

Historie významných objevů ukazuje, že náhoda často sehrála důležitou roli. Sama o sobě však ještě žádný objev na svět nepřivedla. Náhodného jevu si musí někdo všimnout, aby se stal objevem. Ne nadarmo Fleming, objevitel penicilinu, kterému náhoda zanesla do kultury mikrobů oknem z londýnské ulice sporu plísni *penicillium notatum*, upozorňoval na závěr své celoživotní práce: „Nezanedbávejte nikdy zvláštní, podivuhodný úkaz nebo jev; bývá to často planý poplach, ale může to být i důležitá pravda.“ — Vědci jsou ze zásady nedůvěřiví. Nestačí jim, že jev se vyskytl jednou. Opakovanými experimenty dokazují, že nejde o náhodu, že jde opravdu o novou zákonitost dříve neznámou. Mají pro to dobré důvody. Již mnohokrát se ukázalo, že při pokusu došlo k chybě nebo k mylnému výkladu — a pak nastalo zklamání. Na druhé straně však mnohdy přílišná nedůvěra, lpění na navykých způsobech myšlení a malá dávka fantazie zavinily, že nový jev zůstal nepovšimnut a nestal se objevem nebo na svou příležitost musil počkat. Takových omylů nezůstali ušetřeni ani velcí duchové — jmenujme jen pro ilustraci Hahna a Meitnerovou z historie štěpení atomového jádra.

Feroelektrika jsou známa již dlohu. Poprvé pozoroval feroelektrické vlastnosti Seignettovy soli Valasek v USA v roce 1921. V roce 1935 objevili ve Švýcarsku Busch a Scherrer feroelektrický stav u sekundárního fosforečnanu draselného. Po druhé světové válce objevili feroelektrický stav u bariutitanátu BaTiO_3 Vul a Goldman v SSSR. Dnes je takových látek známo ke stovece a již delší dobu o nich vědci prohlašují, že v elektrotechnice, radiotechnice a elektronice sehrávají významnou roli podobně jako polovodiče, ferity apod., kterým je věnována pozornost v rámci výzkumu fyziky pevných látek. Zatím se však naskýtal málo příležitosti k využití feroelektrik, neboť nejvýhodnější vlastnosti projevují teprve v okolí tzv. Curieova bodu, teploty, která je pro každou látku charakteristická. Udržet feroelektrika na této teplotě však je těžkým oříškem, neboť malý prvek vyžaduje objemné a těžké termostátové zařízení, pracující s přesností zlomku stupně.

Na výzkumu feroelektrik pracovalo ve světě několik skupin. Úspěchy polovodičů však mnohé z těchto skupin odvedly do jiných oborů. Jednou z mála skupin, které vytrvaly i v éře polovodičů, na původní cestě, bylo jedno z oddělení Fyzikálního ústavu Československé akademie věd. V tomto oddělení pracuje také s. Antonín Glanc, technik, nyní ve funkci inženýra II. stupně, v oboru feroelektrik. Při pokusech s triglycinsulfátem — TGS — přišel 20. II. 1962 na to, že feroelektrický krystal lze vyhrát na teplotu v okolí Curieova bodu přiložením vhodného vysokofrekvenčního pole. Oscilátor zapojil velmi jednoduše: vzal ze šuplíku výbrus křemenného krystalu pro amatérské pásmo, nějakou triodu a krystal TGS začal napájet v proudem z oscilátoru. Schéma zapojení je na II. straně obálky. Nejprve přiváděl

signál o malém napětí. V literatuře se totiž mluvilo o tom, že vzhledem k teplotním nestabilitám těchto látek musí být napětí takové, aby krystal pracoval v oblasti pod Curieovým bodem. Pak napětí postupně zvyšoval, až obvod náhle začal vykazovat vysokou účinnost, jež nekolísala při změnách teploty okolí. Krystal pracoval bez umělé stabilizace teploty právě v oblasti nejvýraznějších nelinearit. Autostabilní stav byl na světě.

Bylo to dost zarážející zjištění, protože řada vědců ve světě s feroelektriky pracovala a autostabilizaci neobjevila. A tak není divu, že ohlášený výsledek byl brán s rezervou. Asi půjde o nějakou chybu v uspořádání pokusu, „schmutz-efekt“, jak se často stává. Soudruh Glanc opakuje pokus znovu a znovu, aby vyloučil možné postranní vlivy — nedá se nic dělat, výsledek je stále stejný a příznivý. Přesvědčuje ostatní, dokazuje, že jde o věc novou. Zkouší nová zapojení, aby prokázal, nač by se objev mohl hodit. Jeho bývalý vedoucí, soudr. Janovec ScC., to na tiskové konferenci ohodnotil takto: „Soudruh Glanc je radioamatér a jako radioamatér má vyhraněný smysl pro to, aby věci na něco byly.“ V obvodu násobiče kmitočtu dokázal vybudit liché i sudé harmonické na kmitočtech, kde to dříve nebylo možné, s minimální ztrátou výkonu. Řád harmonické se řídil podle toho, zda a jaké výše bylo stejnosměrné napětí přiložené na feroelektrikum. Připojením modulačního napětí vznikl modulovaný vysílač.

