

HÍRADÁSTECHNIKA

Áramkörnyalábok méretezése túlterhelési tartalékkal

PHAN VAN LINH —
DR. SALLAI GYULA
Posta Kísérleti intézet

A szolgáltatásbiztonsági technikák fejlődését jelentősen befolyásolja és ösztönzi az a tény, hogy az átviteli nyalábok mérete a forgalmi igények növekedésén túlmenően technológiai okokból is növekszik, gazdaságosabb nagyobb forgalmi kapacitású átviteli utakon koncentrálni a forgalmat. Ez ugyan javítja a nyalábok forgalmi kihasználtságát, de egyben sokkal érzékenyebbé teszi a forgalmi túlterhelésekre és az áramkörök kiesésére. A biztonság növelésére megkülönböztetünk forgalom- és átviteltechnikai eljárásokat, illetve preventív, a hatások bizonyos szintjével eleve számoló, azt kiküszöbölő tervezési módszereket, és túlterhelések, kiesések fellépésekor végrehajtott beavatkozásokat, vezérléseket [1, 2]. Figyelmünket a preventív módszerekre, azon belül is az alternatív irányítású hálózatok forgalmi méretezése során alkalmazható módszerekre korlátozzuk.

A hierarchikus alternatív irányítás jellemzője, hogy a túlterhelések — a lebonyolítatlan forgalmak túlsordítása következtében — az utolsó választású alaphálózati útvonalakra tevődnek át, és azok veszteségét jelentősen megnövelik. Így az alaphálózati útvonalak eredeti saját forgalma — nem lévén más útja — megengedhetetlen veszteséget szenvedhet. Az utolsó választású útvonalak nyalábmegosztással, az ún. teljes haránt nyalábok alkalmazásával és túlméretezéssel védhetők. A nyalábmegosztás alkalmazása esetén külön nyalábot biztosítunk az alaphálózati utak mentén a véletlen és a túlsordult csúcsos forgalom számára. A nyalábmegosztásnak számos különböző megoldása lehetséges, tárolt program vezérlés esetén pedig fejlettebb megoldások is alkalmazhatók [3, 4, 5]. A teljes haránt nyalábok a túlterhelések tovagyűrűzését hivatottak megakadályozni a haránt nyalábok kis veszteségűre való méretezésével és a túlsordulási lehetőség megszüntetésével. Nagy közvetlen forgalom és hosszú kerülő út esetén a teljes haránt nyalábok eleve gazdaságosak lehetnek, de kedvező hatásuk érvényesítésére bizonyos költségnövekedés is megengedhető [6, 7, 8]. Mindezek mellett indokolt az alaphálózati nyalábok bizonyos fokú, kézben tartott túlméretezése. Az ismert eljárások vagy több forgalmi értékre való méretezésen, vagy a nyaláb határfokának korlátozásán alapulnak [6, 9–13]. Cikkünkben a hatások részletesebb bemutatása után az ilyen irányú kez-

deményezéseket, majd a javasolt ERLIN-módszert ismertetjük. Az ERLIN-módszer a differenciális határfok korlátozásán alapul, kiküszöbölve ezzel a határfok korlátozásánál felmerülő hiányosságokat, de megtartva annak kis számításigényét. Megadjuk a túlterhelési és a tervezési paraméterek optimális kapcsolatát, és megalapozunk egy globális tervezéshez alkalmas összefüggést is.

1. Az Erlang-nyalábok túlterhelési tulajdonságai

Vizsgálataink a hálózatok azon nyalábjaira vonatkoznak, amelyeket szokásosan egy B_0 névleges veszteségre méreteznek. Az ilyen nyalábok forgalmi teljesítőképességét a rögzített B_0 mellett értelmezett marginális forgalmi kapacitással, marginális forgalmi áteresztőképességgel, fajlagos forgalmi kapacitással és az átlagos áteresztőképességgel jellemezhetjük, amelyek definíciója az alábbi:

$$\Delta A(N, B_0) = A(N, B_0) - A(N-1, B_0), \quad (1)$$

$$\Delta Y(N, B_0) = Y(N, B_0) - Y(N-1, B_0) = (1 - B_0) \cdot \Delta A, \quad (2)$$

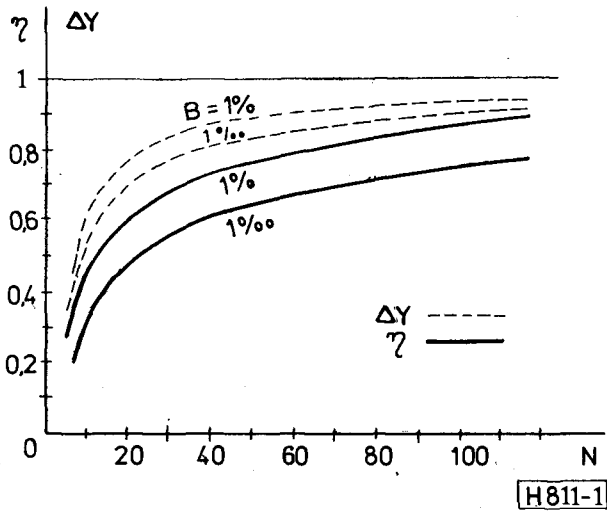
$$\alpha(N, B_0) = \frac{A(N, B_0)}{N}, \quad (3)$$

$$\eta(N, B_0) = \frac{Y(N, B_0)}{N} = \frac{\sum_{n=1}^N \Delta Y(n, B_0)}{N} = (1 - B_0) \cdot \alpha, \quad (4)$$

ahol $A(N, B_0)$ az N áramkörös nyalábra B_0 megengedett torlódás esetén felajánlható forgalom, $Y(N, B_0) = (1 - B_0) \cdot A(N, B_0)$ pedig az A felajánlott forgalomból átvitt forgalom. Vizsgálatainkban teljes elérhetőségű nyalábokat és a torlódott hívások zérus tartásidejét feltéve, Poisson-típusú véletlen felajánlott forgalom esetén a

$$B = E(N, A) = \frac{A^N}{N!} \sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}$$

