少,线径减小,DCR 不变,高频时 R LOSS 会更好,低频时也会有改善,但不明显,ILOSS 和频率响应无明显变化.

开关电源变压器次极反向,空载有输出,不能加负载,因次极反向时,变压器不能进行能量转换,无电流输出不能加负载;控制绕组虚焊时,空载电压不稳,也可能无输出,也不能加负载;控制绕组位置绕偏时,对变压器的短路消耗功率有较大的影响.

线包的杂散电容和 Lk 有无装铁芯影响不大,EP 型的线包的杂散电容在装铁芯后会有少量升高,绕组越靠近铁芯,相同圈数的电感会较高.如想同时改善材料的电容和漏感,可将所有绕组的极性同时反过来,漏感和电容将同时得到改善.,同时,铜线的 DCR 的大小对漏感和电容有相当大的影响,同样之外径,DCR 小,漏感和电容也会更小.

针对绕组圈数多(2000 圈以上)的硅钢片产品,含浸后电感会出现不稳,变化大,且有下降之现象,此是因为圈数太多,测试时测试电压太高(如 1V),线圈内部没有浸到凡立水而没有固定,在通电时发生振动所致,此时若降低测试电压,L 值会相对稳定,此类现象可用真空含浸,固定线圈内之铜线,避免产生振动就可以稳定电感,且含后电感会上升现象.

凡立水有三种:

1.聚酯类(溶剂型) 2.树脂类(无溶剂型) 3.硅质类

自干凡立水是树脂在空气中发生氧化反应形成漆膜,烘干型是树脂与树脂在高温下发生反应形成交链,产生漆膜,稀释剂中芳香烃为苯化合物(乌龟壳),脂肪烃为碳氢化合物,脂肪烃毒性小,对环境污染较小,芳香烃毒性稍大,但有利于绝缘漆烘干,上漆和凡立水树脂的交链,温度每降低 1°C,凡立水比重就会上升 0.001,故配凡立水最好以比例为准.凡立水的粘度决定于凡立水的固含量和预聚长度,即分子链的长度,预聚性越高,越容易烘干.含浸时胶带翘尾是浸渍漆与胶带粘剂的兼容性有问题.

凡立水的柔韧性试验;

将铝片浸入凡立水中,再烘干,结成漆膜,再将铝片弯曲,弯一个直径 3mm 的弧度,看铝片上的凡立水有无裂纹.

凡立水的防锈性试验(GB/T2423.3);

40°C,RH95% 96H 无生锈.

在开关电源电路中,输入的共模电感一般比输出的滤波电感的感值大,但线径相对来说较小,且输出滤波电感可用穿心磁珠来代替.

磁芯中加 GAP,磁场强度明显增大,而剩磁明显减小,B/H 回线的导磁性(斜率)是随 GAP 的大小变化而变化的,值得注意的是有无 GAP 的同一款铁芯的饱和磁场强度相同,但加 GAP 后能延长饱和时间,在没有饱和的情况下,有 GAP 的磁芯可加上更大的直流偏流,且加偏流后感值相对无 GAP 情况下稳定.反激式开关电源中,当开关管导通时,电能以磁场的形式储存在初级绕组中,当开关管关断时,二极管导通,能量就传递给次级,此乃反激式开关电源的特点,其中高频变压器的初级与次级和控制绕组的极性相反.

把控制绕到初次级之间,可降低初级回路上的电磁干扰,起到屏蔽作用,对 EMI 有利,此为初级调整方案.次级调整方案是将控制绕到次级外面,这样控制与次级之间的耦合最强,结输出电压的变化反应最灵敏,故能提高调整度.控制绕组对 LK 有一定的影响,不过不是太大,测 LK 时,控制不用短路.

漏感的存在使初级回路中产生尖峰电压(一部份),且这部份能量不能马上传输到次级,故漏感太大会累积较大的能量,损坏开关管,也会导致磁饱和,还会导致短路保护功耗过大,一般短路保护功耗为输出功率的 1/3 以下,漏感应为次级开路时初级电感的 1%~3%.

有些电感不作储能,如抑制尖波线圈用于抑制尖峰电流,其铁芯一定要有很好的饱和特性,即在很小的磁场强度下就会饱和,且在短时间内有一定的阻抗,这样才能抑制电流中的尖波,其与铁氧体相比,有动作快,恢复快,高 u_i ,低的饱和磁场强度,一般选用非晶合金,或超级坡莫合金,其 u_i 值高达 100000 之高.设计师选择铁芯的磁导率大小时,要根据材料的最大工作磁通密度(不饱和)指针和最高可使用磁场强度小而定.材料的最大磁通密度指针是由材料本身的饱和特性或由高频磁通密度下的损耗变化量来决

定的.工作磁场大小需要考虑饱和特性和磁芯损耗的允许量.

作为选择磁粉芯大小的一般原则,尺寸越大的磁粉芯可以工作在更高的磁场强度下,这是因为绕线面积提高程度比磁路长度增加的多{ $L=(\mu * A * N^2) / l$ μ :磁导率;A:截面积;N:圈数;l:磁路长度}.考虑到环形磁粉芯和流经有固定电流的铜线,随着磁粉芯内径的提高,有可能在单位磁路长度上绕更多的线(获得更多安匝数),而不会提高绕组的功率损耗密度.这样磁导率可以选择更低,所储存的能量密度也可以提高,而不用提高工作磁通密度.