Jakmile byly tyto slibné výsledky prokázány, informoval ředitel ústavu dr. Pekárek ScC. presidium ČSAV o stavu prací a žádal o pomoc. Přišla okamžitě bez ohledu na plán ve formě finanční dotace, nových přístrojů a ústavení nových skupin vědců, kteří dokázali jev fyzikálně objasnit, dále rozvinout a organizace zajistit další postup prací.

Tandel, prvek využívající nelinearit dielektrika ve stavu teplotní autostabilizace, výborně doplňuje elektronky a polovodiče a umožňuje sestavit nové přístroje dříve nerealizovatelné nebo realizovatelné jen s obtížemi. Některé obory aplikací jsou např. bateriové elektrometry, kmitočtové modulatory, násobiče kmitočtu, miniaturní termostaty a další, které jsou ve stadiu výzkumu. Je nesporné, že tento úspěch československé vědy bude účinkovat jako nová pobídka světovému výzkumu feroelektrik. Zatím mají českoslovenští vědci předstih a objev je chráněn řadou patentů v mnoha státech. A tak jde o to, abychom objevu i předstihu dokázali využít i ve výrobě a komerčně.

Soudruh Antonín Glanc, OK1GW, je znám svou iniciativní prací v amatérském hnutí. Byl hlavou výborně organizovaného celostátního setkání VKV amatérů v roce 1962 v Libochovicích, na němž také přednášel o významu feroelektrik. Svůj objev poprvé publikoval 19. října 1963 na světovém setkání radioamatérů, konaném při kongresu Mezinárodní telekomunikační unie v Ženevě, kam byl spolu s inž. Plzákem vyslán Svazarmem. Konference se zúčastnili



Vysílač stereosignálu, modulovaný tandely, si prohlédl prezident A. Novotný při návštěvě u FUČSAV

přední světoví amatéři včetně hlavního konstruktéra amatérské družice Oscar. Dvě mezinárodní instituce, ITU a IEEE, pozvaly na listopad s. Glance a vedoucího oddělení dielektrik soudr. Z. Mála ScC. na další přednášky do Ženevy a Curychu. Za své činnosti ve Svazarmu založil s. Glanc dvě kolektivní stanice, deset let byl ZO stanice OK1KAI, v jejích kurzech vychoval na 300 svěřenců. Myslí i na praktickou použitelnost svého objevu pro potřebu radioamatérů. První pokus podnikl 1. ledna 1964. Ten den zkusil pracovat s vysílačem, modulovaným amplitudově tandelem, fone na pásmu 3,5 MHz. Nejdříve navázal spojení s místním nestorem amatérů s. Brožem, OK1GC, a nato v 13.50 první „dálkové“ spojení s OK1AP z Jablonce.

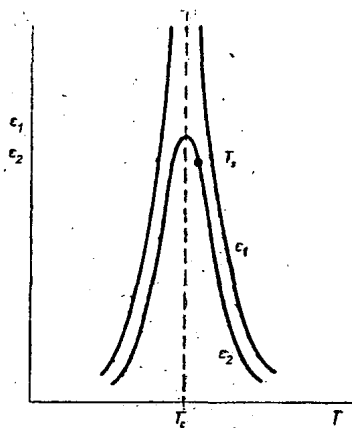
Předsednictvo ÚV Svazarmu v uznání zásluh s. Glance o rozvoj amatérské radiotechniky a vynikající propagaci československé vědy rozhodlo na schůzi 15. ledna 1964 udělit mu nejvyšší významování Svazarmu — zlatý odznak „Za obětavou práci“ I. stupně.

Požádali jsme soudruha Glance, aby pro naše čtenáře popsal podstatu jevu a vyhlídky na jeho aplikaci sám.

-asf

Feroelektrika tvoří zvláštní skupinu dielektrik, která se od normálních izolantů liší tím, že jejich dielektrická konstanta ϵ je závislá na elektrickém napětí. Proto jsou feroelektrika nazývána dielektriky nelineárními. Dále se tyto látky vyznačují tím, že obsahují zcela spontánně elektrické dipóly, tj. kladné a záporné náboje. Říkáme, že látka je spontánně polarizována [1].

