

POLIMERI V ELEKTRO INDUSTRIJI

Anton Šebenik, Uči Osredkar

UVOD

Razvoj sodobne elektroindustrije, posebej pa še elektronike, je tesno povezan z razvojem novih materialov, ki lahko služijo kot konstrukcijski ali pa kot elektroizolacijski materiali. Kot elektroizolacijske materiale lahko uporabljamo anorganske materiale kot steklo, keramika itd. ter vrsto organskih materialov, kot sintetični in naravni polimeri. Uporaba izolacijskih materialov je specifična in jih zato le v redkih primerih lahko poljubno zamenjujemo. Od materialov največkrat zahtevamo kombinacijo različnih lastnosti, kot so npr. dobre električne, mehanske in termične lastnosti ter nizka korozivnost. Vse pogosteje zahtevamo tudi odpornost proti gorenju. Razumljivo je, da zelo težko dosežemo, da bi imel en sam material samo najboljše lastnosti in hkrati sprejemljivo ceno. Zato je možno le s poznavanjem vseh parametrov in cene selektivno izbrati najustreznejše materiale za določena področja uporabe.

VRSTE POLIMEROV

Delitev polimerov je možnih na več vrst. V tem delu bomo za delitev po skupinah upoštevali predvsem električne lastnosti polimerov. V prvo skupino štejejo nasičeni linearni polimeri, pri katerih je osnovna skeletna veriga sestavljena iz ponavljajočih se C atomov (slika 1), na katero so v pravilnem ali nepravilnem redu vezane stranske skupine ali heteroatomi. Značilna za to skupino je nizka temperatura steklastega prehoda. Stranske skupine in heteroatomi inducirajo dipolni moment v verigi, kar vpliva na električne lastnosti polimera. V linearni verigi so vsi ogljikovi atomi vezani z lokaliziranimi σ vezmi, ki se kljub močnemu naboju na stranski verigi težko polarizirajo. Zato ima stranski naboj predvsem vpliv na

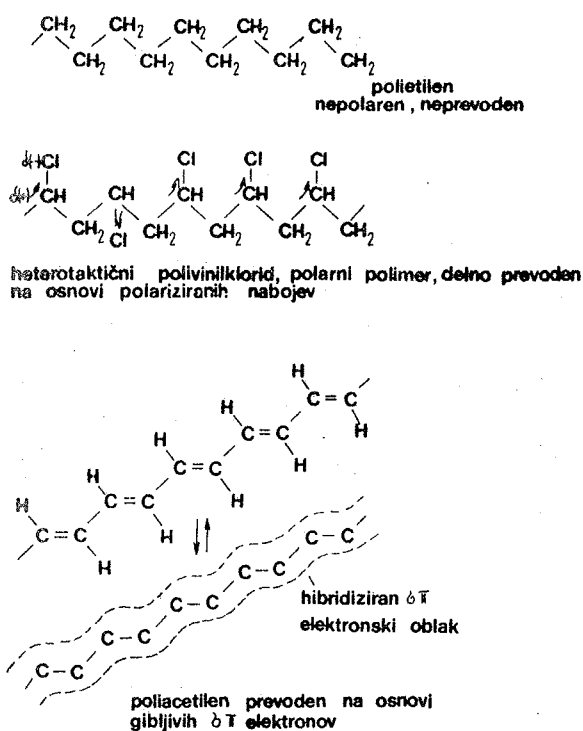
dielektrične lastnosti polimera, manj pa na električno prevodnost. Osnovni predstavnik te skupine je polietilen z odličnimi električnimi, vendar slabšimi mehanskimi in termičnimi lastnostmi. Derivati polietilena kot so polistiren, polivinilklorid, mono-, tri- in tetra-polivinilfluoridi, polipropilen in še nekateri drugi imajo slabše električne, vendar boljše mehanske in termične lastnosti v primerjavi s polietilenom, čep rav pa ne dosega visokih vrednosti. Vzrok za to je linearna struktura verige, ki prečno ni kemijsko povezana - zamrežena, med segmenti pa ne nastopajo močne medmolekulske sile. Ti polimeri so večini plastični in jih je lahko oblikovati in reciklirati pri povišani temperaturi. Z zamreženjem se mehanske lastnosti bistveno izboljšajo.