不同的铁氧体抑制组件,有不同的最佳抑制频率范围.通常磁导率高,抑制的频率就低,.此外,铁体的体积大,抑制的效果就较好.在体积一定时,长而细的比短而粗的形状抑制效果好,内径小,抑制的效果较好,但是在有直流偏流情况下,还存在铁氧饱和的问题,抑制组件横截面越大,可承受的偏流也越大.

铁氧体抑制组件应当安装在靠近干扰源的地方,对于输入/输出电路,应尽量靠近屏蔽壳的进出口处.

无论是电源变压器,开关变压器,还是隔离变压器,它的高频特性直接影响到产品的 EMI 和辐射骚扰特性,同时其磁泄漏的大小直接影响到产品的内部干扰特性.变压器的绕制方式,磁芯材料的形状,材质等直接会影响到整机的 EMC,当一个产品的电磁骚扰问题采用其它方式不能见效时,可改变变压器的形式.

开关回路中另一关键组件就是开关变压器.它对 EMC 影响表现在两个方面,初次级线圈间的分布电容和开关变压器的漏磁.通过在初次级间加静电屏蔽层并引出接地,该接地尽量靠近开关管的发射集接直流输入的 0V 地(热地),这样可以减小分布电容,从而减小了初次级的电场耦合骚扰.为了减小开关变压器的漏磁,可以选择封闭的磁芯(如磁环),因为封闭的磁路比开口的磁芯的漏磁小.另处还可以通过在开关变压器外包高磁导率的屏蔽材料抑制漏磁.从而减小了漏磁辐射的骚扰.

对开关电源而言,当其传导或辐射骚扰不能满足要求时,在交流或直流电源输入端选择带有滤波器的连接器会有事半功倍的功效.

在电路中,大电寄生电容大,为了提高低频部份的插损,不要使用单节滤波器,而应使用若干小的电感器组成的多节滤波器.

使用磁芯电感要注意磁饱和特性,物别要注意高电平脉冲会降低磁芯电感的电感量和在滤波电路中的插损.

“有源”和“无源”

就拿滤波器来说吧, LC 滤波器, RC 滤波器, RL 滤波器, RLC 滤波器等等都是属于无源滤波器;但像带有晶体管和运算放大器的滤波器就属于有源滤波器, 因为必须给这些器件提供电源的. 可以这么说, 所谓“源”, 就是电源. 需要电源供电才能用的器件, 就是有源器件.

“正激”与“反激”

当功率管导通时, 整流电路并不向负载输出能量, 变压器起储能作用, 这是反激。

当功率管导通时, 整流电路同时向负载输出能量, 变压器仅传递能量, 这是正激。

那么, **推挽式、半桥式、全桥式, 都应该归在正激**这一类里. 因为推挽式、半桥式、全桥式在功率管

导通时（不管是哪一侧），总有一半整流电路工作，向负载输出能量。从能量传递的角度看，是如此。从滤波电路看，也是如此：推挽式、半桥式、全桥式 的整流电路都必须用全波或桥式整流，而且滤波电路都在整流输出端与电容之间加电感。而反激式绝无使用全波整流的，如果用，就是正激兼反激电路了。而是否开气隙，完全看使用的磁性材料而定，也许有，也许没有。正激是开关管导通时输入源直接对输出做功，电压源输出，输出电压是开关电压的平均值。反激方式是输入源在开关管导通时对储能组件（L 或 C 或二者组合）做功，储能组件储能，开关管截止时储能组件向输出端释放能量，表现为输入源间接向输出端做功。

1, FLYBACK 由 BUCK_BOOST 演变而来，FORWARD 由 BUCK 演变而来。

2, FLYBACK 的变压器本质上是耦合电感，在 MOS 开通时储存能量，MOS 关断时释放能量。一般情况下要开气隙，但不是绝对的。FORWARD 的变压器就是变压器，只在 MOS 开通时传递能量，基本不储能。

3, FLYBACK 在输出整流二极管和滤波电容之间不能加电感，否则相当于电流源和电流源串联。FORWARD 则必须加电感，否则相当于电压源和电压源并联。

反激式电源设计及应用

变压器绕法

顺序绕法一般漏感为电感量的 5%左右，但由于初、次级只有一个接触面，耦合电容较小，耦合电容是最大的共模干扰传导途径。漏感产生的干扰频率比较低。**夹层绕法**一般漏感为电感量的 1-3%左右，但由于初、次级只有两个接触面，耦合电容较大，所以 EMI 比较难过。一般 30-40W 以下，功率不大，漏感能量还可以接受，所以用顺序绕法比较多，40W 以上，漏感的能量较大，一般只能用夹层绕法。
变压器形状：**长宽比越大的变压器漏感越小**，变压器的气隙有相关的公式计算，但注意**气息一般不要大于 1 毫米**，否则可能引起边缘磁通效应使初级有过热点。

屏蔽形成回路问题的解释

屏蔽是为了抗 EMI，产生的原因是漏感造成的，不屏蔽会向变压器周围的空间发射，屏蔽以后会把这部分能量吸收了，严格来说屏蔽是会多吸收变压器的一点能量，这个问题可以形象地来理解为一个内阻很大的电源向外工作带一个负载电阻，很大的内阻是说他只是漏感造成的，对外的感应能力等效于外带负载，屏蔽相当于把外面的负载短路了，这样的结果就是外面的负载上得不到能量，也就消除了 EMI 干扰，而被多吸收了得能量其实很小，就是因为它只是漏感，相当于电源内阻非常大，所以多吸收得能量其实非常小，一般设计时都不会考虑，但其确实存在。