Vzhledem k časovému a teplotnímu nestabilitám těchto látek nebylo dosud možno úspěšně využít jejich výrazných nelineárních vlastností v technické praxi. Pokud bylo těchto vlastností ve feroelektrickém stavu využíváno, způsobovala přítomnost doménové struktury kromě dvojznačnosti, dané hysterezí, kmitočtové omezení do oboru desítek kHz. Některé z těchto nevýhod kromě teplotní nestability mizí v okolí určité teploty tzv. Curieho bodu, přičemž v těsné blízkosti tohoto bodu jsou ano-



Obr. 1.

málně vysoké nelinearity a hodnoty permitivity. Současně se rozšiřuje kmitočtové pásmo použitelnosti. Proto se v poslední době soustředila ve světě značná pozornost na studium elektrických vlastností feroelektrik v této teplotní oblasti. Protože závislost obou složek komplexní permitivity jak reálné ϵ_1 , tak imaginární ϵ_2 na teplotě v tomto teplotním oboru je velmi strmá (obr. 1), je pro skoro všechny praktické aplikace rozhodujícím úkolem nějakým způsobem řešit otázku teplotní stability nelineárního dielektrického prvku. Proto dosavadní elektronické obvody s nelineárními dielektriky pracovaly zpravidla dostatečně daleko od Curieovy teploty, aby nebylo nutno jejich teplotu stabilizovat. Protože v oblasti daleko od Curieovy teploty jsou nelinearity feroelektrik málo výrazné, účinnost obvodů byla nízká. Aby bylo možno využít vysokých nelinearit v oblasti Curieovy teploty, např. bod T_c v obr. 1, bylo by nutno feroelektrický kondenzátor umístit do termostatu a stabilizovat jeho teplotu s přesností alespoň $0,01^\circ \text{C}$. Taková stabilizace je pochopitelně velmi nákladná a v praxi nepřichází tuto řešení v úvahu. Přitom se nikdy neuvažovalo o účelném využití vlivu dielektrických ztrát, které na kondenzátoru s nelineárním dielektrikem vznikají vlivem napětí přivedeného z vnějšího obvodu. Pokud se tento vliv někdy přece uvažoval, bylo to jen v negativním smyslu, tj. přiložené napětí se udržovalo vždy tak nízké, aby nedošlo k dielektrickému ohřevu, o němž se předpokládalo, že by měl nepříznivý vliv na vlastnosti dielektrika. Nový objev v tomto oboru je naproti tomu založen na zjištění a úmyslném využití vlivu, který napětí vnějšího obvodu – a tím vznikající dielektrický ohřev – má na vlastnosti nelineárního dielektrika.

Při studiu nelineárních vlastností monokrystalů feroelektrického triglycinsulfátu ve Fyzikálním ústavu ČSAV bylo zjištěno, že při plynulém zvyšování střídavého napětí přiváděného na krystal, zapojený v obvodu násobiče kmitočtu, se při dosažení určité kritické amplitudy V_{cr} (obr. 2) skokem zvýší permitivita i dielektrická nelinearita. Pro $V > V_{cr}$ zůstává zvýšená nelinearita zachována, avšak s rostoucím V klesá. Při následujícím snižování V naopak nelinearita roste, a to až do určité kritické amplitudy V'_{cr} , mnohem nižší než V_{cr} , kdy dojde k podstatnému snížení neli-

nearity. V těsné blízkosti nad V'_{cr} (bod T_c) je nelinearita vzorku anomálně vysoká. Podstatné je, že tento stav je stabilní. To znamená, že při konstantní amplitudě zůstává nelinearita časově neproměnná. Vzhledem k dosavadnímu stavu je zcela nové to zjištění, že vysoká nelinearita v tomto pracovním režimu se podstatně nemění i při změně teploty okolí až o několik desítek $^\circ\text{C}$. Navíc bylo experimentálně zjištěno, že tento pracovní režim mnohonásobně rozšíří kmitočtovou oblast, ve které může obvod pracovat. V čem je podstata tohoto „autostabilního režimu“, jak byl tento režim nazván?

Zvýšená nelinearita vzorku vzhledem k průběhu reálné složky permitivity ϵ_1 nasvědčuje tomu, že krystal se nachází v okolí Curieovy teploty T_c .

Přiložíme-li na kondenzátor, jehož dielektrikum tvoří feroelektrický triglycinsulfát, střídavé napětí vyššího kmitočtu ($f > 10 \text{ kHz}$), začne se dielektrikum vlivem ztrát zahřívat. Na obrázku 3 jsou znázorněny průběhy závislosti tepla, odvedeného do okolí Q_1 a tepla vydaného, vznikajícího dielektrickým ohřevem

$$Q_2 \sim \omega \epsilon_2 V^2$$

(kde ω je kmitočet střídavého napětí, ϵ_2 je imaginární složka permitivity vzhledem k první harmonické). ϵ_2 , a tedy i Q_2 v okolí Curieovy teploty prudce klesá s teplotou krystalu (T_c).

