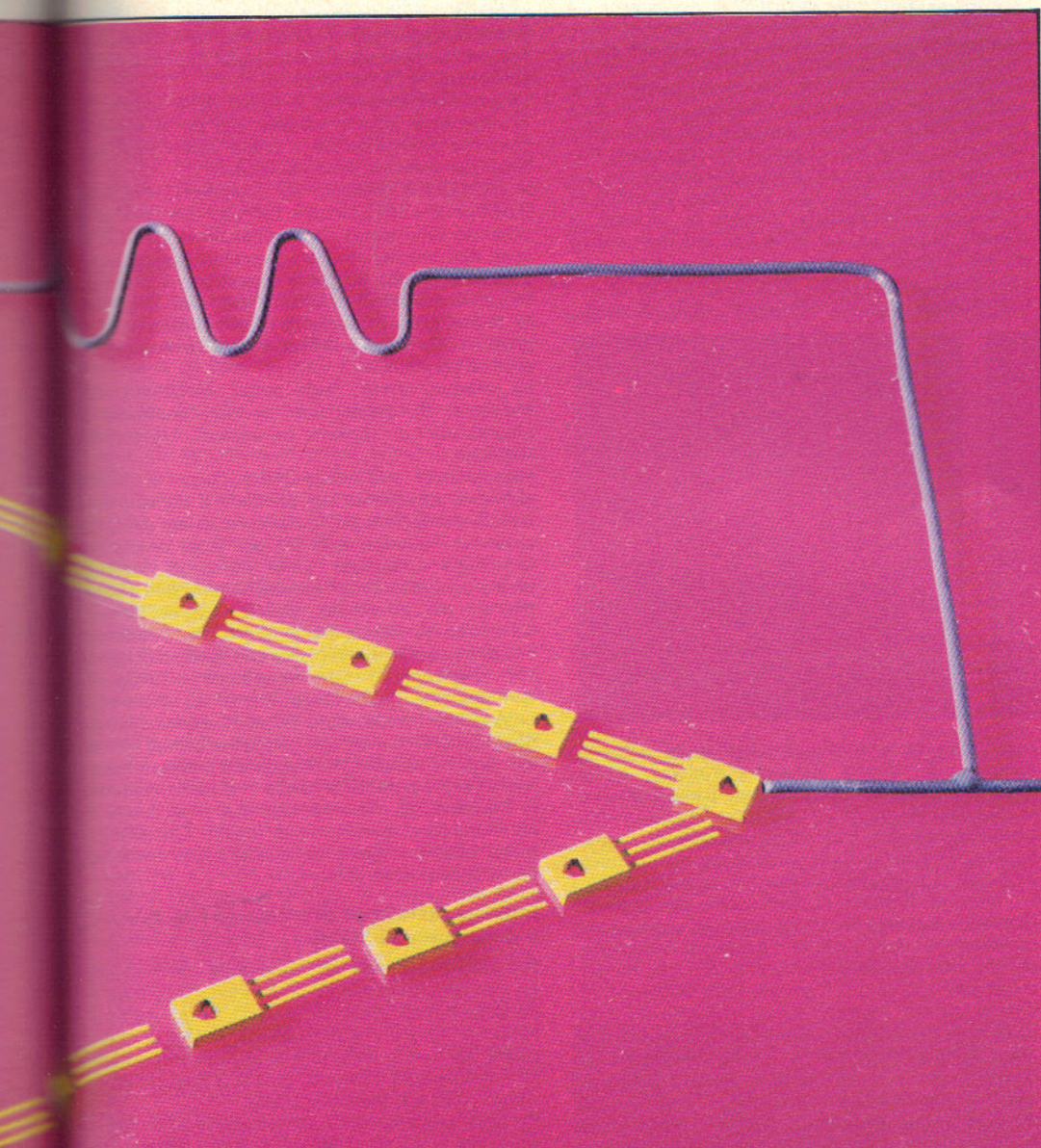


amplificatori di alte prestazioni quali transistor?