磁芯本身是既可当成一次侧，也可当成二次侧，如果你初级用双层绝缘线，使磁芯与初级绕组有加强绝缘，则磁芯算二次侧，要与一次侧保持安规距离，如次级绕组用双层绝缘线，则磁芯算一次侧，要与二次侧保持安规距离。

漏感的电流始终是和初级电流串联的，所以漏感电流的下降过程就是次级电流的上升过程，而漏感电流的下降过程是由嵌位电路电容上的电压和反射电压的差来决定的，此差越大，下降越快，转换过程越快，明显效率会提高，转换的过程是电压电流叠加的过程。

“漏感电流的下降过程就是次级电流的上升过程”，漏感电流和次极电流都是在维持磁场的能量（楞次定律）。由此可知：漏感电流存在的时间越短量值越小（漏感越小），则次极电流建立的时间也越短

量值越大，越有利于能量的传输，也有助于效率的提升。所以，减小漏感的目的在此！

漆包线的定义(. 自粘漆包线&非自粘漆包线)：

漆包线的制作是在高纯度, 高导电率的导体上披覆一层绝缘涂料,

即: 导体+绝缘漆=非自粘漆包线

导体+绝缘漆+胶层=自粘漆包线

按绝缘漆的厚度分类：

* 若以 CNS(中国国家标准)或 JIS(日本工业标准)标准来讲, 其绝缘漆的厚度, 可分为 0 种, 1 种, 2 种, 3 种线, 其中 0 种线绝缘漆最厚, 3 种线绝缘漆最薄;

* 若以 IEC(国际电工委员会)标准来讲, 分 Grade1, Grade2, Grade3;

* 若以 NEMA(国际电气制造业协会)标准来讲, 分 Single. Heavy. Triple . Type1. Type2. Type3

开气息改变了是磁芯的有效磁导率，但是最重要一点是磁滞回线变倾斜，降低了剩余磁感 B_r ，使工作磁感 ΔB 增加，在大功率输出时，磁芯不至于饱和。根据单端反激式变压器的工作原理，开气息还有个重要的作用，使磁通复位



分贝

一、功率电平

利用功率关系所确定的电平可以称为功率电平（需要计量的功率值和功率为一毫瓦的零电平功率比较），用数学表达式描述就是：

$$P_m = 10 \lg(P/1) \text{dBm}$$

其中： P_m 代表功率电平。 P 代表需要计量的绝对功率值，单位为毫瓦，零电平功率为一毫瓦。dBm 表示以一毫瓦为基准的功率电平的分贝值。

不同的绝对功率值所对应的以一毫瓦为基准的功率电平值如下：

绝对功率用 dBm 表示

| 绝对功率 | dBm | 绝对功率 | dBm | 绝对功率 | dBm |
|----------|-----|---------|-----|--------|-----|
| 1pW | -90 | 1mW | 0 | 1W | 30 |
| 10pW | -80 | 2mW | 3 | 2W | 33 |
| 100pW | -70 | 4mW | 6 | 4W | 36 |
| 0.001 μW | -60 | 5mW | 7 | 5W | 37 |
| 0.01 μW | -50 | 8mW | 9 | 8W | 39 |
| 0.1 μW | -40 | 10mW | 10 | 10W | 40 |
| 1.0 μW | -30 | 20mW | 13 | 100W | 50 |
| 2 μW | -27 | 40mW | 16 | 1000W | 60 |
| 4 μW | -24 | 50mW | 17 | 10kW | 70 |
| 5 μW | -23 | 80mW | 19 | 100kW | 80 |
| 8 μW | -21 | 100mW | 20 | 1000kW | 90 |
| 0 μW | -20 | 200mW | 23 | 20 μW | -17 |
| 400mW | 26 | 40 μW | -14 | | |
| 500mW | 27 | 50 μW | -13 | | |
| 800mW | 29 | 80 μW | -11 | | |
| 100 μW | -10 | 1000 μW | 0 | | |

二、电压电平

利用电压关系所确定的电平称为绝对电压电平，简称电压电平，用公式表示：

$$P_v = 20Lg(U/0.775) \text{ (dB)}$$

上式中 P_v 代表电压电平值。U 代表需要计量的绝对电压值，单位为伏 (V)。零电平电压为 0.775 伏。

这里需要特别注意的一点是：根据上面“电压电平”的定义，其零电平电压 必须是 0.775V 有效值，不能随意用其它电压值作为基准来定义“电压电平”， 否则容易引起混乱。

三、功率电平和电压电平的关系

功率电平和电压电平之间有着非常密切的关系，从实质上讲，它们是一致的。但现在世界上不同国家使用的习惯却是不一样的，比如，英国（包括英联邦国家）等主要使用功率电平，而有的国家，象法国、俄罗斯等国家却主要使用电压电平。这样一来，那些专门生产测量仪器的厂家（比如惠普、马可尼、摩托罗拉、西门子等）就要按照不同国家用户的需要来供货，既可以提供以功率电平定标的仪器，也可以提供以电压电平定标的仪器。在我们国家，这两种定标读数的测量仪器都在使用。造成这种混乱现象，一是因为我们国家在计量领域没有严格立法，二是因为各自为政地引进国外的测量仪器。

功率电平和电压电平之间可用下面公式来换算：

$$P_m = P_v + 10L_g(600/Z) \text{ (dBm)}$$

式中的 $P_v = 20L_g(U/0.775) \text{ (dB)}$ 功率电平 P_m 的计量单位是 (dBm)，电压电平 P_v 的计量单位是 (dB)

