

Interpretação das propriedades do polietileno no isolamento eléctrico

HERMÍNIO DUARTE-RAMOS

*Engenheiro Electrotécnico (I.S.T.)
Assistente da Universidade de Luanda (Angola)*

1. INTRODUÇÃO

Dando satisfação às constantes e sucessivamente agravantes exigências da indústria de construção de material eléctrico, em especial a redução da condutância dos isolantes, eliminação do conteúdo de humidade e funcionamento satisfatório a elevadas frequências com a diminuição do ângulo de perdas dieléctricas, a química dos polímeros introduziu um novo ramo na tecnologia dos materiais isolantes, representando hoje um significativo papel no desenvolvimento dos equipamentos usados nas instalações eléctricas.

Desde os tempos mais remotos que se faz uso dos polímeros conforme se apresentam na natureza (madeira, algodão, cânhamo, lã, seda, coiro), tendo-se utilizado estes compostos orgânicos naturais, mais ou menos trabalhados, no isolamento eléctrico, a partir dos passos iniciais da indústria de construção electrotécnica, principalmente a seda, o papel e a borracha.

Os compostos orgânicos formados apenas por carbono e hidrogéneo e designados hidrocarbonetos são reconhecidos desde há muito tempo como bons dieléctricos. É exemplo o uso de óleos, misturas de vários hidrocarbonetos resultantes da refinação do petróleo, como dieléctricos líquidos nos transformadores e condensadores. Outro exemplo refere-se à parafina, que possui elevada resistividade (da ordem de 10^{10} Ohm.cm) e baixas perdas dieléctricas.

Mas os hidrocarbonetos com elevado peso molecular obtidos sinteticamente apresentam melhores propriedades dieléctricas pois não contém grupos polares, revelando-se então propriedades diferentes das existentes nos hidrocarbonetos na-

turais. Exemplificando, o polietileno, que tem uma resistividade superior (10^{17} Ohm.cm) possui igualmente mais elevado ponto de fusão, maior dureza e outras características de melhor teor, como elasticidade, resistência à fractura e possibilidade de extrusão.

A composição dos hidrocarbonetos saturados é dada pela fórmula geral $C_n H_{2n+2}$ e a dos hidrocarbonetos não saturados ou etilénicos por $C_n H_{2n}$, quer dizer, a propriedade característica dos compostos etilénicos é que para o mesmo número de átomos de carbono contém menos dois átomos de hidrogéneo que os correspondentes hidrocarbonetos saturados. Por exemplo o propano, $C_3 H_8$ ou $CH_3-CH_2-CH_3$ da série saturada tem mais dois átomos H que o propileno $C_3 H_6$ ou $CH_3-CH=CH_2$ da série não saturada.

A partir dos hidrocarbonetos não saturados, etileno, propileno, butileno, isobutileno e estireno, obtém-se os compostos poliméricos. De facto, a dupla ligação dos hidrocarbonetos não saturados, ou ligação etilénica, constituindo o centro não saturado da molécula provoca facilmente a síntese de átomos diferentes ou grupos de átomos dando origem à formação de substâncias poliméricas. Note-se que nestas existe ainda uma ligação dupla mas num número muito grande de átomos de carbono, da ordem dos milhares, podendo-se portanto considerar como saturados, quimicamente inertes e resistentes à humidade.

Dada a sua importância no domínio da electrotécnica descrevem-se neste artigo as propriedades mais relevantes do polietileno, as quais se justificam através dos conceitos estruturais dos polímeros.

enfraquecimento das forças intermoleculares em determinadas zonas, as cadeias macromoleculares não se podem dispor continuamente em ordem, surgindo zonas amorfas, onde as cadeias se misturam confusamente, entre zonas cristalinas, com cadeias ordenadas em fiadas paralelas, definindo-se o chamado *grau de cristalinidade* dos polímeros.

4. PROPRIEDADES DO POLIETILENO

As propriedades típicas do polietileno, que definem o seu campo de aplicação no isolamento eléctrico, esquematizam-se nos seguintes quatro grupos:

- Excepcionais características dieléctricas numa vasta gama de frequência;
- Indiferença a ambientes húmidos ou quimicamente agressivos;
- Boas propriedades mecânicas;
- Esplêndidas propriedades tecnológicas.

As características particulares do polietileno dependem porém do método de preparação ou do peso molecular. Em geral distinguem-se dois tipos essenciais: polietileno de alta pressão ou *baixa densidade* e de reduzida pressão ou *elevada densidade*.

