

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



2 POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH A POLOVODIČOVÝCH RELÉ

Přestože jsou elektronická relé modernější, mají vzhledem k elektromechanickým relé jisté nedostatky, které dosud zapříčiňují, že elektromechanická relé zcela nezanikají. Porovnání některých vybraných hodnotících kritérií je pro relé srovnatelných vlastností v následující tabulce.

Tab. 2.1 Porovnání elektronických a elektromechanických relé

vlastnost	elektromechanické relé	elektronické relé
Citlivost na nesprávné použití	malá	značná
Citlivost na korozi, oxidaci a kontaminaci	značná	téměř žádná
Citlivost na mechanické vibrace a zrychlení	značná	žádná
Citlivost na radiaci	žádná	značná
Univerzálnost pouzdra	dobrá	malá
Cena	příjemná	vysoká
Kompatibilita s TTL a CMOS	žádná	dobrá
Spínací a rozpínací doba	dlouhá	krátká
Snadnost odhalení poruchy	dobrá	malá
Izolační napětí vstup – výstup	4 kV	> 4 kV
Indikace činnosti	vizuálně kontakty	vizuálně LED
Fyzická velikost (objem)	dobrá	lepší
Hmotnost	větší	menší
Možnost vícenásobných výstupů	snadná	horší
Elektrická životnost	špatná	dobrá
Možnost rychlého přepínání	špatná	dobrá
Možnost spínání AC i DC	vždy	některé typy
Možnost spínání indukční zátěže	ano	ano
Možnost spínání malých napětí	ano	omezeně
Možnost provozu ve vlhku	omezená	snadná
Možnost provozu ve výbušném prostředí	omezená	bez omezení
Možnost synchronního spínání	ne	ano
Možnost spínání v nule	ne	ano
Možnost vypínání v nule	ne	ano
Možnost fázového řízení výkonu	ne	ano
Možnost celovlnného řízení výkonu	ne	ano
Úbytek napětí na sepnutých svorkách	malý	velký

Tab. 2.1 (pokračování) *Porovnání elektronických a elektromechanických relé*

Ztrátový výkon	malý	velký
Nutnost chladiče	ne	obvykle ano
Existence oblouku při rozpínání	ano	ne
Zakmitávání kontaktů	ano	ne
Výstupní odpor v rozepnutém stavu	$> 1 \text{ M}\Omega$	$> 20 \text{ k}\Omega$
Výstupní odpor v sepnutém stavu	$< 0,05 \text{ }\Omega$	$< 0,1 \text{ }\Omega$
Generování rušivých signálů	velké	malé
Možnost soft startu	ne	ano
Citlivost na externí magnetická pole	velká	malá
Citlivost na zvýšení okolní teploty	malá	velká
Citlivost na elektromagnetické rušení	malé	větší
Citlivost na di/dt a du/dt	žádná	větší

2.1 Hybridní relé

Hybridní relé kombinuje elektromechanické a elektronické technologie, kde se snaží nabízet výhody obou bez jejich nevýhod. Tato kombinace může nabývat nejrůznějších podob podle toho, jaké záměry a vlastnosti výsledného hybridního relé konstruktér sleduje. Možností je tedy celá řada, v praxi lze najít tyto kombinace:

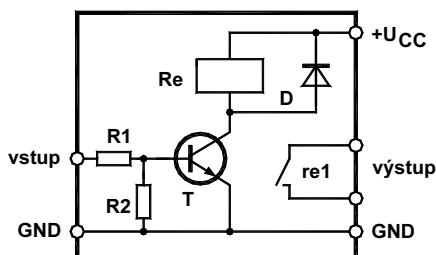
- zvýšení vstupní citlivosti tranzistorovým předzesilovačem v různém zapojení, výstupem zůstává relé,
- vložení malovýkonového elektromechanického relé (obvykle jazýčkového) jako galvanické oddělení řídicího vstupu od triakového výkonového výstupu,
- konstrukce hybridního relé s proudovým vstupem pomocí jazýčkového relé s cívkou o malém počtu závitů tlustým vodičem,
- vytváření pomocných funkcí k **SSR**, které vyžadují galvanické oddělení jak od vstupního řídicího obvodu, tak od výstupního silového,
- snížení ceny hybridního relé oproti třífázovému **SSR** v případě nutnosti řízení slaboproudými signály z čidel a číslicových řídicích jednotek použitím spínací logiky k třífázovému stykači.