Z obr. 3 je patrné, že v bodech 1, 2, 3 bude teplota časově neproměnná, ale pouze body 1 a 2 odpovídají stabilní rovnováze a podmínce

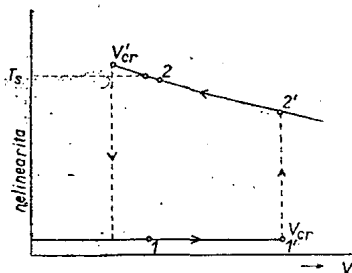
$$\left| \frac{dQ_2}{dT} \right| > \left| \frac{dQ_1}{dT} \right|$$

Naproti tomu v bodě 3, který tuto podmínku nesplňuje, se každá náhodná změna teploty zesiluje. Protože strmá klesající část křivky Q_2 leží v okolí T_c , má krystal ve stavu 2 silné nelineární vlastnosti.

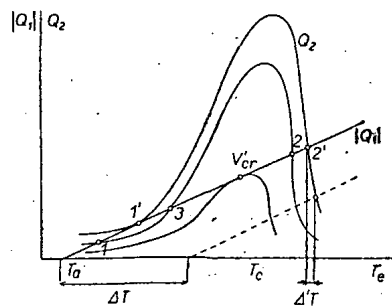
Z obrázku konečně také vyplývá, že pro převedení krystalu ze stavu 1 do stavu 2 je třeba zvýšit hodnotu amplitudy na V_{cr} , při níž se křivka $Q_2(T_c)$ (vydělené teplo) právě dotýká přímky odvedeného tepla $Q_1(T_c)$.

V tomto okamžiku dochází ke splnutí bodů 1 a 3 ($1'$) a tento stav ($1'$) se stává nestabilním a jediným stabilním stavem se stává bod $2'$. Dále je patrné, že případná změna teploty okolí T_c , o ΔT , která by byla znázorněna posunutím přímky odvedeného tepla Q_1 na T_c , je provázána pouze malou změnou teploty krystalu ve stavu 2 (ΔT) [2].

V praxi tento výklad znamená, že zvětšíme-li dostatečně amplitudu střídavého napětí, zahřeje se krystal dielektrickým ohřevem až na teplotu v okolí Curieova bodu (asi 50°C). Při dalším zvyšování teploty ztráty v krystalu klesají (viz též křivku ϵ_2 na obr. 1). Dielektrický ohřev bude tedy také klesat. V těsné blízkosti Curieova bodu se



Obr. 2.



Obr. 3.

nastaví automaticky taková teplota, při níž množství tepla, vznikajícího dielektrickým ohřevem, bude právě rovno teplu odvedenému do okolí. Jak již víme, jsou právě v této teplotní oblasti nelinearity feroelektrik nejvýraznější. Tím vzniká nový nelineární prvek s automatickou stabilizací pracovního bodu, který si z výkonu dodávaného k dielektrickému ohřevu vezme jen takové množství, jaké se z něho odvede do okolí. Tím automaticky vyrovnává případné změny teploty okolního prostředí. Takovýto nelineární prvek není tedy nutno udržovat v oblasti maximálních nelinearit pomocí termostatu. Dielektrika, která dovolují realizaci této nové myšlenky, jsou všechny ty látky, u nichž se projevuje teplotní oblast, v níž dielektrické ztráty při zvyšování teploty klesají. Takových látek je dnes známo již několik desítek.

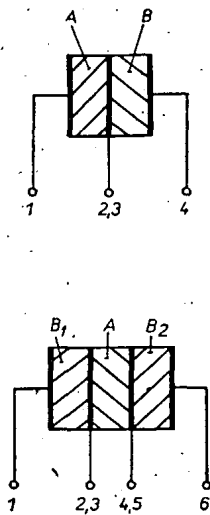
Jako první materiál byl v novém nelineárním prvku použit feroelektrický triglycinsulfát (TGS) a prvek sám dostal název TANDEL (teplotně autostabilizující nelineární dielektrický element).