V drugo skupino štejejo nenasičeni polimeri z linearno ogljikovo verigo, ki imajo v verigi eno ali več dvojnih vezi, ki imajo delno delokalizirane π elektrone. Te dvojne vezi je možno pod vplivom naboja na stranski verigi polarizirati, kar omogoča prenos električnega toka vzdolž in prečno na verigo. V to skupino štejejo polibutadien, poliizopren, polivinilidenfluorid in drugi. Tudi ti polimeri nimajo posebej dobrih mehanskih in termičnih lastnosti, možno pa jih je z zamreženjem izboljšati.

V tretjo skupino štejejo linearni kondenzirani polimeri. V tem primeru so manjše linearne molekule vezane med seboj s heteroatomi, ki polarizirajo verigo v smeri kemijskih vezi. Najpomembnejši predstavniki so poliamidi in linearni poliestri, kot je dietilentereftalat. Imajo dobre mehanske lastnosti in tudi ustrezne termične lastnosti. Značilno zanje je, da imajo ostro zmečičišče in tališče. V večini primerov so nezamreženi in se pogostokrat uporabljajo kot konstrukcijski materiali.

V četrto skupino štejejo zamreženi, kondenzacijski polimeri. Najznačilnejši predstavniki so epoksidne, fenolne, sečninske in druge smole ter poliuretani in poliestri. Večina izmed njih ima dobre mehanske in termične lastnosti ter odpornost proti kemikalijam. Različno neponavljajoča se struktura ter vrsta heteroatomov z močno polarnostjo povzroči nastanek močno polarnih delov, kar vpliva na električne lastnosti smol. Kondenzacijske polimere v večini primerov uporabljajo skupaj s polnilom. Polnilo lahko spreminja električne lastnosti, navadno pa izboljša mehanske in predelovalne lastnosti. V to skupino štejejo tudi kompoziti na osnovi kondenzacijskih polimerov in grafitom ali kovinskim prahom, ki jih nepravilno prištevamo med prevodne polimere.

Peto skupino polimerov sestavljajo prevodni polimeri. Imajo lastnosti, da prevajajo električni tok, v nekaterih primerih celo kot kovina (slika 1). Glavni predstavniki prevodnih polimerov so poliacetilen in njegovi derivati in kopolimeri, polifenilen, polipirrol in polifenilen



Slika 1: Načini prevajanja električnega toka v polimerni verigi

oksid. Poleg naštetih pa je še vrsta drugih, ki imajo različne fizikalno-kemične ter električne lastnosti. Ti, obetajoči polimeri še niso našli velike tehnične uporabe v elektronski industriji.

ELEKTRIČNE LASTNOSTI POLIMEROV

Vse lastnosti polimerov so odvisne od strukture in konformacije polimerov ter od dodatkov, ki so primršani polimeru. Struktura polimera in dodatki vplivajo na električno upornost, dielektrično konstanto, faktor dielektričnih izgub, prebojno napetost in plazeče se tokove.

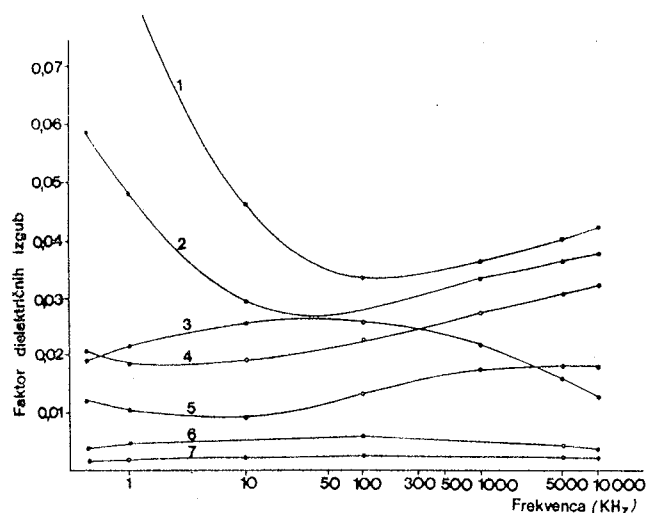
Električna upornost (oz. prevodnost) polimera je odvisna od polarnosti posameznih segmentov, gostote gibljivih elektronov, primesi prevodnih delcev in od načina vezave le-teh med seboj. Prehod elektronov med posameznimi segmenti in verigami je možen samo v primeru, če so prevodni deli makromolekule v direktnem stiku. Neprevodni segmenti v makromolekuli prekinjajo prehode elektronov in zvišujejo upornost. Tako ima polietilen le neprevodne $-\text{CH}_2-$ enote z lokaliziranimi elektroni, brez naboja na stranski verigi.