STEJNOSMĚRNÁ HYBRIDNÍ RELÉ

Nejčastějším případem vytváření hybridního relé je případ, kdy potřebujeme řídit spínání klasického elektromechanického relé (stykače) signálem, který je menší (menší napětí, menší proud), než potřebuje vlastní elektromechanické relé.

Pokud je toto relé stejnosměrné, pak lze užít základní zapojení podle *obr. 2.1*. Jeho výhodou je, že vlastní elektromechanické relé může mít i více typů kontaktů (spínací, rozpínací, přepínací), které mohou být vzájemně mechanicky justovány (např. u přepínacího kontaktu: napřed rozepni, pak sepni, nebo napřed sepni a pak rozepni apod.). Relé může být relativně na velmi různé stejnosměrné napětí a toto napětí udává velikost pomocného napětí U_{cc} . Nutností je užití ochranné diody **D**, která chrání tranzistor **T** proti

přepětí, které vzniká při rozepnutí proudu indukčností cívky relé **Re**. Odpor **R1** omezuje vstupní proud ze zdroje **U_{IN}** na hodnotu, kterou potřebuje tranzistor **T** (a odpor **R2**) pro sepnutí. Odpor **R2** chrání tranzistor **T** proti náhodnému sepnutí rušivým signálem, pokud by byl vstupní signál odpojen a vstup by byl naprázdno.



Obr. 2.1 Základní zapojení hybridního relé

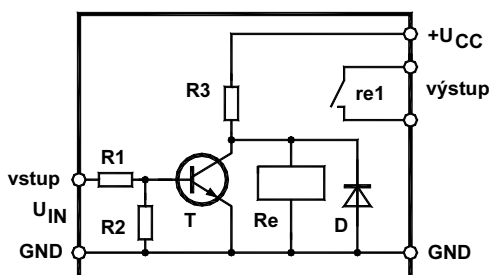
Pokud by vstupní signál byl úrovních **TTL**, pak je vhodné do emitoru tranzistoru **T** zapojit křemíkovou diodu v propustném směru. Zabezpečí se tak, že tranzistor **T** nebude moci sepnout při úrovni logické nuly vstupního řídicího napětí.

Diodu **D** navrhujeme na závěrné napětí $U_R > U_{CC}$ a na propustný proud $I_F > U_{CC} / R_{re}$, kde R_{re} je stejnosměrný odpor relé **Re**. Tranzistor **T** musí být dimenzován na stejnou hodnotu napětí $U_{CEmax} = U_R$ a $I_{Cmax} = I_F$. Pokud by h_{21E} tohoto tranzistoru bylo malé a vstupní řídicí proud by byl nepříjemně velký, je možno na místě tranzistoru **T** volit Darlingtonovo zapojení dvou či více tranzistorů, nebo rovnou tranzistor **MOSFET**. Odpor **R2** volíme obvykle tak, aby jím tekla několiknásobek ($n \cdot I_B$) bázevého proudu tranzistoru **T** a odpor **R1** vypočteme:

$$R1 = (U_{IN} - U_{BE}) / (I_B + n \cdot I_B).$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že minimální ovládací napětí **U_{IN}** nemůže být menší než hodnota $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$. Pokud bychom měli k dispozici pouze menší hodnotu **U_{IN}**, museli bychom použít zesilovač s **OZ**.

Pro inverzi funkce se někdy dá použít zapojení podle *obr. 2.2*. Nahradíme tak použití elektromechanického relé s rozpínacím kontaktem (které nemáme) použitím relé s kontaktem spínacím.