První konstrukce tandelu

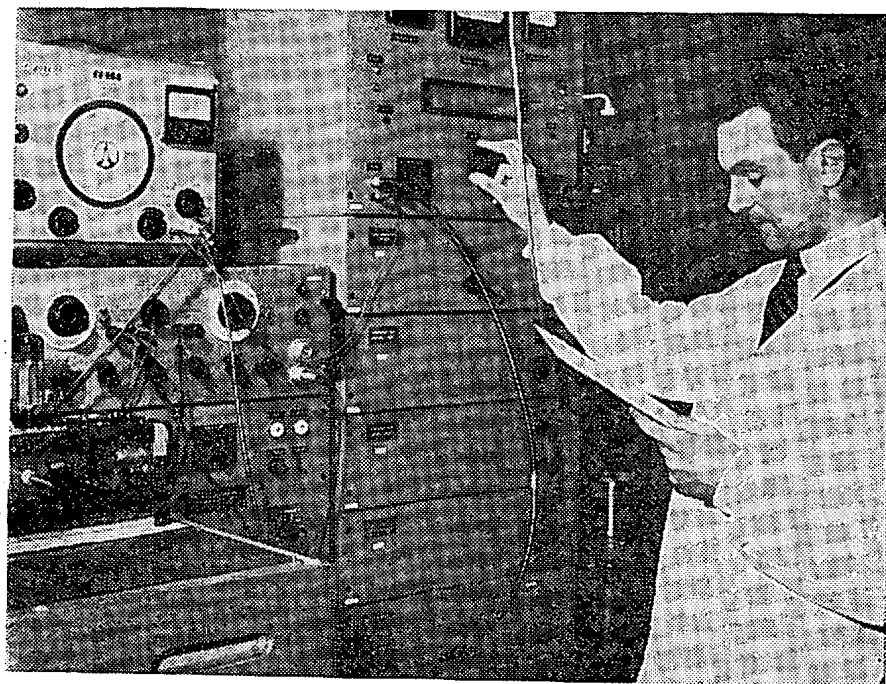
Ke konstrukci dielektrického elementu bylo použito monokrystalu triglycinsulfátu (TGS). Význačné feroelektrické vlastnosti jeví TGS pouze ve směru kolmém na feroelektrickou osu (osa b^*). Tyto řezy byly planoparalelně broušeny v rozmezích tloušťek 0,05 až 1 mm, opatřeny elektrodami a slabými přívodními dráty. Ukázalo se výhodné ukládat tento element do pouzder obvyklých u některých hrotových diod (např. 1N21). Aby byl omezen vliv změn proudění vzduchu na ochlazování, je element v pouzdru uložen do silikonové vazelíny. Vhodný způsob uložení je též zatavení do evakuované baňky, kdy odvod tepla je zprostředkován převážně přívodními dráty [3].

Takto utvořený element se připojí na zdroj sinusového nebo nesinusového napětí, jehož kmitočet a amplituda je zvolena tak, aby se element vlivem tepla vydaného v důsledku dielektrických ztrát ohřál na teplotu v blízkosti Curieova bodu. Provozní teplota elementu je velmi málo citlivá také na změnu napájecího napětí nebo kmitočtu. Ukázalo se, že tandel z feroelektrického triglycinsulfátu je možno přivést do pracovního režimu v širokém oboru topných kmitočtů, tj. od zvukových kmitočtů do stovek MHz, přičemž potřebná amplituda napětí klesá s rostoucím kmitočtem.

Značný význam má konstrukční spojení nelineárních dielektrických prvků, kde alespoň jeden z nich je vyhříván střídavým elektrickým napětím do bodu teplotní stabilizace a tím uvede do oblasti maximálních nelinearit ostatní nelineární prvky, které jsou s ním v teplotním kontaktu (obr. 4). Toto



Obr. 4. Konstrukce nepřímě vyhříváných nelineárních dielektrických prvků. Prvek A je přímo vyhříván (tandel), prvky B jsou s ním v tepelném kontaktu a jsou tedy stabilizovány na téže teplotě jako tandel



Objevitel tandelu s. Glanc při laboratorním měření

konstrukční spojení je zvláště vhodné pro ta zapojení, kde by při použití jediného tandelu vadila vysoká amplituda střídavého elektrického pole, potřebná pro dielektrický ohřev. Na prvek, který je v tepelném kontaktu s vyhřívacím tandelem, můžeme přivést velmi malá napětí pro další zpracování (zesilování, směšování, rozmitání kmitočtu apod.) za předpokladu, že bude vyhřát tandelem na teplotu oblasti maximálních nelinearit.

Pro výkonové použití tandelu je často třeba zajistit zvýšený odvod tepla, vznikajícího dielektrickým ohřevem prvku. Jednou možností, jak definované zajistit zvýšený odvod tepla, je spojení nelineárního prvku s termoelektrickým článkem, u kterého je využíváno Peltierova jevu. S výhodou lze použít článku, sestaveného z polovodičového materiálu P a N , který je připojen ke zdroji stejnosměrného proudu pólovannému tak, aby se stykové místo průchodem proudu ochlazovalo. Na styku takového chladicího prvku je umístěn tandel, který je ochlazován, takže pro dosažení stabilního bodu je zapotřebí vyšší amplitudy pro dielektrický ohřev. V tomto uspořádání je tandel schopen zpracovávat značně větší výkon.

Některé možnosti technických aplikací tandelu

Bezprostředně se nabízí možnost použití prvku jako teplotního stabilizátoru miniaturních rozměrů.