Njegova električna upornost je 10^{18} ohmcm, kar je med najvišjimi vrednostmi. Podobne električne upornosti imajo tudi polipropilen in polistiren, pri katerih stranske skupine niso polarizirane^{1,2}. Upornost halogeniranih polimerov kot je polivinilklorid že nekoliko pade zaradi močno polarnih klorovih atomov. Še večji padec upornosti pa opazamo pri smolah, ki imajo vgrajen heteroatom v molekulo. Električna upornost fenolnih, melaminskih in sečninskih smol je okoli 10^{11} ohmcm, odvisno od polnil, ostankov katalizatorjev in drugih dodatkov v polimeru. Vlaga v polimerih pa še poveča padec upornosti (Tabela 1).

Posebna skupina polimerov so prevodni polimeri³. Najznačilnejši predstavniki prevodnih polimerov so poliacetilen in njegovi derivati terpolifenilen in polipirrol. V tem primeru imamo v polimerni verigi konjugirane dvojne vezi, kjer nastanejo hibridizirane orbitale z $\sigma - \pi$ elektroni, ki so razpotežnjeni po vsej verigi in se vzdolž verige gibljejo pod vplivom

električne napetosti. Prehajanje iz ene verige v drugo je odvisno od stopnje kristaliničnosti, razvejanih, cis-trans konfiguracije stranskih skupin in dopiranja polimera. Najboljše prehajanje iz ene verige na drugo je takrat, kadar so verige sistematično urejene druga ob drugi. Upornost prevodnega polimera je tudi do 10^{-3} ohmcm.

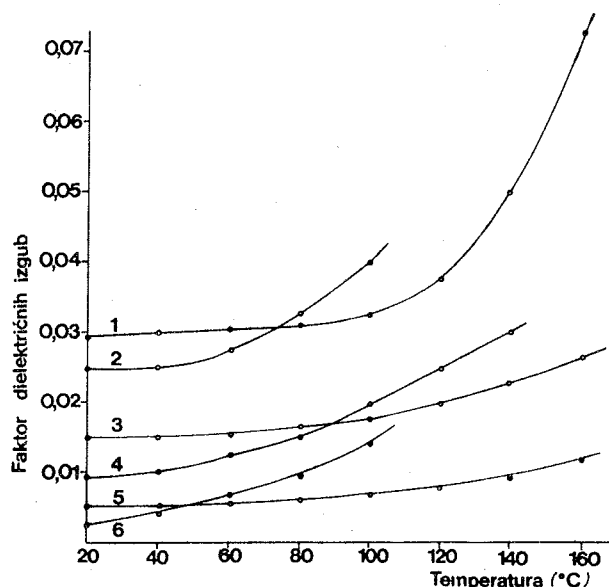
Faktor dielektričnih izgub raste z rastočo polarnostjo makromolekul. Najnižjo vrednost imajo povsem nepolarni polimeri, kot so polietilen in polipropilen, medtem ko polivinilkloridu in različnim polimerom s polarnimi vezmi faktor dielektričnih izgub močno naraste. Odvisen je tudi od frekvence in temperature. Pri nižjih frekvencah predvsem nihajo gibljivi dipoli kot so npr. okludirana voda in nabite stranske skupine, ki niso sterično ovirane, medtem ko pri frekvencah nad 1 MHz nihajo tudi dipoli, ki so sterično ovirani (slika 2). Pri tem se sprosti energija



Slika 2: Odvisnost faktorja dielektričnih izgub od frekvence, (1), tehnični laminat (natron papir, krezolna smola), (2), tehnični laminat (celulozni papir, fenolna smola), (3) polivinilklorid, (4) tehnični laminat (poliesterska smola, steklena tkanina), (6) teflon, (7) polietilen

kot toplota, ki močno vpliva na obstojnost polimera. Faktor dielektričnih izgub s temperaturo v vseh mate-

rialih raste (slika 3). To sprošča vedno več toplote, vse dokler ne pride do dielektričnega porušenja po-



Slika 3: Odvisnost faktorja dielektričnih izgub od temperature (1), tehnični laminat (celulozni papir, fenolna smola), (2) polivinilklorid, (3) epoksi laminat, (4) poliesterski laminat, (5) polietilen, (6) teflon

limera in do preboja električnega toka. Faktor dielektričnih izgub bistveno povečajo dodatki kot so voda, mehčala in razna polarna polnila. Pri že vgrajenih elektroizolacijskih materialih pa lahko zato negativno vpliva vlaga, ki se veže iz zraka.