Obr. 2.2 Zapojení relé **Re** paralelně k tranzistoru **T**

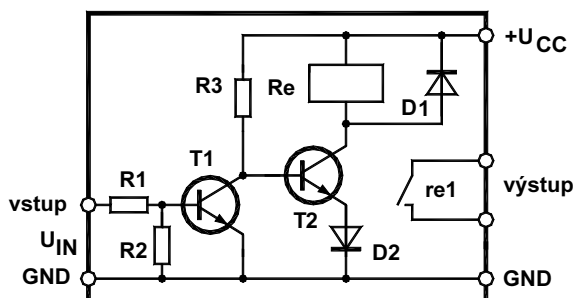
Pokud není připojeno vstupní napětí U_{IN} , je tranzistor **T** rozepnut a relé **Re** sepnuto. Velikost pomocného napětí U_{CC} musí být tentokrát vyšší o úbytek napětí na odporu **R3**, jehož velikost snadno určíme ze vztahu:

$$R3 = (U_{CC} - U_{RE}) \cdot R_{re} / U_{re} ,$$

kde U_{RE} je velikost spínacího napětí relé **Re** a R_{re} je jeho stejnosměrný odpor. Tímto odporem **R3** protéká plný proud relé **Re** a odpor **R3** musí být tedy dimenzován na výkon $P_{R3} = (U_{CC} - U_{CES})^2 / R3$.

Tranzistor **T** musí být dimezován na proud, který protéká při jeho sepnutí $I_{Cmax} > I_C = (U_{CC} - U_{CES}) / R3$, kde U_{CES} je saturační napětí tranzistoru **T** při jeho sepnutí. Toto zapojení sice vykazuje malou účinnost, ale někdy výhodně nahrazuje nedostatek rozpínacích kontaktů u elektromechanických relé malých výkonů.

Pokud by se jednalo o relé s větším spínacím proudem, pak je vhodnější provést inverzi dalším tranzistorem, *obr. 2.3*.



Obr. 2.3 Inverze funkce vložení dalšího tranzistoru

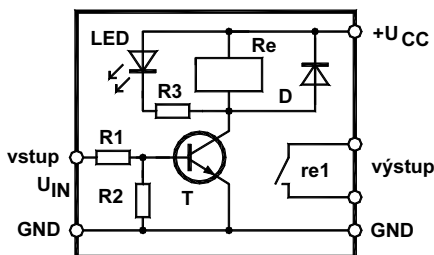
Funkce diody **D1** byla diskutována výše, stejně jako prvků **R1**, **R2** a **D1**. Odpor **R3** volíme vztahem:

$$R3 = (U_{CC} - U_{BE2} - U_{F2}) / (I_{B2} \cdot k_s) ,$$

kde I_{B2} je minimální hodnota proudu báze tranzistoru **T2**, při které spíná relé **Re** (obvykle zanedbáváme hodnotu zbytkového proudu I_{CE01}) a k_s je hodnota tzv. saturačního koeficientu, který udává bezpečnost sepnutí tranzistoru **T2**, ale zavádí jej dále do saturace. Aby tato saturace nebyla zbytečně hluboká, volí se obvykle hodnota koeficientu saturace **2–3**.

Hybridní relé má tedy v klidu (bez přiloženého vstupního napětí U_{IN} sepnutý kontakt relé **re1**. Jakmile připojíme napětí U_{IN} , tranzistor **T1** spíná, protéká jím proud $I_{C1} = (U_{CC} - U_{CES2}) / R3$, který je značně menší než v předchozím případě a je na něm napětí U_{CES1} o velikosti obvykle do **0,5 V**. Aby toto napětí spolehlivě rozepnulo tranzistor **T2**, vkládáme do jeho emitoru diodu **D2**. Tranzistor **T2** tak potřebuje pro svoje sepnutí napětí $U_{BE2} + U_{F2} = 0,7 + 0,7 = 1,4 V$ a to je hodnota podstatně vyšší, než jakákoliv hodnota U_{CES1} tranzistoru **T1**. Pokud by bylo nutno z hlediska velikosti vstupního napětí v logické nule **TTL** chránit diodou v emitoru tranzistoru **T1**, pak musí v emitoru tranzistoru **T2** být zapojeny v sérii diody dvě. Stačí jakékoliv **Si** diody na patřičný proud.