As propriedades do polietileno dependentes da estrutura química da macromolécula, a qual é por natureza hidrocarboneto saturado, são iguais nos dois tipos: elevada resistência à humidade, dependente da presença de impurezas, que atinge 0,095 % de absorção em trinta dias; inatacabilidade pela concentração de ácidos (por exemplo, ácido sulfúrico) e bases à temperatura ambiente; e em especial as *propriedades dieléctricas*:

Permeabilidade	$\epsilon = 2,2 - 2,3$
Resistividade	$\rho = 10^{17}$ Ohm cm
Resistividade superf.	$\sigma = 10^{14}$ Ohm
Factor de dissipação tg δ	$\delta = (2-4) \cdot 10^{-4}$
Rigidez dieléctrica	$E_D = 40-60$ kV/mm ⁻¹

As propriedades do polietileno dependentes da sua constituição física são evidentemente diferentes conforme o tipo de preparação. Assim das *propriedades físicas* mais notáveis, em consequência do mais elevado grau de cristalinidade, o polietileno de reduzida pressão apresenta maior densidade e mais elevado ponto de amaciamento [2]:

	Polietileno de baixa densidade (alta pressão)	Polietileno de elevada densidade (reduzida pressão)
Grau de cristalinidade %	55 - 60	80 - 90
Densidade (gr cm ⁻³)	0,92 - 0,93	0,94 - 0,96
Ponto de fusão (°C)	105 - 110	120 - 140

Pela mesma razão as *propriedades mecânicas* distinguem-se conforme o processo de preparação: a tensão de rotura é mais alta no polietileno de elevada densidade e a alongação relativa é consideravelmente inferior [1]:

	Polietileno de baixa densidade	Polietileno de elevada densidade
Tensão de rotura (kg cm ⁻²)	120 - 160	200 - 280
Elongação (%)	400 - 600	50 - 150

Como resultado da menor proporção da fase amorfa o polietileno de elevada densidade é menos elástico, mais duro e mais resistente ao desgaste.

A maior densidade na distribuição das cadeias macromoleculares dá ao polietileno uma maior resistência à penetração de solventes e à difusão de vapores, sendo o aumento de volume em benzeno duas a três vezes menor que no polietileno de baixa densidade.

Ambos os tipos de polietileno possuem boas *propriedades tecnológicas*: facilmente se trabalham por extrusão com baixas pressões, sendo necessária uma temperatura mais alta no caso do polietileno de elevada densidade em virtude da sua temperatura de fusão ser maior.

No que diz respeito ao *envelhecimento* [3] observa-se que o calor e a luz, por exemplo do sol, deterioram grandemente este material. O polietileno de alta densidade envelhece mais depressa pois quanto maiores forem as cadeias maior é a tendência para a disrupção. Um processo de retardar o envelhecimento térmico consiste na adição de antioxidantes (vários fenóis ou animais). Uma percentagem até 2 % de carbono negro constitui uma blindagem às radiações ultra-violetas e absorve os produtos iniciais da oxidação donde resulta uma protecção contra o envelhecimento pela luz, mas em contrapartida as propriedades dieléctricas são pioradas.

5. APLICAÇÕES DO POLIETILENO

Na técnica da construção de equipamentos electrotécnicos o polietileno ocupa um relevante lugar dadas as suas magníficas propriedades isolantes.

Em especial é importante a sua aplicação no fabrico de *cabos eléctricos* como material isolante em virtude das suas reduzidas perdas dieléctricas, mesmo para elevadas frequências, boas características mecânicas e adequadas propriedades tecnológicas.

De facto, as perdas dieléctricas são proporcionais à frequência e ao quadrado da tensão de serviço, à capacidade e ao factor de dissipação do dieléctrico ($P = \omega C U^2 \text{tg } \delta$) pelo que, para dadas condições de funcionamento, determinadas por ω e U , as perdas dieléctricas serão tanto menores quanto menor for $\text{tg } \delta$ e a constante dieléctrica (pois C é proporcional a ϵ). Ora o polietileno é hoje em dia o material isolante conhecido com

menor factor de dissipação e possui reduzida constante dieléctrica, o que lhe confere preferência no fabrico de cabos de alta frequência (uma vez que as perdas são inevitavelmente proporcionais à frequência $f = 2\pi/\omega$).