IV parte





di Bartolomeo Aloia

In questo quarto articolo l'Autore conclude l'esame di un tema di fondamentale interesse nel progetto degli amplificatori di potenza: la verifica della capacità di funzionare su carico reattivo da parte dei transistor finali, una volta che sia nota l'area di funzionamento di sicurezza (SOAR) fornita dal costruttore. Ricordiamo che negli articoli precedenti l'Autore si era occupato dei criteri di scelta di una coppia di transistor e del funzionamento di uno stadio finale su carico resistivo.

Aspetti pratici della SOAR

Ci proponiamo ora di vedere un po' più da vicino come si presenta in pratica su un manuale fornito dal costruttore, questa SOAR. Allo stesso momento ne approfitteremo per mostrarvi le differenze esistenti tra i risultati che si possono conseguire con due diverse tecnologie. Infatti nella figura 8 ho raggruppato due famiglie di SOAR. La prima si riferisce ad un transistor finale RCA tipo 2N 6254 costruito in tecnologia «Hometaxial», mentre la seconda si riferisce ad un transistor BDW 51C, già menzionato da me precedentemente, costruito in tecnologia «Epitaxial».

Cominciamo con l'osservazione della seconda,

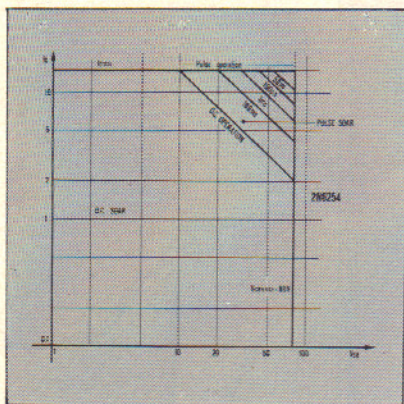
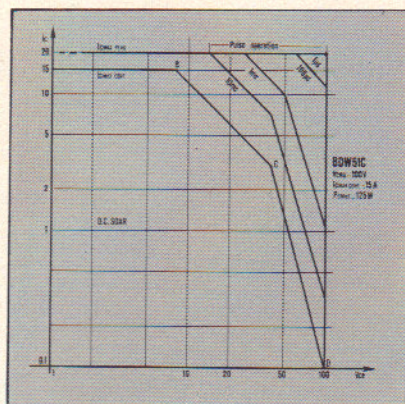


Figura 8 – Area di funzionamento di sicurezza (SOAR) per il transistor 2N6254 (figura 8a) e per il transistor BDW 51C (figura 8b).



ricordando che la tecnologia epitassiale è quella che consente di ottenere transistori «veloci», molto adatti cioè ai moderni amplificatori di alte prestazioni. La SOAR in DC, cioè per funzionamento continuativo è stata indicata da una apposita scritta. Il tratto di limitazione per corrente massima termina ad 8 volt. Il punto «B» corrisponde quindi a 8 volt, 15 ampère. Il tratto di limitazione per potenza istantanea massima finisce nel punto «C» che ha per coordinate 40 volt, 3 ampère. Il tratto di limitazione per secondo breakdown finisce in «D» che ha per coordinate 100 volt, 0,1 ampère (100 milliampère). Il tratto D-E non risulta disegnato in quanto si è fatto coincidere l'asse della tensione di collettore con la linea degli 0,1 ampère. E questa descritta è la superficie della SOAR entro la quale il punto di lavoro può muoversi tranquillamente, senza limitazione di tempo, alla condizione che la temperatura di «case» («case», termine inglese, è il contenitore del transistor) non superi i 25 °C. Per esercizio osserviamo che a 60 volt, in regime continuo il transistor può dissipare $60 \cdot 0,65 \text{ A} = 39 \text{ watt}$. In regime di funzionamento impulsivo, non ripetitivo, può dissipare:

$60 \text{ volt} \cdot 1,75 \text{ A} = 105 \text{ watt}$; per 10 millisecondi.
 $60 \text{ volt} \cdot 5,1 \text{ A} = 306 \text{ watt}$; per 1 millisecondo.
 $60 \text{ volt} \cdot 20 \text{ A} = 1.200 \text{ watt}$; per 100 microsecondi.
 Passiamo ora alla osservazione dell'altra parte della figura dove è rappresentato il comportamento del 2N 6254. Cominciamo a fare qualche confronto e tenetevi ben stretti alla sedia perché potreste svenire. Laddove ad 80 volt il BDW 51C erogava in DC poco più di 16 watt, il 6254 ne eroga ben 160! A 60 volt può erogare 150 watt contro i 39 dell'altro! Una così sbalorditiva estensione della SOAR lascia presupporre la capacità di erogare su qualunque carico terrificanti potenze.