Daleko významnější možnosti aplikací vznikají využitím výrazných nelinearit elektrických vlastností tandelu, které zůstávají zachovány až do oblasti vysokých kmitočtů. Jako příklad uvedme jednoduchý násobič kmitočtu, schéma viz str. II obálky. Oscilátor kmitá

v tomto případě na základním pevném kmitočtu, který je řízen krystalovým výbrusem. Z anodového obvodu oscilátoru je jeho vysokofrekvenční napětí přivedeno na obvod násobiče přes regulační prvek C_R , kterým se nastaví optimální dielektrický ohřev tandelu do oblasti jeho maximálních nelinearit. Rezonanční obvod L_2C_2 je naladěn na zvolený kmitočet, odpovídající příslušné vyšší harmonické. Přivedením předpětí na svorky 1, 2 je možno poměr jednotlivých harmonických regulovat ve prospěch sudých, harmonických. Na tytéž svorky lze zavést i modulační napětí, má-li být vynásobený kmitočet amplitudově modulován.

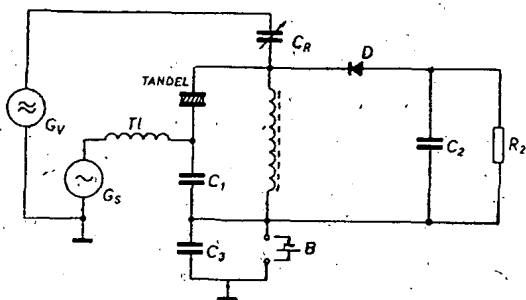
Tandel umožňuje konstruovat známá zapojení dielektrických zesilovačů ať rezonančních nebo nerezonančních. Zapojení podle obr. 5. představuje rezonanční dielektrický zesilovač s jedním tandelem, na něj se přivádí přes regulační kondenzátor C_R vř napětí pro dielektrický ohřev. Tandel je polarizován ze stejnosměrného zdroje B , jehož napětí se přivádí na elektrodu přes zdroj signálu G_s a oddělovací tlumivku T_l .

Rezonanční obvod s tandelem je naladěn tak, že kmitočet napětí zdroje ohřevu je na boku jeho rezonanční křivky. Signálovým napětím ze zdroje G_s , které se superponuje stejnosměrnému polarizačnímu napětí ze zdroje B , se rezonanční obvod rozlaďuje, takže se bok jeho rezonanční křivky posouvá vůči kmitočtu napětí zdroje ohřevu G_v , jehož amplituda na rezonančním obvodu se mění v rytmu signálového napětí. Detekcí takto modulovaného signálu v detektoru se získá zesílený vstupní

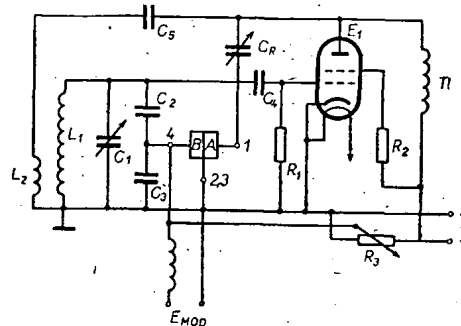
signál na výstupu zesilovače. Z předchozího výkladu vyplývá, že k funkci obvodu stačí zvýšit napětí zdroje ohřevu, popř. kmitočet tak, aby vzniklým dielektrickým ohřevem se dielektrikum tandelu dostalo do autostabilního režimu a tím i do oblasti velkých napětových nelinearit, čímž se napětové zesílení zesilovače zvýší o řád ($A = 12$) vlivem zvýšených nelinearit a navíc se přestane uplatňovat omezující kmitočtová závislost. V důsledku toho lze realizovat takové kmitočty, u nichž to dosud v uvedeném zapojení nebylo možné. Vysoký vstupní odpor tanelového zesilovače a podstatné zvýšení zisku a celková provozní stabilita daná autostabilním režimem opravňuje k domněnce, že tato opomíjená zapojení budou konečně využívána.

Známa zapojení kmitočtových modulátorů využívají k rozmítání kmitočtu většinou změny reaktance elektronky nebo polovodiče, zapojeného v mřížkovém obvodu oscilátoru. Těmito způsoby lze dosáhnout jen malého kmitočtového zdvihu. Pokusy zapojovat do mřížkových obvodů napětově závislé ferroelektrické kondenzátory nevyřešily tento problém z důvodů nestability jak teplotní, tak i časové. Tandel značně redukuje tyto nestability a je tedy dána možnost modulačním napětím měnit jeho kapacitu, a tedy i kmitočet ladícího obvodu, v němž je zapojen.

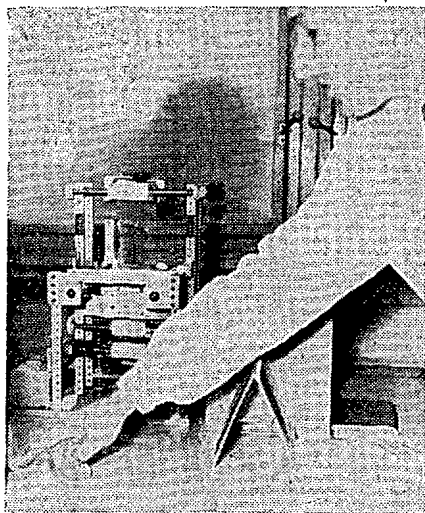
Do mřížkového obvodu elektronky, kde má být zapojen tandel, nemůže být však v některých případech přivedena vysoká amplituda, nutná pro dielektrický ohřev prvku. Proto je do mřížko-



Obr. 5.