U elektronických relé bývá často zabudována optická signalizace sepnutého stavu **SSR** pomocí **LED**, protože stav **SSR** na něm není přímo vidět. Pokud by se taková potřeba vyskytla u hybridního relé popisovaného typu, lze svítivou diodu zapojit paralelně k cívce relé, obr. 2.4.



Obr. 2.4 Indikace sepnutí hybridního relé svítivou diodou

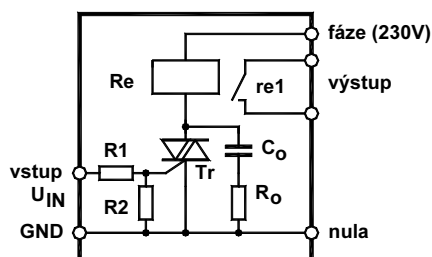
Odpor **R3** omezuje velikost proudu svítivou diodou na její propustný proud I_F doporučené hodnoty v katalogu a jeho hodnota se spočte z:

$$R3 = (U_{CC} - U_{F(LED)} - U_{CES}) / I_F .$$

Obvykle lze v tomto vztahu zanedbat hodnotu saturačního napětí tranzistoru U_{CES} , ale je-li napájecí napětí U_{CC} malé (pracovní napětí relé **Re** je malé), pak to může způsobit velkou chybu nastavení proudu. Hodnotu napětí $U_{F(LED)}$ získáme nej přesněji z **VA** charakteristiky **LED** z katalogu, ale pro U_{CC} nad **10 V** ji můžeme s minimální chybou odhadnout na **1,7 V**.

STRÍDAVÁ HYBRIDNÍ RELÉ

Pokud v zapojeních hybridních relé chceme na jejich výstupu užít střídavé elektro-mechanické relé **Re** (stykač), pak jako spínací prvek užijeme triak **Tr**, obr. 2.5.



Obr. 2.5 Hybridní relé s triakem **Tr**

Vzhledem k tomu, že nelze triak chránit diodou jako v předcházejících případech tranzistor, můžeme použít buď **RC** ochranu paralelně k hlavní dráze triaku (kondenzátor C_o a odpor R_o), nebo pro nižší napětí dvojici antisériově zapojených Zenerových diod, nebo transilů. V dnešní době se již vyrábějí i transily na vysoká napětí, takže jejich aplikace sahá až do hodnot síťových napětí. V řadě případů při nízkém spínaném střídavém napětí se vyplatí vzhledem k současným cenám silně napětově předimenzovat triak **Tr**

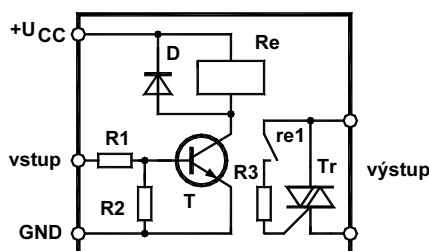
(např. při použití relé na **12 V** střídavých užít triak na napětí **600 V**) a zcela vynechat jeho ochrany.

Odpor **R2** má stejnou funkci jako v předcházejících zapojeních – omezit vliv nežádoucích rušivých signálů a tím omezit nežádoucí spínání triaku **Tr** a tím i relé **Re**. Odpor **R1** omezuje velikost řídicího proudu I_G triaku pro danou hodnotu stejnosměrného vstupního napětí U_{IN} . Toto zapojení je poměrně časté, protože je jedním z mála způsobů, jak snadno spínat střídavé relé **Re** stejnosměrným vstupním signálem U_{IN} .