当阻抗 $Z=600\Omega$ 时， $10L_g(600/Z)=0$ ，此时 $P_m=P_v$ ，即功率电平与电压电平相等。当 $Z \neq 600\Omega$ 时，即使是同一功率，用功率电平表来测，读数是 P_m ，用电压电平表来测却是 P_v ，两者读数是不相等的。看下表更直观一些。

| | | | | |
|--------|--------|--------|--------|----------|
| 功率 | 1mW | 1mw | 1mW | 1mW |
| 阻抗 | 600Ω | 300Ω | 75Ω | 50Ω |
| 电压 | 0.775V | 0.548V | 0.274V | 0.224V |
| 功率电平读数 | 0dBm | 0dBm | 0dBm | 0dBm |
| 电压电平读数 | 0dB | -3dB | -6dB | -10.79dB |

我们国内现在使用的测量仪器中,有以一毫功率为 0 电平刻度的功率电平表,也有以电压 0.775V 为 0 电平刻度的电压电平表,我们在使用这些测量仪器时,要留心这一点,否则,出现了测量差错,还要埋怨被测机器性能不好。

对于同样是以 0.775V 为 0dB 来刻度的电压电平表,在测量时(比如,测量天线的灵敏度、天线的增益、接收机的灵敏度)还要注意仪器的测量端子与被测设备、电路端口的阻抗匹配,否则会产生反射损耗,引起测量误差。这些测量仪器的面板上或档位上常常标有 600Ω、300Ω、150Ω、75Ω、50Ω 的不同阻抗,这是提供在阻抗匹配的条件下作终端测量时用的,其仪表面板的读数都是电压电平。

在有线通信系统和设备常常采用 600 欧的输入/输出端口,无线通信系统和设备的平衡输入/输出端口常常采用 300 欧的阻抗,电视、图像、视频系统的输入/输出端口常常采用 75 欧的阻抗,无线通信系统和设备的射频不平衡输入/输出端口往往采用 50 欧的标准阻抗。

| dBm | 信号电压 | dBm | 信号电压 | dBm | 信号电压 | dBm | 信号电压 | dBm | 信号电压 |
|-----|-------|-----|-------|-----|------|-----|------|------|-------|
| 6 | 446mV | -21 | 19.93 | -48 | 890 | -76 | 35.4 | -103 | 1.583 |
| 5 | 398 | -22 | 17.76 | -49 | 793 | -77 | 31.5 | -104 | 1.411 |
| 4 | 354 | -23 | 15.83 | -50 | 707 | -78 | 28.2 | -105 | 1.257 |
| 3 | 316 | -24 | 14.11 | -51 | 630 | -79 | 25.1 | -106 | 1.121 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-------------|-----|------|------|-------|------|--------|
| 2 | 281 | -25 | 12.57 | -52 | 562 | -80 | 22.4 | -107 | 0.999 |
| 1 | 251 | -26 | 11.21 | -53 | 501 | -81 | 19.93 | -108 | 0.89 |
| 0 | 224 | -27 | 9.99 | -54 | 446 | -82 | 17.76 | -109 | 0.793 |
| -1 | 199.3 | -28 | 8.9 | -55 | 398 | -83 | 15.83 | -110 | 0.707 |
| -2 | 177.6 | -29 | 7.93 | -56 | 354 | -84 | 14.11 | -111 | 0.63 |
| -3 | 158.3 | -30 | 7.07 | -57 | 316 | -85 | 12.57 | -112 | 0.562 |
| -4 | 141.1 | -31 | 6.3 | -58 | 282 | -86 | 11.21 | -113 | 0.501 |
| -5 | 125.7 | -32 | 5.62 | -59 | 251 | -87 | 9.99 | -114 | 0.446 |
| -6 | 112.1 | -33 | 5.01 | -60 | 224 | -88 | 8.91 | -115 | 0.398 |
| -7 | 99.9 | -34 | 4.46 | -61 | 199 | -89 | 7.93 | -116 | 0.354 |
| -8 | 89.1 | -35 | 3.98 | -62 | 177 | -90 | 7.07 | -117 | 0.316 |
| -9 | 79.3 | -36 | 3.54 | -63 | 158 | -91 | 6.03 | -118 | 0.282 |
| -10 | 70.7 | -37 | 3.16 | -64 | 141 | -92 | 5.62 | -119 | 0.251 |
| -11 | 63.1 | -38 | 2.82 | -65 | 125 | -93 | 5.01 | -120 | 0.224 |
| -12 | 56.2 | -39 | 2.51 | -66 | 112 | -94 | 4.46 | -121 | 0.199 |
| -13 | 50.1 | -40 | 2.24 | -67 | 99.9 | -95 | 3.98 | -122 | 0.177 |
| -14 | 44.6 | -41 | 1.99 | -68 | 89 | -96 | 3.54 | -123 | 0.158 |
| -15 | 39.8 | -42 | 1.77 | -69 | 79.3 | -97 | 3.16 | -124 | 0.141 |
| -16 | 35.4 | -43 | 1.58 | -70 | 70.7 | -98 | 2.82 | -125 | 0.125 |
| -17 | 31.6 | -44 | 1.41 | -71 | 63 | -99 | 2.51 | -126 | 0.112 |
| -18 | 28.2 | -45 | 1.25 | -72 | 56.2 | -100 | 2.24 | -127 | 0.0999 |
| -19 | 25.1 | -46 | 1.21 | -73 | 50.1 | -101 | 1.99 | -128 | 0.089 |
| -20 | 22.4 | -47 | 999 μ V | -74 | 44.6 | -102 | 1.78 | -129 | 0.078 |
| -75 | 39.8 | | | | | | | | |