Intanto facciamo l'osservazione che il tratto CD della SOAR, manca. Significa forse ciò che questo transistor non soffre di secondo breakdown? No! Significa invece che la iperbole di massima dissipazione di potenza in regime di massimo breakdown, invece di intersecarsi con quella in regime di dissipazione massima per limitazione puramente termica nel punto «C», è posizionata tutta all'esterno di questa ultima e non la incrocia mai. Ciò vuol semplicemente dire che il transistor raggiunge il

punto di autodistruzione per dissipazione termica prima di raggiungere il punto di autodistruzione per secondo breakdown. E ciò in qualunque punto delle caratteristiche di collettore.

Questo comportamento è tipico della tecnologia «Hometaxial» o «Homobase» che dir si voglia e consente di riconoscere a prima vista i transistori finali che con essa sono realizzati.

Il 2N 6254 è chiamato dal costruttore «Premium type from 2N 3055 family». Ciò vuol dire che esso è costruito sullo stesso chip dell'arcinoto 2N 3055 e sono stati selezionati tutti i parametri migliori intensi, però solo ad una maggiore erogazione di potenza. Le caratteristiche di stabilità di guadagno in corrente, di frequenza e di velocità di commutazione sono grosso modo le stesse del suo più noto e molto meno costoso confratello.

La maggior parte degli autori escludono che transistori di questo tipo possano equipaggiare amplificatori di altissime prestazioni. Un piccolo riepilogo.

Esercitandoci nell'esame della curva di SOAR, abbiamo approfittato per prendere il contatto con due diverse tecnologie, che possono essere utilizzate ambedue fruttuosamente ma per scopi diversi. La tecnologia epitassiale soffre molto di secondo breakdown, può fornire elevate correnti solo a basse tensioni, ma correnti piccolissime a tensioni elevate, ha tensioni di saturazione piuttosto alte, caratteristiche di frequenza molto buone con prodotti di banda che raggiungono i 4-5 megahertz e tempi di commutazione abbastanza ridotti. La tecnologia ometassiale invece soffre poco di secondo breakdown, può fornire elevate correnti anche ad elevate tensioni, ha tensioni di saturazione piuttosto basse, arriva però a prodotti di banda di qualche centinaio di kilohertz, al massimo sugli 800, con tempi di commutazione estremamente lunghi. Questi argomenti saranno oggetto della nostra attenzione nel corso delle puntate future.

Impiego delle linee di carico e delle curve di SOAR.

Poniamo il problema nei suoi termini concreti: dato un transistor, determinare la sua idoneità ed erogare un determinato valore di potenza su un prefissato carico. E' chiaro che il problema, risolto in questa forma, appare risolto in tutte le sue altre forme come ad esempio quella inversa, data una potenza ed un carico cercare il transistor adatto.

Per poter procedere, occorre sottoporre ad un esame stringente, i valori numerici di tutti i termini che compaiono nel problema.

Questi termini sono: temperatura, tensione, corrente, argomento del carico.

Temperatura

Prima di cominciare a far lavorare un dispositivo a semiconduttori è assolutamente indispensabile decidere a che temperatura farlo lavorare. La scelta della temperatura è una libera scelta del progettista. Infatti noi sappiamo che sarà il dissipatore di calore che si occuperà di mantenere costante la temperatura al valore da noi deciso. Ed il progetto della dissipazione di calore occuperà una delle prossime puntate.