Além das excepcionais propriedades dieléctricas o polietileno possui vantajosas características tecnológicas, podendo-se formar elementos construtivos por vasamento sob pressão e pode ser trabalhado pelos variados métodos de tratamento (mecânico, estampagem, furação, corte, etc.).

Hoje fabricam-se largamente cabos em polietileno para rádio-frequências, telefónicos e de potência. Nos *cabos para rádio-frequências* são importantes os efeitos da reduzida constante dieléctrica ϵ e do baixo ângulo de perdas δ , que provocam um mínimo de perdas da energia electromagnética transportada e baixos valores de atenuação. Além disso, nos *cabos telefónicos* é notável a insensibilidade do polietileno à humidade. No caso dos *cabos de potência* apresenta-se ainda de enorme vantagem o seu carácter seco, podendo-se portanto instalar na vertical ou em declives muito pronunciados sem o perigo de deterioramento do isolamento por um fortuito escoamento do meio isolante, como sucede nos cabos impregnados. Nos casos de alimentação em locais húmidos ou molhados, por exemplo, nas bombas de água imersas, recomenda-se por conseguinte a utilização do isolamento a polietileno. Notável ainda é a aplicação em ambientes com água salgada, dado que o polietileno é inatacado pelos sais, em especial nos *cabos submarinos*, ou em indústrias químicas de ambientes corrosivos.

6. CONCLUSÕES

Após a análise dos tipos de macromoléculas e da influência das forças intermoleculares nas propriedades dos polímeros descreveram-se as propriedades essenciais do polietileno e os seus domínios de aplicação mais importantes na electrotecnia.

As vantagens das características do PE são porém diminuídas pela sua deterioração relativamente fácil por corrosão eléctrica, devida a descargas parciais [4], que limita a duração de vida dos equipamentos, pelo que se desenvolve hoje um esforço de melhoria das suas propriedades em relação a fenómenos de ionização, através de diferentes processos de preparação.

Assim o *polietileno irradiado* pode ser utilizado a temperaturas mais elevadas, até cerca de 200°C. De facto a irradiação do PE com partículas de alta energia origina a formação de moléculas tridimensionais, mais complexas, com ligações químicas

transversais entre as cadeias lineares, as quais (mesmo em pequeno número) a temperaturas acima de 110°C, quando as ligações secundárias entre as cadeias se enfraquecem, preservam a posição das moléculas nas cadeias e evitam portanto a deformação do material.

A vulcanização permite também melhorar as propriedades do PE, resultando um material mais estável em consequência da formação de ligações transversais entre cadeias vizinhas, sendo um processo mais barato e tecnologicamente mais conveniente que o método da irradiação. Por exemplo o *polietileno clorosulfonado* resiste melhor à acção química, da luz e do ozono e tem boa estabilidade. Por outro lado é hoje um caminho aberto no fabrico de cabos de alta tensão a utilização do chamado *polietilene emalhado*, ou de ligações transversais, cujos estudos em especial no Japão [5] e E.U.A. têm revelado amplas possibilidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. M. Mayofis: *Plastics Insulating Materials*; London Iliffe Books (1966).
- [2] F. M. Clark: *Insulating Materials for Design and Engineering Practice*; John Wiley (1962).
- [3] H. Duarte-Ramos: Envelhecimento tecnológico e suas causas; *ELECTRICIDADE* 65 (1970) p. 173-178.
- [4] W. J. Plate, T. H. Ling, J. F. Nuccio: Reassessment of Polyethylene Power Cable; *IEEE Trans. on Power App. and Sys.* (1963) p. 990-998.
- [5] Y. Fujisawa, T. Yasui, Y. Kawasaki, H. Matsumura: Performance of 66-77 kV Cross-Linked Polyethylene Insulated Cable and New Developments; *IEEE Trans. on Power App. and Sys.* (1968) p. 1899-1905.

resumo

INTERPRETAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO POLIETILENO NO ISOLAMENTO ELÉCTRICO

Faz-se a análise da estrutura molecular dos polímeros para justificar as propriedades e aplicações do polietileno.

résumé

INTERPRETATION DES PROPRIETES DU POLYETHYLENE DANS L'ISOLATION ELECTRIQUE

On fait l'analyse des structures des polymères pour justifier les propriétés et les applications du polyethylene.

summary

INTERPRETATION OF THE PROPERTIES OF POLYETHYLENE IN ELECTRIC ISOLATION

The analyse of the structure of polymeric molecules is made to justify the properties and applications of polyethylene.