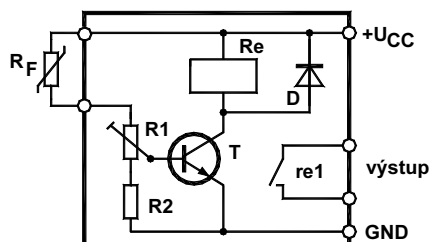
Na místě triaku **Tr** lze v nouzi užít pro pomalejší relé **Re** i tyristoru. Ten by byl sepnut pouze po dobu kladné půlperiody síťového napětí s kmitočtem **50 Hz**, tj. po doby vždy **10 ms** v každé periodě. Je-li však doba odpadu hmotnějších elektromechanických relé až **200 ms**, bude relé **Re** stále přitaženo, ale bude hlučet.

GALVANICKÉ ODDĚLENÍ

Nejčastějším typem galvanického oddělení je dnes užití optronu. Přesto jsou aplikace hybridních relé, kde se vyplatí místo optronu užít malovýkonové relé, obvykle jazýčkové (jazýčkové relé je skleněná trubička se dvěma feromagnetickými kontakty, vložená do cívky). Toto jazýčkové relé může být vstupním signálem buzeno přímo, ale odpor jeho cívky je maximálně několik set ohmů. Proto se i zde často užívá předzesilovač s tranzistorem, *obr. 2.6*. Ani u tohoto zapojení nelze konstruovat hybridní relé se spínáním v nule, ale dochází alespoň k vypínání v okolí nuly. V současné době s rozvojem výroby optočlenů (**SSR**) s pilotním triakem tato aplikace mizí. Dříve měla tu výhodu oproti optronu, že ji bylo možno použít i pro vysoká výstupní napětí, kdežto výstupní tranzistor optronu má maximální napětí okolo **40 V**.



Obr. 2.6 Užití elektromechanického relé jako galvanického oddělení



Obr. 2.7 Hybridní relé s fotoodporem, které spíná při nárůstu osvětlení

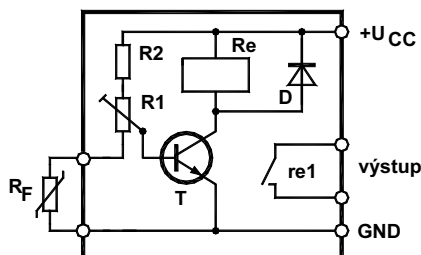
SPOLUPRÁCE HYBRIDNÍHO RELÉ S ČIDLEM

Poměrně časté je užívání hybridních relé ve spojitosti s čidly, která nedávají sama o sobě dostatečně velké signály pro spínání elektromechanických relé a ani dost velké proudy pro vstup **SSR**, která mají na vstupu **LED**. Klasickými čidly tohoto typu jsou např. fotoodpory pro indikaci dostatečné hladiny osvětlení a její vyhodnocení pomocí hybridního relé, obr. 2.7.

Jakmile je fotoodpor R_F osvětlen, klesá jeho odpor, mění se dělicí poměr děliče, ve kterém je zapojen a roste proud báze tranzistoru **T** a ten spíná a následně spíná relé **Re**. Při poklesu osvětlení fotoodporu R_F pod kritickou mez, nastavenou proměnným odporem (potenciometrem) **R1** tranzistor **T** vypíná a následně i relé **Re**. Při nedostatečném osvětlení R_F je tedy kontakt **re1** rozepnut.

Opačný případ lze modifikovat přesunem fotoodporu R_F , obr. 2.8.

Pokud bychom např. použili elektromechanické relé na stejnosměrné napětí **5 V**, pak tranzistor **T** může být typu **2N2222**, dioda **D = 1N914**, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 50 \text{ k}\Omega$ a napájecí napětí stačí o velikosti $U_{CC} = 6 \text{ V}$. Fotoodpor R_F je libovolný typ, prahové úrovně spínání resp. rozpínání relé **Re** se individuálně dostaví potenciometrickým trimrem **R1**.