Ma la PRC ci dice che la potenza che possiamo dissipare sul transistor e quindi quella che possiamo erogare sul carico, diminuisce con l'aumentare della temperatura. Ci troviamo quindi di fronte a due contrastanti necessità. Da un lato, se vogliamo tenere molto bassa la temperatura, da un dato transistor potremo «tirare fuori» più potenza ed erogare sul carico, però il dissipatore di calore sarà più massiccio, più ingombrante e ahimè più costoso. Se invece accettiamo che la temperatura diventi piuttosto alta, allora potremo risparmiare soldi sul dissipatore e mangiarceli con gli amici, però la potenza che potremo ottenere sarà minore e maggiore cura dovremo porre nell'evitare i rischi di valanga termica. Occorre trovare, come sempre un compromesso.

nesso. Un valore di temperatura che viene considerato in generale, ed anche da me in particolare, un buon compromesso, è quello di 55 °C che non è ancora tanto alto da produrre ustioni di terzo grado alle dita, ma neanche tanto basso da sfondare i piani della vostra libreria per il peso dei dissipatori. Vi chiederete perché non ho fatto cifra tonda 50 o 60 °C. Cifra tonda l'ho fatta con il ΔT , che, dal momento che tutti i costruttori di transistor fissano la temperatura ambiente in 25 °C, risulta essere esattamente di 30 °C.

Tensione

Abbiamo visto nell'ultima puntata che con una tensione di alimentazione $V_a/2$ di 30 volt, con un normale transistor si poteva ottenere la tensione necessaria ad erogare poco più di 48 watt su un carico resistivo.

Possiamo dire che con 31 volt possiamo avere 50 watt tondi.

Invece di procedere in modo generico partiamo subito con un esempio pratico. Vogliamo un amplificatore che fornisca una tensione di 20 volt RMS su un carico reale. Vorrà dire che quando il carico sarà puramente resistivo vi sarà una erogazione di 50 watt, altrimenti vi sarà una spartizione di questo valore tra potenza attiva e potenza reattiva. E' dunque con questo valore di 31 volt che dobbiamo costruire le linee di carico? Se l'alimentazione fosse perfettamente stabilizzata sì, altrimenti no. Infatti nel caso di una alimentazione non stabilizzata il valore di 31 volt è quello che si ottiene a pieno carico ed in questa situazione la tensione a vuoto ha subito un calo che impareremo a calcolare quando parleremo di dimensionamento degli alimentatori, ma che può essere stimato con sufficiente approssimazione in un buon 15%. Pensiamo ora di alimentare il nostro amplificatore con un tone burst costituito da pacchetti di sinusoidi sufficientemente distanziati gli uni dagli altri. Nei pacchetti di sinusoidi impiegati in pratica, in simulazione molto reale di un segnale musicale, il numero delle sinusoidi presenti in un pacchetto è sufficientemente alto da costringerci a considerare per esso solo l'area di sicurezza in regime permanente, cioè la DC SOAR, ma nello stesso tempo non è sufficientemente alto da provocare un apprezzabile decadimento della tensione di alimentazione, se i condensatori filtro sono opportunamente dimensionati. Poiché un regime di funzionamento come quello descritto con il tone burst è molto simile se non a tutti, almeno ad una buona parte dei regimi di funzionamento musicale, siamo costretti a considerarlo realistico e quindi il valore di tensione che dobbiamo scegliere per costruire le linee di carico non è 31 volt ma bensì 36,5 V. Cioè il valore che ridotto del 15% ci dà 31. E neanche questo è ancora vero! Infatti, con alimentazione non stabilizzata, si hanno 36,5 volt solo quando la tensione di rete è a 220 volt. E siccome dobbiamo tenerci un margine di almeno il 10%, dobbiamo dormire sonni tranquilli anche quando la tensione di rete sale a 242 volt, vuol dire che dovremo aumentare ancora di un 10% i 36,5 volt trovati prima, che finalmente diventano 40 volt. Il valore di $V_a/2$ cercato è quindi di 40 volt.

Corrente.

Il valore della corrente resta determinato dal fatto che assumiamo come modulo della impedenza il valore di 8 ohm, riservandoci a parte una discussione sul caso del 4 ohm. Si ha $40/8 = 5$ A che come sappiamo è un valore di picco. Discussione su questo valore. Si alza il lettore Rossi e dice: ma io, applicando la formula $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$ trovo $I = \sqrt{\frac{50}{8}} =$

