

Annexe A4.3.

Propriétés et usages des matériaux de l'électrotechnique

A4.3.1. Caractéristiques des métaux conducteurs

Désignation et composition	Masse volumique (Kg/m ³)	Température de fusion (°C)	Conductivité thermique (W/(m.K))	Coefficient de dilatation thermique (10 ⁻⁶ /°C)	Résistivité à 20°C (10 ⁻⁸ Ω.m)	Coefficient de température (10 ⁻⁴ /°C)	Résistance à la rupture (N/mm ²)	Allongement (%)	Dureté (H.B.)	Propriétés et emploi
Argent - Ag	10,5	960	08	20	1,6	38	157		55	Excellentes propriétés électriques, Grande résistance à l'oxydation, Allié au Cd, Ni : contacts électriques. Fusibles. Élément d'alliage du cuivre et du tungstène.
Cuivre - Cu	8,9	1085	400	17	1,7	39	25 à 30	10 à 40	50 à 90	Bon conducteur. Ductile, malléable (laminage, filage, emboutissage, pliage,...). Pur ou faiblement allié: fils, câbles, barres, lames de collecteur, caténaires, bagues de moteurs, appareillage en alliages,... Alliages : laitons, bronzes, maillechort, constantan
Or - Au	19,3	1064		19	2,1	30			36	Métal rare. Inaltérable et inoxydable. Câblage microélectronique. Contacts.
Aluminium - Al	2,7	660	222	23	2,6	43	80 à 170	1 à 45	15 à 45	Très léger. Protégé par la faible couche d'alumine qui se forme à sa surface. Très malléable (moulage, laminage, filage, emboutissage, pliage, usinage,...). Câbles, câbles aériens, barres, cages de moteur
Sodium - Na	1	98	134	71	4,2					Très mou, léger. Très réactif avec l'eau. Fluide caloporteur. Lampes à décharge.
Rhodium - Rh	12,4	1960	88	8	4,5					Très rare (3 tonnes/an). Inaltérable et difficile à travailler. Thermocouple. Contacts électriques.
Tungstène - W	19,1	3410	201	4	5,5	48	900		340	Très dur. Grande résistance à température très élevée. Filaments de lampes à incandescence. Contacts électriques (alliés avec Cu et Al).
Zinc - Zn	7,1	420	113	29	5,9	42				Malléable à chaud (150°C). protégé par la faible couche d'oxyde qui se forme à sa surface. Revêtement anti-corrosion. Allié au cuivre dans les laitons.
Cadmium - Cd	8,7	320	92	7	6,8	38	50			Bonne résistance à la corrosion. Toxique. Batterie nickel-cadmium.

Suite du tableau « caractéristiques des métaux conducteurs »

Désignation et composition	Masse volumique (Kg/m ³)	Température de fusion (°C)	Conductivité thermique (W/(m.K))	Coefficient de dilatation thermique (10 ⁻⁶ /°C)	Résistivité à 20°C (10 ⁻⁸ Ωm)	Coefficient de température (10 ⁻⁴ /°C)	Résistance à la rupture (N/mm ²)	Allongement (%)	Dureté (H.B.)	Propriétés et emploi
Nickel - Ni	8,9	1455	92	13	6,8	47			155	Bonne dureté. Inoxydable. Allié au fer (matériaux magnétiques, acier inoxydable). Batterie nickel-cadmium. Thermocouples. Résistances.
Fer - Fe	7,9	1540	75	12	9,7	55				Facilement oxydable, magnétique. Grand nombre d'alliages : maillechort, constantan, aciers. Matériau magnétique. Résistances.
Platine - Pt	21,5	1773	71	89	10	48	180		70	Très bonne résistance à la corrosion et à l'arc électrique. Grande dureté. Contacts, Electrodes. Thermocouple. Thermorésistance.
Etain - Sn	7,3	232	27		11,5	43	80			Faible température de fusion. Allié au cuivre dans les laitons et au plomb pour les soudures électriques.
Plomb - Pb	11,3	327	35	29	21	42	50			Mou, ductile et malléable. Bonne résistance à la corrosion. Toxique. Batteries. Soudures électriques. Armatures de câbles électriques.
Mercure - Hg	13,6	-39			96	9	xxx	xx	xx	Liquide à température ambiante. Toxique. Contacts électriques. Tubes fluorescents. Lampes à vapeur de mercure.