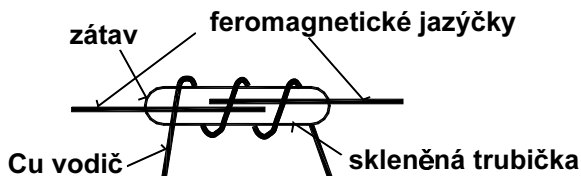


Obr. 2.8 Hybridní relé s fotoodporem, které spíná při poklesu osvětlení

PROUDOVÉ RELÉ

Velmi zajímavá je možnost dosažení velmi nízkého vstupního odporu tam, kde hybridní relé má reagovat na velikost snímaného proudu. Jako relé použijeme pouze jazýčkový kontakt, ovinutý několika závity silného izolovaného **Cu** vodiče, obr. 2.9.

Každý typ jazýčkového kontaktu má charakteristickou konstantu, udávající při jaké hodnotě intenzity magnetického pole v místě jazýčků dojde k jejich sepnutí (feromagnetické jazýčky se ve vnějším poli zmagnetizují, prohnou se a v místě kde se dotknou jsou



Obr. 2.9 Jazýčkový kontakt

pro snížení kontaktního odporu pozlacený). Tato konstanta je pro různé typy těchto jazýčků různá a pohybuje se od **10 Az** do **100 Az**.

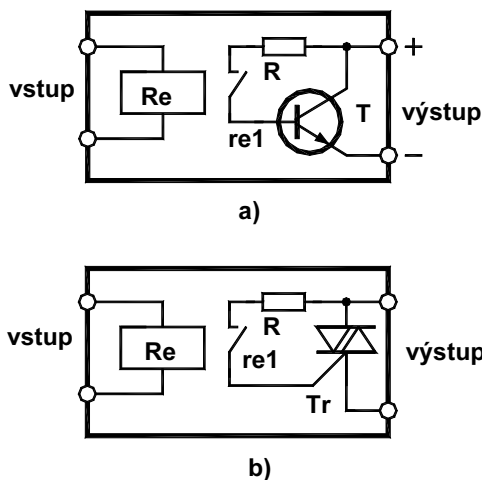
Předpokládejme, že chceme reagovat na proud vinutím cívky $I = 10 \text{ A}$ a máme jazýčkový kontakt s konstantnou $K = 60 \text{ Az}$. Potom pro sepnutí jazýčkového relé potřebujeme navinout $N = K / I = 60 / 10 = 6 \text{ závitů}$. Obvykle volíme **Cu** vodič s lakovou (smaltovou) izolací, který musí vyhovět proudově a doporučená proudová hustota je okolo $j = 5 \text{ A/mm}^2$. V našem případě tedy vychází $S = I / j = 10 / 5 = 2 \text{ mm}^2$ a tomu odpovídá průměr vodiče $d = \sqrt{(4 \cdot S / \pi)} = \sqrt{(4 \cdot 2 / \pi)} = 2,54 \text{ mm}$. Obvykle pro dosažení malého odporu cívky (vstupní odpor hybridního relé) volíme vodič ještě silnější, např. $d = 3 \text{ mm}$.

Předpokládejme, že daný typ jazýčkového kontaktu má průměr skleněné trubičky $d_1 = 6 \text{ mm}$. Potom vodič o průměru 3 mm je vlastně navinut do závitů na středním průměru $d_2 = d_1 + 2 \cdot d/2 = 6 + 3 = 9 \text{ mm}$. Délka vodiče, tvořícího cívku (vinutí) je $l = N \cdot \pi \cdot d_2 + \text{délka přívodů} = 6 \cdot \pi \cdot 9 + 20 = 190 \text{ mm} \approx 0,2 \text{ m}$. Je-li tato cívka z **Cu** vodiče, pak její odpor vypočteme:

$$R = \rho \cdot l / S = 1 / (\pi \cdot d^2 / 4) = 0,0178 \cdot 0,2 / (\pi \cdot 3^2 / 4) = 5 \cdot 10^{-4} \Omega = 0,5 \text{ m}\Omega.$$

Ve skutečnosti do vstupního odporu hybridního relé je nutno ještě započítat odpor pájených spojů a přívodních vodičů, ale přesto takto malou hodnotu odporu pro snímání proudu nelze prakticky jinak jednoduše zabezpečit.