Obr. 6.



Inž. Moravec ze skupiny dielektrik II při technologickém zpracování krystalů

vého obvodu oscilátoru zapojen nepřímo vyhřívaný dielektrický prvek, jehož konstrukce byla již na tomto místě popsána. Celkové zapojení oscilátoru je uvedeno na obr. 6, z něhož je patrná jeho funkce. Ladicím kondenzátorem C_1 se řídí kmitočet oscilátoru. Regulační kondenzátor C_R se nastaví tak, aby vyhřívací tandel A byl uveden do autostabilního režimu napětím z anody oscilátoru a aby současně vyhřál prvek B , který je s ním v dobrém tepelném kontaktu, do oblasti silných nelineárních vlastností.

Jak je patrné z obrázku, v napětí, potřebné pro ohřev tandelu B , není zaváděno do mřížkového obvodu elektronky. Společné elektrody 2, 3 prvků A a B jsou zde uzemněny. Nelineární dielektrický prvek, označený B , je zapojen do rezonančního obvodu v sérii s kondenzátorem C_2 . Přes odpor R_3 je přivedeno na elektrodu 4 prvku B stejnosměrné předpětí, kterým se nastaví pracovní bod na křivce závislosti kapacity prvku na napětí. Na tutéž elektrodu je přivedeno modulační napětí, které střídavě mění kapacitu nelineárního dielektrického prvku B . Protože prvek je součástí rezonančního obvodu, dochází k rozložení obvodu v rytmu modulace a tím ke kmitočtové modulaci.

Jak již bylo uvedeno, je nelineární dielektrikum tandelu udržováno v teplotně stabilizovaném stavu dielektrickým ohřevem v důsledku klesajícího průběhu ztrát na teplotě. Teplota uvnitř krystalu však není homogenní v celém objemu a vlivem kovových elektrod a jejich přívodů dochází k ochlazení povrchu krystalu. To má za následek, že těsně pod elektrodami má krystal nižší teplotu než uvnitř a tím i v této oblasti feroelektrickou fázi. V důsledku toho jsou tyto přielektrodové vrstvy piezoelektrické. Teplota těchto vrstev je přesto ještě dostatečně vysoká, takže piezomodul dosahuje vysokých hodnot. Při vhodném konstrukčním uspořádání některé elektrody může být tandel upraven jako elektromechanický snímač, např. jako přenoska pro gramofon, mikrofón apod.

Tandel byl principiálně vyzkoušen v celé řadě významných aplikací, jako např. v amplitudových modulátorech, směšovačích, reaktančních zařízeních

různého druhu v širokém oboru kmitočtů. Novost celé věci zatím nedovoluje publikaci všech těchto aplikací, u nichž je v současné době zkoumána dlouhodobá stabilita a měřeny parametry.

Současně pokračuje základní fyzikální výzkum na nových materiálech, vhodných jako dielektrika pro tandel.

- [1] A. Glanc: *Ferroelektrika*, AR 5/60 str. 139, AR 6/60 str. 168.
- [2] A. Glanc, V. Dvořák, V. Janovec, E. Rechziegel, V. Janoušek: *Temperature Autostabilization Effect of TGS Monocrystals in an AC Electric Field*, Physics Letters, Vol. 7, Nov. 1963
- [3] A. Glanc, Z. Málek, I. Mastner, M. Novák, J. Štrajblova: *Temperature Autostabilized Nonlinear Dielectric Element (Tandel)* – bude publikováno v *Journal of Applied Physics*

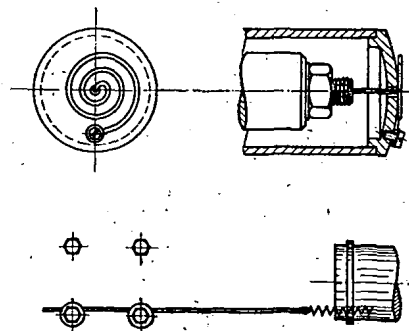
Základná technologická ťažkosť pri zhotovovaní vŕ tunelových diód je výroba ostrého p-n prechodu na veľmi malej ploche. Najrozšírenejšou je metóda vtavovania, pri ktorej sa vtavovaná látka veľmi rýchlo vtaví pomocou ohriatia. Aby sa zmenšilo rozšírenie prechodu následkom difúzie, proces prebieha v krátkych intervaloch, čo dovoľuje dosiahnuť veľmi vysokých prúdových hustôt (u tunelových diód z GaAs až cez 100 000 A/cm²).