A4.3.2. Caractéristiques des alliages métalliques conducteurs

Désignation et composition	Masse volumique (Kg/m ³)	Température de fusion (°C)	Conductivité thermique (W/(m.K))	Coefficient de dilatation thermique (10 ⁻⁶ /°C)	Résistivité à 20°C (10 ⁻⁸ Ωm)	Coefficient de température (10 ⁻⁴ /°C)	Résistance à la rupture (N/mm ²)	Allongement (%)	Dureté (H.B.)	Propriétés et emploi
Laitons Cu+15 à 40% Zn	≈8	≈940		18	6,5	10	300 à 600	10 à 45	50 à 80	Résistance à l'oxydation. Emboutissage. Usinage. Petites pièces de matériels électriques. Cosses, douilles, culots, raccords..
Bronzes Cu+10% Sn+Zn Cu+10% Al+Zn	≈9	900		17	12 à 15	5	200 à 240	5 à 20	60 à 70	Moulage. Pièces moulées, pièces flottantes, collecteur, caténares, portes balais.
Constantan Cu+45% Ni		1240			49	0	320	6		Résistivité indépendante de la température. Thermocouples. Appareils de mesure.
Maillechort Cu+25% Ni+25% Zn	8,5	1000		23	30 à 50	2,5	520	1 à 45	140	Malléable, ductile, inaltérable. Usinable, résistant à la rupture. Résistivité importante. Résistances, ressorts conducteurs.

A4.3.3. Classification en fonction de l'état physique

DESIGNATION		Masse volumique	Température maximale	Résistance à la rupture	Résistivité	Rigidité diélectrique	Constante diélectrique ϵ_r	PROPRIETES	EMPLOIS	
										UNITES
ISOLANTS SOLIDES	Origine minérale	MICA Feuilles minces à l'état naturel.	3000	200		10^{13}	100 à 200	6 à 7	Très grande rigidité diélectrique.	Agglomérés à des résines d'où : micanites, rubans micacés, micafolium.
		VERRE Sable de silice + chaux + soude	2500	>180		10^{10} à 10^{17}	25 à 45	6	Grande résistance mécanique mais très fragile.	Isolateurs de lignes aériennes Fibre et tissus de verre.
		PORCELAINE Argile + quartz + émail	2500	>180	100	10^{12}	16	5	Résiste aux chocs thermiques et à la chaleur.	Isolateurs HT. Supports de résistances électriques. Pièces moulées.
		AMIANTE Silicate de chaux + magnésie	1800 à 2200	>180		10^9	3	2	Bonne résistance à la chaleur et au feu, mais craint l'humidité.	Supports de résistances. Isolant de conducteurs. En plaques, rubans, cordons.
	Origine organique	BOIS Imprégné de bakélite.	600 à 900	105	140	10^4	5	9	Très léger. Peu coûteux.	Poteaux, tableaux, moulures, cales isolantes, panneaux.
		PAPIER Cellulose agglomérée et imprégnée.	800 à 1300	60	70 à 120	10^{10} à 10^{16}	60 à 80	6	Très sensible à l'humidité. Souple.	Rubans imprégnés pour câbles haute tension. Cartons, rubans, produits stratifiés.
		CAOUTCHOUC Résine naturelle Latex de l'hévéa.	960	60	32	10^{14}	20 à 30	3	Elastique. Attaqué par les huiles. Vulcanisé par addition de soufre.	Produits en bandes ou moulés. Isolation des conducteurs et câbles.
		COTON Fibres imprégnées.		90 à 120	50 à 100	10^9	5 à 10	3 à 4	Très souple, économique et bonne résistance à la traction.	Fils rubans, toile. Isolation en bobinage avec imprégnation.
ISOLANTS LIQUIDES	HUILE MINERABLE Distillation du pétrole brut.	850 à 950	145		10^{19}	9 à 10	2	Rigidité diélectrique chute avec la présence d'humidité.	Isolation des transformateurs.	
	ASKARELS Diélectriques chlorés (pyralène).	1300 à 1500			10^{10}	20	5	Ininflammable.	Interdit depuis 1990.	
ISOLANTS GAZEUX	AIR SEC				10^{14}	3	1	Rigidité très élevée à la pression de 10 bars : 225 kV/mm	Isolation des lignes aériennes. Interrupteurs, disjoncteur pneumatique.	
	SF6 Hexachlorure de soufre					7,5	1	Rigidité diélectrique égale à 2,5 fois celle de l'air.	Disjoncteurs haute tension.	

Suite du tableau « classification en fonction de l'état physique »