电磁基本定律

1, 【欧姆定律】欧姆定律是研究在稳恒电流通过的电路中, 电流、电压和电阻间的相互关系。这个关系可表示为两种形式: 部分电路欧姆定律和全电路(闭合电路)的欧姆定律。当一段导体两端存在电压时, 导体内部就出现电场, 载流子就要在电场力的作用下发生定向运动, 形成电流。关于电流与电压之间的定量关系, 德国科学家欧姆通过大量的实验流过导体的电流 I 与导体两端电压 U 成正比: $I=U/R$. R 的数值取决于导体的材料, 形状、长短、粗细及温度等。当这些因素不变时 R 为常数, 只有当 R 为常数时才可以说 I 与 U 成正比。导体的 R 值越大流过它的电流 I 越小, 可见 R 值反映导体对电流的阻碍程度, 称为导体的电阻。应注意的是: (1) 欧姆定律对金属导体及通常情况下的电解液都很好成立, 但对半导体二极管、真空二极管以及许多气体导电管等组件都不适用。(2) 当导体内部含有电源时, 只能用全电路的欧姆定律。

2, 【库仑定律】 即两电荷间的力与两电荷的乘积成正比, 与两者的距离平方成反比。

3, 【楞次定律】 当导线在磁场中运动时, 或磁场在线圈中变化时, 由导线上感应电流的磁效应所形成的另一磁场作用, 在反抗导线或磁铁与原有磁场间的相对运动。即感应电流的方向为阻止磁场的变化方向, 也就是感生电流的磁通总是力图阻碍引起感生电流的磁通变化, 这就是“楞次定律”。

4, 【法拉第电磁感应定律】 当穿过回路的磁通量发生变化时, 回路中的感生电动势的大小和穿过回路的磁通量变化率成正比。

5, 【基尔霍夫定律】 确定电路中有关量的两个定律。第一定律: 在任一时刻流入电路中某一分节点的电流强度的总和, 等于从该点流出的电流强度总和。第二定律: 在电路中任取一闭合回路, 并规定正的绕行方向, 其中电动势的代数和, 等于各部分电阻 (在交流电路中为阻抗) 与电流强度乘积的代数和。这两个定律是德国物理学家基尔霍夫首先提出的。两个定律的数学式分别为 $\sum I=0$, $\sum E-\sum IR=0$ 。在应用节点电流方程时, 通常规定流进节点的电流为正, 流出节点的电流为负。节点电流方程不仅对节点适用, 还可把它推广到任意假定的封闭面。可以把几个组件放入一个假想的封闭面中, 也可把一部分电路划入。这时流进封闭面的电流和流出的电流相等。在应用回路电压方程时, 必须先选定沿回路绕行的方向, 以便定出电阻上电压降或电源的电动势的正负。当绕行方向和流过电阻的电流方向一致时, 电流应取正值, 即减去正 IR , 反之, 取负值; 当绕行方向从电源负极到正极时, 电动势应取正值, 反之取负值。

6, 【安培右手定则】 右手握住导线, 拇指指向电流流通方向, 其余四指所指方向即为电流产生的磁场方向; 如果是螺管线圈, 则右手握住螺管, 四指指向电流方向, 则拇指指向就是磁场方向

7, 【左手定则】 伸开左手, 四手指指向电流方向, 拇指指向力的方向, 则磁场指向手心。

变压器的基本知识

变压器几乎在所有的电子产品中都要用到, 它原理简单但根据不同的使用场合 (不同的用途) 变压器的绕制工艺会有所不同的要求。变压器的功能主要有: 电压变换; 阻抗变换; 隔离; 稳压 (磁饱和变压器) 等, 变压器常用的铁心形状一般有 E 型和 C 型铁心。

一、变压器的基本原理

图 1 是变压器的原理简体图, 当一个正弦交流电压 U_1 加在初级线圈两端时, 导线中就有交变电流 I_1 并产生交变磁通 ϕ_1 , 它沿着铁心穿过初级线圈和次级线圈形成闭合的磁路。在次级线圈中感应出互感电势 U_2 , 同时 ϕ_1 也会在初级线圈上感应出一个自感电势 E_1 , E_1 的方向与所加电压 U_1 方向相反而幅度相近, 从而限制了 I_1 的大小。为了保持磁通 ϕ_1 的存在就需要有一定的电能消耗, 并且变压器本身也有一定的损耗, 尽管此时次级没接负载, 初级线圈中仍有一定的电流, 这个电流我们称为“空

载电流”。

如果次级接上负载，次级线圈就产生电流 I_2 ，并因此而产生磁通 ϕ_2 ， ϕ_2 的方向与 ϕ_1 相反，起了互相抵消的作用，使铁心中总的磁通量有所减少，从而使初级自感电压 E_1 减少，其结果使 I_1 增大，可见初级电流与次级负载有密切关系。当次级负载电流加大时 I_1 增加， ϕ_1 也增加，并且 ϕ_1 增加部分正好补充了被 ϕ_2 所抵消的那部分磁通，以保持铁心里总磁通量不变。如果不考虑变压器的损耗，可以认为一个理想的变压器次级负载消耗的功率也就是初级从电源取得的电功率。变压器能根据需要通过改变次级线圈的圈数而改变次级电压，但是不能改变允许负载消耗的功率。