2,5 e moltiplicando per 1,41 ottengo 3,52 A e non 5 A come ha detto lei. Io replico al lettore Rossi che lui ha dimenticato che in quel regime di tone burst che abbiamo dovuto prendere in considerazione per puro realismo, le sinusoidi vengono riprodotte ad

una potenza sensibilmente più alta dei 50 watt che è invece la potenza in regime sinusoidale continuo. In pratica il regime dei tone bursts vede ogni sinusoide riprodotta a quel valore di potenza che le norme americane chiamano «musicale» o «dinamica», e che in un amplificatore come il nostro è realisticamente di una settantina di watt. Si vede come un funzionamento in regime musicale consenta in uscita maggiori potenze istantanee ma sia per il transistor più oneroso in quanto impegna anche una maggior dissipazione in potenza istantanea. Ciò significa anche l'impegno di una maggiore superficie sulla SOAR.

E cade così il mito della maggiore onerosità del regime sinusoidale continuo rispetto a quello dinamico o musicale.

Ma intanto il lettore Rossi non si dà per vinto. Applica nuovamente le due formule di prima scrivendo 36,5 volt al posto di 31 e trova una corrente di picco di circa 4,2 ampère. Ed io ribatto ancora una volta che gli 0,8 A che mancano per arrivare a 5 me li tengo di margine per tenere conto degli effetti della temperatura sulla SOAR. Infatti consultando la PRC scopro che passando da 25 °C a 55 °C la potenza dissipabile cala di un 20 %. Stabilita fissa la tensione in uscita questo calo ne comporta quindi uno pari nella corrente erogabile. A questo punto posso attuare due procedure, o traslare verso il basso tutte le SOAR lungo l'asse della corrente, o aumentare parimenti il valore di corrente calcolato per il circuito. Io ho scelto la seconda procedura, ma solo per risparmiarmi un disegno! In conclusione il valore di corrente che ci serve per costruire la linea di carico è di 5 ampère. Lo abbiamo ottenuto prendendo il valore RMS necessario per ottenere 50 watt su 8 ohm, lo abbiamo incrementato del 20% per tenere conto del discorso della potenza dinamica, lo abbiamo aumentato ancora del 20% per tenere conto della temperatura, ed infine lo abbiamo moltiplicato per 1,41 per ottenere il valore di picco che è quello necessario.

Argomento del carico

Dobbiamo infine stabilire quale è l'argomento del carico. Affrontando il problema così, senza altre premesse, la risposta sarebbe: quale sia il carico

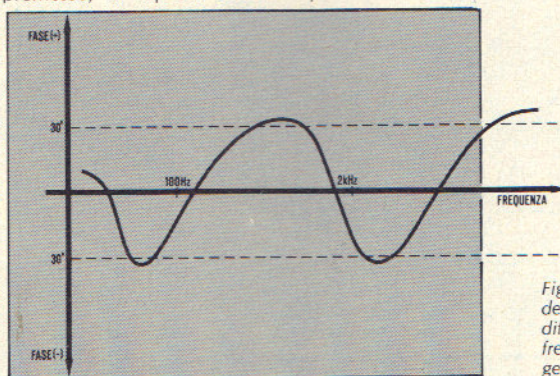


Figura 9a - Andamento dell'argomento dell'impedenza per un diffusore medio, in funzione della frequenza. Gli sfasamenti sono in genere contenuti entro $\pm 30^\circ$.

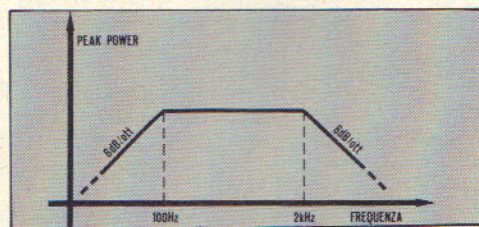


Figura 9b - Contenuto energetico del segnale musicale trattato dall'amplificatore in funzione della frequenza (secondo l'Autore).

nessuno lo sa. Vi assicuro che il problema è in effetti molto aggraviato. Esso cambia aspetto a seconda della filosofia di progetto con la quale lo si affronta. Dobbiamo quindi sceglierci una nostra filosofia prima di proseguire. Stabiliremo una filosofia composta da quattro obiettivi, due dei quali da raggiungere, gli altri due da evitare accuratamente.