DESIGNATION		Masse volumique	Température maximale	Résistance à la rupture	Résistivité	Rigidité diélectrique	Constante diélectrique ϵ_R	PROPRIETES	EMPLOIS
UNITES		Kg/ m ³	°C	N/ mm ²	Ω m	kV/ mm			
THERMODURCISSABLES	BAKELITE Résine phénolique + farine de bois.	1400	150 à 170	3 à 5	10 ¹⁰ à 10 ¹²	10 à 20	5 à 9	Résiste à la chaleur, couleur sombre.	Poudre à mouler, résine, vernis. Très utilisé en produits en plaques et appareillage.
	FORMICA Résine aminoplaste + charge cellulosique.	1400	100 à 120	4 à 8	10 ¹⁰	10 à 15	7 à 10	Transparent, se colore facilement.	Poudre à mouler, résine, vernis. Produits stratifiés, pièces d'appareillage.
	ARALDITE Résine époxy.	1200	110 à 120	6,5	10 ¹⁴ à 10 ¹⁵	70	4,5	Très bonne rigidité électrique.	Résine à couler, vernis, colle, pièces isolantes moulées.
	POLYESTER Résine alkyles.	1200	120	4,5	10 ¹³	13 à 22	2,5 à 4	Très utilisé en stratifié avec fibre de verre.	Résine, poudre, pièces moulées. Produits stratifiés
	SILICONE Carbone remplacé par du silicium..	1800	180	40 à 80	10 ¹⁴ à 10 ¹⁶	300	2,5	Excellentes propriétés électriques et mécaniques, mais coûteux.	Huiles graisses, caoutchouc. Poudre à mouler, résine, vernis.
THERMOPLASTIQUES	PVC Polychlorure de vinyle.	1400	60	4	10 ¹²	35	5	Le plus utilisé, peut se coller facilement, très souple.	Rubans imprégnés pour câbles haute tension. Cartons, rubans, produits stratifiés.
	POLYSTYRENE	1000	80	5	10 ¹⁵	25	2,5	Transparent, léger, n'absorbe pas l'humidité.	Isolation et gaines pour conducteurs et câbles, feuilles, plaques, tubes.
	PLEXIGLAS	1200	80	7	10 ¹⁶	15	4	Transparence parfaite.	Moulage de pièces isolantes.
	NYLON-RILSAN Polyamides.	1100	145	6	10 ¹¹	14	5	Très résistant à l'usure, s'obtient en fils très fins.	Fils et tissus de guipage de fils. Pièces isolantes d'appareillage.
	TEFLON Fluorétène.	2200	250	3	10 ¹⁷	18	2	Bonnes propriétés électriques et mécaniques, à haute température, mais coûteux.	Rubans statifiés Utilisations spéciales.
	CAOUTCHOUC Néoprène	1240	70	4	10 ¹⁰	14	7	Très élastique, résiste aux huiles et aux solvants.	Isolation des fils et des câbles.

A4.3.4. Guide de choix des matériaux doux

Forme de l'induction	Objectifs de choix	Matériaux						Utilisations	
		Exemples	B _{max} (T)	Champ coercitif H _c (A/m)	mR pour B= 1T	Résistivité (.mx10 ⁻⁸)	Pertes (W/kg)		
Constante	Rechercher une induction B maximale avec un champ H le plus faible possible, d'où une perméabilité élevée.	Fe pur	1,6	4	10000	10	B=1,5T f =50Hz	Pôles inducteurs de machines à courant continu. Electroaimant de contacteurs alimentés en courant continu. Rotor en acier forgé de turboalternateur de forte puissance..	
		acier doux (0,1% de C)	1,2		1500				10
Variable F= 50 Hz ou 60 Hz	Rechercher de faibles pertes par courant de Foucault et hystérésis tout en conservant une très bonne perméabilité, d'où un matériau à cycle étroit.	Tôle laminée à grains non orientés acier +1 à 4% de Si	1,7	24 à 72	6000 à 9000	15 à 60	B=1,5T f =50Hz ép.35/100 2,3 ép.65/100 9,5	Circuits magnétiques des machines à courant alternatif : Transformateurs Moteurs asynchrones et synchrones Electroaimant de contacteurs alimentés en courant alternatif.	
		Tôle à grains orientés acier + 3,5% de Si		2	5,6				65000
Variable F > 60 Hz	Rechercher une perméabilité importantes aux hautes fréquences avec de faibles pertes par courant de Foucault et hystérésis.	Ferrites MFe ₂ O ₃	0,4	? à ?	7000	Isolant : 10 ¹⁶	B=0,2T f=100kHz 100	M = Zn et/ou Mn (f < 1,5 MHz) M = Zn et/ou Ni (f < 200 MHz) alimentation à découpage, filtre haute fréquence.	
		Alliage de fer - nickel	0,8 à 1,6	0,4 à 55	60000 à 220000		35 à 60	B=0,2T f=100kHz 100	Circuits magnétiques des composants utilisés à moyenne et haute fréquence : Transformateurs, bobines de couplage, Inductances, filtres, blindages.
		Alliage de fer - cobalt	0,6 à 1,2	35 à 150	5000 à 12000		15 à 40	B=0,2T f=100kHz 40	

A4.3.5. Guide de choix des matériaux durs

Matériaux		Caractéristiques					Utilisations
		B _r (T)	Champ coercitif H _c (kA/m)	(BH) _{max} kJ / m ³	Température de Curie T _c (°C)	Température d'utilisation max (°C)	
AINiCo		0,7	50	13	860	450	Appareils de mesures Capteurs Pièces exposées aux chocs..
		1,4	à 60	60			
Ferrites		0,4	250	27	460	400	Moteurs, accouplements Répulsion, aimants minces
Terres rares	SmCo ₅	1	750	190	730	200	Matériel embarqué Microélectronique Moteur synchrone Répulsion, aimants minces Accouplements.
	Nd-Fe-B	1,3	950	360	310	150	