Stejný efekt možno dosiahnuť i využitím žiarenia rubínového kvantového generátora, ktoré možno zaostriť až na plochu o priemere 10⁻² mm². Pri dĺžke impulzov 10⁻³ s alebo menšej intenzite energie môže dosiahnuť až 10⁹ W/cm². Sú možné dva spôsoby použitia kvantového generátora. Buď sa ožiari priamo tavený materiál, alebo sa prevádza ožarovanie polovodičovej dosičky z opačnej strany a ako tepelný vodič slúži sám polovodič a základová kovová dosička. Skúsenosti z výroby germániových tunelových diód ukazujú, že druhá metóda dáva lepšie výsledky, pretože pri bezprostrednom ožiarení je možné pozorovať i čiastočné vyparovanie vtavovanej látky alebo jej úplne rozpustenie v Ge. Takouto metódou boli zhotovené tunelové diódy s maximálnym prúdom 1–3 mA. Prúdová hustota sa pohybuje okolo 20 000 A/cm², kritický kmitočet je 5–10 GHz. *Proc. IEEE* 1963, č. 6, s. 938 (Va).

Odstránení statického rušení v automobilech

Podaří-li se blokováním, stíněním a filtrací odstranit rušení pocházející z elektrické instalace vozu, zbývá stále ještě praskot, působený statickým nábojem, jenž vzniká třením pneumatik o povrch vozovky a třením brzdového obložení o brzdové bubny.

Odpomoc od prvního je jednoduchá – vypustit pneumatiky a do vzdušnic vpravit trochu grafitového prášku. Druhé dá



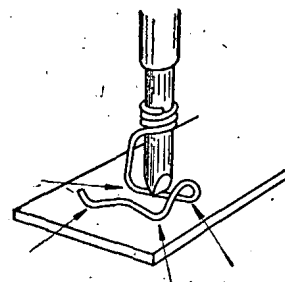
trochu zámečnické práce, neboť je třeba obstarat dobré vodivé spojení kol s kostrou vozu. Samotná ložiska toto spojení neobstarávají! Jak se to dá provést třecími kontakty, je uvedeno v nákrese.

Další cenné pokyny pro odrušení jsou uvedeny v normě ČSN 43 2850 „Ochrana radiového příjmu před rušením“ a v ČQ 5/1958.

Pomůcka k pájení plošných spojů

Při opravách přístrojů vyrobených technikou plošných spojů někdy bývá třeba odpájet současně několik bodů, protože postupným uvolňováním spojů by se těžko podařilo součástku uvolnit.

Jednoduchou, i když primitivní metodou je současně použití několika páječek, což si ovšem vyžaduje spolupráce několika pomocníků. Jiný vtipný způsob jsme našli v jistém zahraničním časopise: na hrot páječky (s příkonem asi 50 až 100 W) se navine několik závitů drátu průměru asi 1 až 2 mm, jehož druhý konec se zprohýbá tak, aby se po přiložení páječky drát dotýkal všech míst, která se



mají současně zahřát. Jak je vidět z obrázku, dotýká se pájecí nástavec hrotu páječky, aby se zlepšil přenos tepla.

Je-li páječka dostatečně vyhřátá a její nástavec dokonale pocínován, lze snadno zahřát a rozpájet současně až 5 bodů na destičce s plošnými spoji. *Ha*

Další mezinárodní předpony pro velmi malé jednotky

V roce 1963 byly přijaty jako další mezinárodní předpony pro označení desetinných zlomků, které navazují na dosavadní názvy: deci, centi, mili, mikro (10⁻⁶), nano (10⁻⁹) a piko (10⁻¹²). Nové předpony jsou pro ještě menší zlomky: femto (10⁻¹⁵) a atto (10⁻¹⁸). *Vesmír* č. 9/63 *Há*

Při provádění základního výzkumu tranzistorového jevu bylo zjištěno, že krystaly z ledu s příměsí proteinu se chovají jako polovodiče. Výzkumy ukázaly, že je možné vytvářet pnp i npn přechody. Pracuje se na vývoji monomolekulárních obvodů, které budou pracovat ve funkci zesilovačů nebo oscilátorů. *Electronics* 50/63, str. 7 *Há*

V Sovětském svazu se s úspěchem provádějí pokusy vyřešit miniaturní tzv. biologické elektrické články. Aktivním zdrojem jsou zvláštní druhy bakterií, které se živí průmyslovými odpady organických a anorganických hmot, nebo z mořské vody. První zkoušky ukazují, že jejich doba života bude velmi dlouhá při dostatečném elektrickém napětí. Jsou vypracovávány dva základní principy řešení, nepřímý a přímý. *Radio* 2/63, str. 23 *Há*