I due obiettivi da raggiungere sono:

- Sonorizzare il nostro tranquillo soggiorno domestico, che non è uno stadio né una discoteca.
- Spendere meno possibile nei limiti di una ragionevole affidabilità.

I due obiettivi da non raggiungere sono invece:

- Farsi sfrattare dal condominio.
- Sfondare le casse.

Escluso il lettore Rossi che, fortunato lui, abita in una camera anecoica ed il lettore Bianchi che abita in una caverna di una vecchia miniera abbandonata, nelle vicinanze del centro della terra, penso che dovremmo essere tutti d'accordo.

Stabilita la nostra filosofia di progetto passiamo ad esaminare la figura 9a.

In essa è rappresentato il grafico dell'andamento della fase di ingresso di un diffusore medio in funzione della frequenza. Le osservazioni che andiamo a fare sono di natura statistica e le conclusioni che trarremo sono frutto di un compromesso. Un compromesso ovviamente ragionato e supportato da esperienze. La grandissima maggioranza dell'energia che entra in un diffusore è costituita da correnti elettriche che scorrono attraverso i morsetti di ingresso con uno sfasamento rispetto alla tensione compreso entro una fascia di 30° . Comprendiamo quindi come sia da considerarsi poco frequente che una nota compresa nel programma musicale cada in un intervallo di frequenza in cui la fase è al di fuori della fascia di 30° . Ed anche quando ciò si sia verificato non è detto che il punto di lavoro esca dalla SOAR in DC: infatti perché ciò avvenga la corrente deve superare il valore massimo prefissato nel tracciamento della linea di carico. Inoltre, una volta che il punto di lavoro fosse uscito dalla SOAR in DC non è detto che ne stia fuori più del tempo consentito. Ed infine, negli intervalli di frequenza al di sotto dei 100 hertz e sopra i 2.000 hertz è ancora

carico appaia ai transistori finali come una impedenza di fase 30° in regime continuo, ed a fase maggiore, anche fino al doppio, in regime impulsivo. Definiremo quindi la nostra linea di carico come una ellisse con sfasamento pari a 30° .

Facciamoci ora una osservazione che può aiutarci a capire meglio. Perché, chiediamoci, se il carico risulta definito da una impedenza di fase 30° , anche la linea di carico in DC deve essere una ellisse di 30° ?

Il fatto è che se io definisco una ellisse di carico minore, ad esempio di 15° , non mi serve più a niente averla definita, in quanto il punto di lavoro andrà continuamente fuori da questa ellisse e lo farà per tempi sufficientemente lunghi da non poter più essere considerati caratteristici di un regime transitorio. Questa ellisse «ristretta» in pratica non conterrebbe «quasi permanentemente» il punto di lavoro e quindi non servirebbe a fini pratici.

Analisi del procedimento

Si stabiliscono i 4 valori fondamentali di temperatura, tensione, corrente, argomento del carico. Si riducono le 4 grandezze a 3, conglobando la temperatura nella corrente con l'aiuto della PRC. Si disegna su carta millimetrata e con una ben precisa scala lineare di tensione e di corrente, la ellisse di carico per un argomento di 30° .

Si riporta sullo stesso foglio in scala lineare la curva di SOAR in DC del transistor. Se la ellisse di carico è tutta contenuta entro la curva di SOAR o ciò che è lo stesso, la curva di SOAR è tutta esterna alla linea di carico, il transistor in questione può essere impiegato con i valori di tensione e di corrente con i quali è stata disegnata la linea di carico.

Una volta che il transistor è stato ammesso a lavorare nelle condizioni specificate, il lavoro non è finito. Dal momento che noi sappiamo che in qualche caso il punto di lavoro si porterà fuori della linea prescritta, impiegheremo particolari circuiti detti di protezione, per rilevare questa fuoriuscita, e bloccheranno la corrente quando la sua durata supererà i valori stabiliti dalla parte a regime impulsivo della curva di SOAR.

Una nota di grande importanza. Ricordate che per poter sovrapporre la SOAR alla linea di carico, essa va traslata dal sistema a coordinate logaritmiche in un sistema a coordinate lineari avente la stessa scala nella quale è stata disegnata la linea di carico. Errori in tal senso portano a risultati catastrofici.