Prebojna in vzdržna napetost sta povezani z električno upornostjo, faktorjem dielektričnih izgub in temperaturo steklastega prehoda. Polietilen in polipropilen imata kljub dobrim električnim lastnostim slabo prebojno trdnost predvsem pri višji temperaturi zaradi plastičnosti materiala in neobstoynosti proti toploti, ki zmehča material. Najvišje prebojne trdnosti imajo ksilenolne smole, ki so zelo obstojne proti povišani temperaturi.

Plazeči tokovi po površini so odvisni od interakcij med polimeri in nečistostmi na površini. Najmanjše

interakcije z elektroliti in drugimi nečistostmi imajo melaminske smole. Plazeči tokovi so posebno veliki pri slabo utrjenih smolah in polimerih, ki se delno raztapljajo ali nabrekajo v polarnih nečistočah.

TERMIČNE IN MEHANSKE LASTNOSTI

Uporabnost polimerov za električne namene je poleg od električnih lastnosti zelo odvisna tudi od mehanskih in termičnih lastnosti. Vsi polimeri, ki imajo temperaturo steklastega prehoda nižjo od 60°C so mehki, se krivijo in plastično deformirajo in imajo slabe mehanske lastnosti, medtem ko so polimeri s temperaturo steklastega prehoda nad 60°C trdi z dobrimi mehanskimi lastnostmi. Temperatura steklastega prehoda je odvisna od strukture polimera. Polimeri iz prvih dveh skupin so v večini pri normalni temperaturi mehki in plastični, medtem ko imajo zamrežene smole dobre termične in mehanske lastnosti tudi pri povišanih temperaturah. Tako je npr. večina nosilnih plošč tiskanih vezij izdelanih iz epoksi ali fenolnih smol, okrepljenih z vlakni. Pri povišani temperaturi se ne krivijo, so odporne na spajkanje in imajo visoke električne upornosti.

Tabela 1: Nekatere značilne lastnosti najuporabnejših polimerov¹

	Temper. steklast. prehoda / $^{\circ}\text{C}$ /	Upornost (ohm cm)	Faktor dielek. izgub /-/
Polietilen	- 125	$5 \cdot 10^{18}$	0,0005
Polipropilen	- 10	$1 \cdot 10^{16}$	0,0005
Polistiren	100	$1 \cdot 10^{16}$	0,004
PVC	80	$1 \cdot 10^{16}$	0,03
Polibutadien	- 70	$1 \cdot 10^{14}$	0,01
Poliamid 6,6	50	$1 \cdot 10^{14}$	0,02
Epoksilaminat	-	$1 \cdot 10^{12}$	0,02
Fenolni laminat	-	$1 \cdot 10^{10}$	0,05
Teflon	120	$1 \cdot 10^{19}$	0,0003
Poliuretan	80	$1 \cdot 10^{11}$	0,04

V isto vrsto štejejo tudi poliamidi, linearni poliestri, ki jih uporabljajo kot konstrukcijski material. Po drugi strani pa so polietilen in njegovi derivati pri normalnih temperaturah mehki in prožni in se pri pregibih ne lomijo, pač pa so plastični in imajo slabe mehanske lastnosti. (Tabela 1.).

ZAKLJUČEK

Pri projektiranju električnih naprav je zelo pomembna pravilna izbira polimera, ki ga nameravamo uporabiti. Izredno široka ponudba polimerov z zelo različnimi električnimi lastnostmi, temperature steklastega prehoda, mehanskih in termičnih karakteristik nam omogoča, da s kombinacijami različnih polimerov in dodatkov izberemo polimer, ki zagotavlja zaželeno lastnosti. Pravilna selektivna uporaba pa omogoča optimiziranje vseh sestavnih delov naprav.

LITERATURA:

1. J. Brandrup, E.H. Immergut, Polymer handbook, John Wiley, New York 1975
2. T. Davidson, Polymers in electronics, ACS, Washington, 1984
3. R.B. Seymour, Conductive Polymers, Plenum Press, New York, 1981

dr. Anton Šebenik in
dr. Uči Osredkar
Kemijski inštitut "Boris Kidrič"
Ljubljana, Hajdrihova 19