Pokud bychom nechali jazýčkový kontakt s cívkou jen podle *obr. 2.9*, jednalo by se o klasické elektromechanické relé. Jazýčkový kontakt sám o sobě je schopen spínat proud do cca **0,5 A**. Proto jej pro větší dosažitelné spínané proudy kombinujeme s polovodičovým spínacím prvkem, obvykle výkonovým tranzistorem (v obvodech stejnosměrného napájení), nebo s triakem (pro spínání střídavých proudů), *obr. 2.10*.



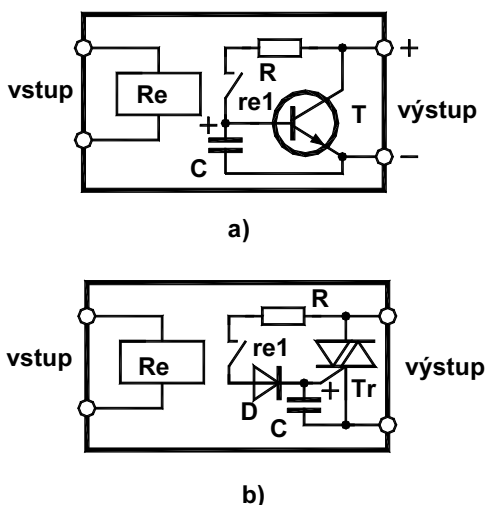
Obr. 2.10 Hybridní relé s jazýčkovým kontaktem a) stejnosměrné, b) střídavé

Vstupní proud jazýčkového relé **Re** musí být samozřejmě stejnosměrný. Pokud bychom chtěli indikovat střídavý proud, musíme hybridnímu relé na vstup dodat můstkový usměrňovač s nabíjecím kondenzátorem, dimenzovaným tak, aby proud cívkou nepoklesl pod požadovanou hodnotu. Je třeba mít na paměti, že vzhledem ke své velmi malé hmotnosti pracují jazýčky (spínání a rozpínání) až na kmitočtu $f = 400 \text{ Hz}$, tj. při kmitočtu sítě dvoucestně usměrněném ($f = 100 \text{ Hz}$) by jazýček spolehlivě spínal a vypínal v každé půlperiodě síťového napětí. Předřazení usměrňovače však podstatně zvyšuje úbytek vstupního napětí hybridního relé.

Je tedy výhodnější místo usměrňovače na vstupní straně použít zapojení podle *obr. 2.11*, kde pro tranzistor **T** stačí připojit kondenzátor **C** o dostatečné kapacitě a pro zapojení s triakem **Tr** jej vybavit navíc ještě diodou **D**.

Pro zapojení v obvodech stejnosměrného výstupního napětí (*obr. 2.11a*) stačí doplnit mezi bázi a emitor tranzistoru **T** kondenzátor **C** o takové kapacitě, aby jeho vybíjecí proud stačil zásobovat tranzistor **T** bázovým proudem dostatečné velikosti pro trvalé sepnutí tranzistoru **T**. Kapacita kondenzátoru **C** se obvykle určuje empiricky a nesmí být volena zbytečně velká – docházelo by tak k prodloužení vypínací doby hybridního relé. Při střídavém výstupním napětí (*obr. 2.11b*) je situace mírně komplikovanější. Je nutno převést spínání triaku střídavým proudem (*obr. 2.10b*) na spínání stejnosměrným proudem opět pomocí přidaného kondenzátoru **C**, ale nabíjeného přes diodu **D** stále stejnou polaritou (kladnou) výstupního napětí přes odpor **R**.

V současné době jsou na trhu i jazýčkové kontakty rozpínací a přepínací, takže variabilita zapojení s tímto elektromechanickým prvkem dále roste. Vhodnou velikost magnetického pole pro sepnutí (přepnutí) jazýčkového kontaktu lze samozřejmě získat i permanentním magnetem.



Obr. 2.11 Doplnění kondenzátoru pro střídavý vstup