二、变压器的损耗

当变压器的初级绕组通电后，线圈所产生的磁通在铁心流动，因为铁心本身也是导体，在垂直于磁力线的平面上就会感应电势，这个电势在铁心的断面上形成闭合回路并产生电流，好象一个旋涡所以称为“涡流”。这个“涡流”使变压器的损耗增加，并且使变压器的铁心发热变压器的温升增加。由“涡流”所产生的损耗我们称为“铁损”。另外要绕制变压器需要用大量的铜线，这些铜导线存在着电阻，电流流过时这电阻会消耗一定的功率，这部分损耗往往变成热量而消耗，我们称这种损耗为“铜损”。所以变压器的温升主要由铁损和铜损产生的。

由于变压器存在着铁损与铜损，所以它的输出功率永远小于输入功率，为此我们引入了一个效率的参数来对此进行描述， $\eta = \text{输出功率} / \text{输入功率}$ 。

三、变压器的材料

要绕制一个变压器我们必须对与变压器有关的材料要有一定的认识，为此这里我就介绍一下这方面的知识。

1、铁心材料：

变压器使用的铁心材料主要有铁片、低硅片，高硅片，的钢片中加入硅能降低钢片的导电性，增加电阻率，它可减少涡流，使其损耗减少。我们通常称为加了硅的钢片为硅钢片，变压器的质量所用的硅钢片的质量有很大的关系，硅钢片的质量通常用磁通密度 B 来表示，一般黑铁片的 B 值为 6000-8000、低硅片为 9000-11000，高硅片为 12000-16000，

2、绕制变压器通常用的材料有

漆包线，沙包线，丝包线，最常用的漆包线。对于导线的要求，是导电性能好，绝缘漆层有足够耐热性能，并且要有一定的耐腐蚀能力。一般情况下最好用 Q2 型号的高强度的聚脂漆包线。

3、绝缘材料

在绕制变压器中，线圈框架层间的隔离、绕阻间的隔离，均要使用绝缘材料，一般的变压器框架材料可用酚醛纸板制作，层间可用聚脂薄膜或电话纸作隔离，绕阻间可用黄腊布作隔离。

4、浸渍材料：

变压器绕制好后，还要过最后一道工序，就是浸渍绝缘漆，它能增强变压器的机械强度、提高绝缘性能、延长使用寿命，一般情况下，可采用甲酚清漆作为浸渍材料。

电工学名词解释

要学好电工技术必须要对在电工学上的一些物理量的概念有所理解，为此本人将一些常用的电工学名词汇总并作注解：

1、电阻率---又叫电阻系数或叫比电阻。是衡量物质导电性能好坏的一个物理量，以字母 ρ 表示，单位为欧姆*毫米平方/米。在数值上等于用那种物质做的长 1 米截面积为 1 平方毫米的导线，在温度 20C 时的电阻值，电阻率越大，导电性能越低。则物质的电阻率随温度而变化的物理量，其数值等于

温度每升高 1C 时，电阻率的增加与原来的电阻电阻率的比值，通常以字母 α 表示，单位为 1/C。

2、电阻的温度系数----表示物质的电阻率随温度而变化的物理量，其数值等于温度每升高 1C 时，电阻率的增加量与原来的电阻率的比值，通常以字母 α 表示，单位为 1/C。

3、电导----物体传导电流的本领叫做电导。在直流电路里，电导的数值就是电阻值的倒数，以字母 g 表示，单位为欧姆。

4、电导率----又叫电导系数，也是衡量物质导电性能好坏的一个物理量。大小在数值上是电阻率的倒数，以字母 γ 表示，单位为米/欧姆*毫米平方。

5、电动势----电路中因其它形式的能量转换为电能所引起的电位差，叫做电动势或者简称电势。用字母 E 表示，单位为伏特。

6、自感----当闭合回路中的电流发生变化时，则由这电流所产生的穿过回路本身磁通也发生变化，因此在回路中也将感应电动势，这现象称为自感现象，这种感应电动势叫自感电动势。

7、互感----如果有两只线圈互相靠近，则其中第一只线圈中电流所产生的磁通有一部分与第二只线圈相环链。当第一线圈中电流发生变化时，则其与第二只线圈环链的磁通也发生变化，在第二只线圈中产生感应电动势。这种现象叫做互感现象。

8、电感----自感与互感的统称。

9、感抗----交流电流过具有电感的电路时，电感有阻碍交流电流过的作用，这种作用叫做感抗，以 L_x 表示， $L_x=2\pi fL$ 。

10、容抗----交流电流过具有电容的电路时，电容有阻碍交流电流过的作用，这种作用叫做容抗，以 C_x 表示， $C_x=1/12\pi fc$ 。

11、脉动电流----大小随时间变化而方向不变的电流，叫做脉动电流。

12、振幅----交变电流在一个周期内出现的最大值叫振幅。

13、平均值----交变电流的平均值是指在某段时间内流过电路的总电荷与该段时间的比值。正弦量的平均值通常指正半周内的平均值，它与振幅值的关系：平均值=0.637*振幅值。

14、有效值----在两个相同的电阻器件中，分别通过直流电和交流电，如果经过同一时间，它们发出的热量相等，那么就把此直流电的大小作为此交流电的有效值。正弦电流的有效值等于其最大值的 0.707 倍。

15、有功功率----又叫平均功率。交流电的瞬时功率不是一个恒定值，功率在一个周期内的平均值叫做

有功功率，它是指在电路中电阻部分所消耗的功率，以字母 P 表示，单位瓦特。

16、视在功率----在具有电阻和电抗的电路内，电压与电流的乘积叫做视在功率，用字母 P_s 来表示，单位为瓦特。

17、无功功率----在具有电感和电容的电路里，这些储能组件在半周期的时间里把电源能量变成磁场(或电场)的能量存起来，在另半周期的时间里对已存的磁场(或电场)能量送还给电源。它们只是与电源进行能量交换，并没有真正消耗能量。我们把与电源交换能量的速率的振幅值叫做无功功率。用字母 Q 表示，单位为乏。