La traslazione in coordinate lineari io l'ho fatta nella figura 10, per un transistor (il suo complementare lo si presume identico) di quasi tutte le coppie finora menzionate, avendone aggiunta una, la TIP 35C, della Texas Instruments.

Il metodo descritto è stato applicato in tutte queste figure per un carico avente un modulo di 8 ohm, sul quale si vuole erogare una tensione di 20 volt RMS. Un amplificatore che funzioni con questi dati viene classificato da 50 watt di potenza. Sovrapponendo la figura 10 alla figura 2 possiamo subito constatare che dalle condizioni di funzionamento specificate devono essere esclusi il 2N 5872, il TIP 35C, l'MJ 802. Sono invece ammessi a lavorare il 2N 5876, il 2N 6029, il BDW 51C, il 2N 5884.

Conclusioni

Mi ero proposto, all'inizio di questa serie, di procedere con un metodo di insegnamento operativo, tale cioè che ad ogni puntata si imparasse a fare qualcosa di concreto. Anche se l'argomento di questa puntata non è ancora completo e restano alcuni argomenti da illuminare, per coloro che sono arrivati fino in fondo senza cadere pesantemente addormentati, l'obiettivo dovremmo averlo raggiunto. Se poi questo condizionale lo si possa sostituire con «è stato», se i tecnofili che hanno letto hanno veramente raggiunto la capacità di fare delle scelte autonome, possedendo ovviamente i dati di base, mi aspetto di sentirlo dire dalla loro viva voce.

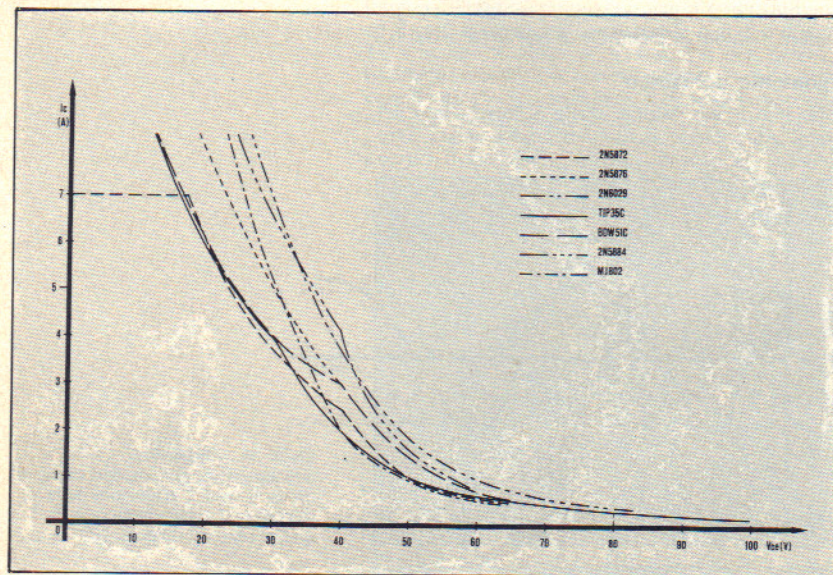


Figura 10 - Area di funzionamento di sicurezza (SOAR) di sette diversi transistor finali. A differenza di quanto riportato nelle figure 6 ed 8, le scale per la tensione e la corrente sono ora lineari e non logaritmiche. Di conseguenza le linee equipotenza che nelle figure 6 ed 8 erano rette oblique, si trasformano in archi di iperbole.

più difficile che la fuoriuscita della fase dalla fascia dei 30° porti il punto di lavoro fuori della linea di carico di 30° a causa della progressiva diminuzione della potenza di picco che si verifica all'esterno dei due limiti sopradetti e che è rappresentata nella figura 9b. Da quanto detto si deduce che la presenza di correnti caratterizzate da sfasamenti e da ampiezze, le due grandezze devono essere concomitanti, tali da portare il punto di lavoro fuori di una linea di carico tracciata per 30° , è un fenomeno che, quando avviene ha sempre una durata molto limitata. Si ammette quindi per esso un carattere esclusivamente transitorio che dà luogo ad una dissipazione di potenza all'interno dei finali, di tipo impulsivo. In conseguenza di ciò si stabilisce che il