18、功率因数----在直流电路里，电压乘电流就是有功功率。但在交流电路里，电压乘电流是视在功率，而能起到作功的一部分功率(即有功功率)将小于视在功率。有功功率与视在功率之比叫做功率因数，以 $\cos \varphi$ 表示。

19、相电压----三相输电线(火线)与中性线间的电压叫相电压。

20、线电压----三相输电线各线(火线)间的电压叫线电压，线电压的大小为相电压的 1.73 倍。

21、相量----在电工学中，用以表示正弦量大小和相位的矢量叫相量，也叫做向量。

22、磁通----磁感应强度与垂直于磁场方向的面积的乘积叫做磁通，以字母 φ 表示，单位为麦克斯韦。

23、磁通密度----单位面积上所通过的磁通大小叫磁通密度，以字母 B 表示，磁通密度和磁场感应强度在数值上是相等的。

24、磁阻----与电阻的含义相仿，磁阻是表示磁路对磁通所起的阻碍作用，以符号 R_m 表示，单位为 $1/\text{亨}$ 。

25、导磁率----又称导磁系数，是衡量物质的导磁性能的一个系数，以字母 μ 表示，单位是亨/米。

26、磁滞----铁磁体在反复磁化的过程中，它的磁感应强度的变化总是滞后于它的磁场强度，这种现象叫磁滞。

27、磁滞回线----在磁场中，铁磁体的磁感应强度与磁场强度的关系可用曲线来表示，当磁化磁场作周期的变化时，铁磁体中的磁感应强度与磁场强度的关系是一条闭合线，这条闭合线叫做磁滞回线如图 1。

28、基本磁化曲线----铁磁体的磁滞回线的形状是与磁感应强度(或磁场强度)的最大值有关，在画磁滞回线时，如果对磁感应强度(或磁场强度)最大值取不同的数值，就得到一系列的磁滞回线，连接这些回线顶点的曲线叫基本磁化曲线。

29、磁滞损耗----放在交变磁场中的铁磁体，因磁滞现象而产生一些功率损耗，从而使铁磁体发热，这种损耗叫磁滞损耗。

30、击穿---绝缘物质在电场的作用下发生剧烈放电或导电的现象叫击穿。

31、介电常数---又叫介质常数，介电系数或电容率，它是表示绝缘能力特性的一个系数，以字母 ϵ 表示，单位为法/米。

32、电磁感应---当环绕着某一导体的磁通发生变化时，导体内就出现电动势，这种现象叫电磁感应。

33、趋肤效应---又叫集肤效应，当高频电流通过导体时，电流将集中在导体表面流通，这种现象叫趋肤效应。

电子产品的安全距离及其相关安全要求

所谓安全距离，就是为保护人在使用电子产品的时候，危险电压带电部分与人不能轻易接触到，也不能让它来引起危险导致威胁人身安全。

因此必须在一般情况下，安全距离是在产品设计中最重要的部分之一。检查安全距离从设计阶段开始。结构检查人员会首先检查 PCB 板上的安全距离（最好拿空的 PCB 板用透明薄尺或游标卡尺来测量），之后，就是检查危险电压带电部分与其它部分（如外壳、安全电压部分等）距离等等。总之，一切关乎与安全的部分都要测量，特别重点会在电源部分。

具体参考各种安全标准：

IEC60950\ IEC60065\UL60950\GB8898\GB4943 等

以下引自其它文章：

安全距离包括电气间隙（空间距离），爬电距离（沿面距离）和绝缘穿透距离

1、电气间隙：两相邻导体或一个导体与相邻电机壳表面的沿空气测量的最短距离。

2、爬电距离：两相邻导体或一个导体与相邻电机壳表面的沿绝缘表面测量的最短距离。

电气间隙的决定：

根据测量的工作电压及绝缘等级，即可决定距离

一次侧线路之电气间隙尺寸要求，见表 3 及表 4

二次侧线路之电气间隙尺寸要求见表 5

但通常：一次侧交流部分：保险丝前 L—N \geq 2.5mm，L,N PE（大地） \geq 2.5mm，保险丝装置之后可不作要求，但尽可能保持一定距离以避免发生短路损坏电源。

一次侧交流对直流部分 \geq 2.0mm

一次侧直流地对大地 \geq 2.5mm（一次侧浮接地对大地）

一次侧部分对二次侧部分 \geq 4.0mm，跨接于一二次侧之间之元器件

二次侧部分之电隙间隙 $\geq 0.5\text{mm}$ 即可

二次侧地对大地 $\geq 1.0\text{mm}$ 即可

附注：决定是否符合要求前，内部零件应先施于 10N 力，外壳施以 30N 力，以减少其距离，使确认为最糟情况下，空间距离仍符合规定。

爬电距离的决定：

根据工作电压及绝缘等级，查表 6 可决定其爬电距离

但通常：（1）、一次侧交流部分：保险丝前 L—N $\geq 2.5\text{mm}$ ，L,N大地 $\geq 2.5\text{mm}$ ，保险丝之后可不作要求，但尽量保持一定距离以避免短路损坏电源。

（2）、一次侧交流对直流部分 $\geq 2.0\text{mm}$

（3）、一次侧直流地对地 $\geq 4.0\text{mm}$ 如一次侧地对大地

（4）、一次侧对二次侧 $\geq 6.4\text{mm}$ ，如光耦、Y 电容等元器件脚间距 $\leq 6.4\text{mm}$ 要开槽。

（5）、二次侧部分之间 $\geq 0.5\text{mm}$ 即可

（6）、二次侧地对大地 $\geq 2.0\text{mm}$ 以上

（7）、变压器两级间 $\geq 8.0\text{mm}$ 以上

3、绝缘穿透距离：

应根据工作电压和绝缘应用场合符合下列规定：

——对工作电压不超过 50V（71V 交流峰值或直流值），无厚度要求；

——附加绝缘最小厚度应为 0.4mm；

——当加强绝缘不承受在正常温度下可能会导致该绝缘材料变形或性能降低的任何机械应力时的，则该加强绝缘的最小厚度应为 0.4mm。

如果所提供的绝缘是用在设备保护外壳内，而且在操作人员维护时不会受到磕碰或擦伤，并且属于如下任一种情况，则上述要求不适用于不论其厚度如何的薄层绝缘材料：

——对附加绝缘，至少使用两层材料，其中的每一层材料能通过附加绝缘的抗电强度试验；或者：

——由三层材料构成的附加绝缘，其中任意两层材料的组合都能通过附加绝缘的抗电强度试验；或者：

——对加强绝缘，至少使用两层材料，其中的每一层材料能通过加强绝缘的抗电强度试验；或者：

——由三层绝缘材料构成的加强绝缘，其中任意两层材料的组合都能通过加强绝缘的抗电强度试验。

4、有关于布线工艺注意点：

如电容等平贴组件，必须平贴，不用点胶

如两导体在施以 10N 力可使距离缩短，小于安规距离要求时，可点胶固定此零件，保证其电气间隙。

有的外壳设备内铺 PVC 胶片时，应注意保证安规距离（注意加工工艺）

零件点胶固定注意不可使 PCB 板上有胶丝等异物。

在加工零件时，应不引起绝缘破坏。

5、有关于阻燃材料要求：

热缩套管 V—1 或 VTM—2 以上；PVC 套管 V—1 或 VTM—2 以上

铁氟龙套管 V-1 或 VTM-2 以上；塑胶材质如硅胶片，绝缘胶带 V-1 或 VTM-2 以上

PCB 板 94V-1 以上

6、有关于绝缘等级

- (1)、工作绝缘：设备正常工作所需的绝缘
- (2)、基本绝缘：对防电击提供基本保护的绝缘
- (3)、附加绝缘：除基本绝缘以外另施加的独立绝缘，用以保护在基本绝缘一旦失效时仍能防止电击
- (4)、双重绝缘：由基本绝缘加上附加绝缘构成的绝缘
- (5)、加强绝缘：一种单一的绝缘结构，在本标准规定的条件下，其所提供的防电击的保护等级相当于双重绝缘

各种绝缘的适用情形如下：

A、操作绝缘 operational insulation

- a、介于两不同电压之零件间
- b、介于 ELV 电路（或 SELV 电路）及接地的导电零件间。

B、基本绝缘 basic insulation

- a、介于具危险电压零件及接地的导电零件之间；
- b、介于具危险电压及依赖接地的 SELV 电路之间；
- c、介于一次侧的电源导体及接地屏蔽物或主电源变压器的铁心之间；
- d、做为双重绝缘的一部分。

C、补充绝缘 supplementary insulation

- a、一般而言，介于可触及的导体零件及在基本绝缘损坏后有可能带有危险电压的零件之间，如：

- I、介于把手、旋钮，提柄或类似物的外表及其未接地的轴心之间。
- II、介于第二类设备的金属外壳与穿过此外壳的电源线外皮之间。
- III、介于 ELV 电路及未接地的金属外壳之间。

- b、做为双重绝缘的一部分

D、双重绝缘

Double insulation Reinforced insulation

一般而言，介于一次侧电路及

- a、可触及的未接地导电零件之间，或
- b、浮接（floating）的 SELV 的电路之间或
- c、TNV 电路之间

双重绝缘=基本绝缘+补充绝缘

注：ELV 线路：特低电压电路

在正常工作条件下，在导体之间或任一导体之间的交流峰值不超过 42.4V 或直流值不超过 60V 的二次电路。

SELV 电路：安全特低电压电路。

作了适当的设计和保护的二次电路，使得在正常条件下或单一故障条件下，任意两个可触及的零部件之间，以及任意的可触及零部件和设备的保护接地端子（仅对 I 类设备）之间的

电压，均不会超过安全值。

TNV：通讯网络电压电路

在正常工作条件下，携带通信信号的电路。

[MIL-STD-105E](#) 是世界上应用最普及的抽样标准,亦是 105D 的最新版本

1995 年,美国军方宣布取消 MIL-STD-105E,以美国国家标准 ANSI/ASQC Z1.4-1993 代替 MIL-STD-105E

2003 年, ASQ (美国质量协会) 对 [ANSI/ASQC Z1.4-1993](#) 进行了修订, 发布了 2003 年版美国国家标准 ANSI/ASQ Z1.4-2003。

同样在 2003 年, 针对国际标准 ISO2859-1: 1999 发生的新的变化, 中国对 GB2828-87 进行了修订, 等同采用 ISO2859-1: 1999 作为国家标准, 代号为 GB/T2828.1-2003。名称也由 GB2828-87 《逐批检查计数抽样程序及抽样表 (适用于连续批的检查)》变为 GB/T2828.1-2003 《计数抽样检验程序 第 1 部分: 按接收质量限 (AQL) 检索的逐批检验抽样计划》。新标准同旧标准相比, 发生了很大变化, 企业应及时适应这些变化