Erlang veszteségi (B) formula szerint, túlsordult csúcsos felajánlott forgalom esetén az ekvivalens vélet-



1. ábra. Erlang-nyalábok marginális és átlagos át-eresztőképessége az áramkorszám függvényében

len forgalom (ERT) elve alapján az Erlang B formulára visszavetítve nyerjük A , N és B számszerű kapcsolatát [4, 14]. A túlterhelési sajátosságokat az Erlang B formula szerint méretezett nyalábokra, röviden Erlang-nyalábokra mutatjuk be (csúcsos forgalom esetén a viszonyok kvalitatíve azonosak).

Az Erlang B szerinti $A(N, B_0)$ görbék jellege közismerten konvex,

$$\frac{\partial^2 A}{\partial N^2} > 0,$$

amiből következik, hogy a marginális és az átlagos át-eresztőképesség az N függvényében monoton nő. Szemléletesen nyilvánvaló, és bizonyítható az is, hogy

$$\eta_\infty = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{Y}{N} = 1, \quad (5)$$

valamint

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \Delta Y(N, B_0) = 1,$$

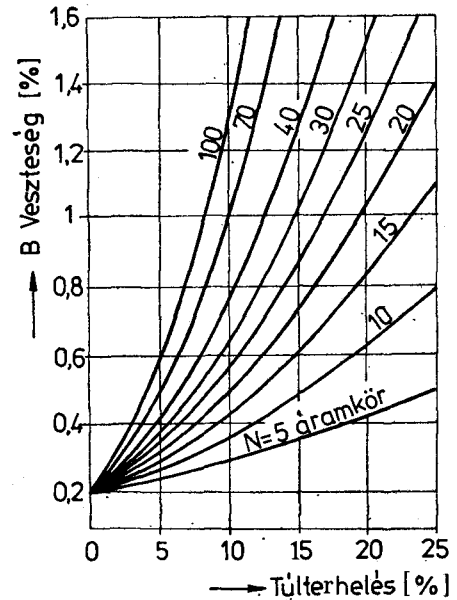
$$\Delta Y(N, B_0) > \eta(N, B_0), \quad \text{ha } 1 < N < \infty,$$

és az $A(N, B_0)$ és az $\tilde{A} = N/(1 - B_0)$ lineáris függvény aszimptotikusan egyenlő (1. ábra.) [15].

A nagyobb nyalábok jobb hatásfokának előnyei nyilvánvalóak. A forgalmi túlterhelés azonban a nagyobb nyaláboknál a torlódás nagyobb mértékű növekedését okozza, azaz minél nagyobb a nyaláb, annál érzékenyebb a túlterhelésre. Bevezetve a túlterhelésviszony

$$\tau = \frac{A}{A_0}$$

definícióját, ahol A a tényleges, A_0 a névleges terhelés, a viszonyok alakulását egy konkrét esetre a 2. ábra, általánosan a 3. ábra mutatja be. Tekintsük a 3a ábrát, amely a torlódás alakulását a forgalom függvényében N szerint paraméterezve mutatja. A B_0 névleges veszteséget rögzítve, az N_j áramkorszámhoz A_j névleges terhelés rendelhető. A τA_j terhelésű, N_j áramkorszámú nyalábok torlódási értékeit összekötő görbe a τ mértékű túlterhelés hatását tük-



H811-2

2. ábra. Torlódás alakulása túlterhelés hatására 0,2% névleges torlódású nyalábokra

rözi. Az N_j , A_j összetartozó párhoz túlterhelési értéket A_j -hez (illetve N_j -hez) rendelve, a 3b ábra szerinti szemléletesebb ábrázolást kapjuk. $\tau = 1$ -hez természetesen a B_0 paraméterű vízszintes egyenes tartozik, és láthatóan $\tau > 1$ esetén a torlódás B_0 -tól kiindulva monoton növekszik, az áramkörnyalábok mind jobb hatásfokának, kisebb tartaléknak megfelelően. A torlódás képletszerűen $B = \beta(\tau, A_0, B_0) = E(N, \tau A_0)$ alakban adható meg, ahol N a $B_0 = E(N, A_0)$ egyenlőséget kielégítő érték. A torlódás $B = 1 - Y/A$ definíciója alapján, az (5) kétszeri alkalmazásából adódó $Y \sim N \sim (1 - B_0)A_0$ aszimptotikus összefüggések segítségével könnyen belátható, hogy a β görbék A_0 szerinti maximuma

$$B_{\max}(\tau, B_0) = \lim_{A_0 \rightarrow \infty} \beta(\tau, A_0, B_0) = 1 - \frac{1 - B_0}{\tau}. \quad (6)$$

2. Túlterhelési torlódásnövekedés korlátozásának módszerei

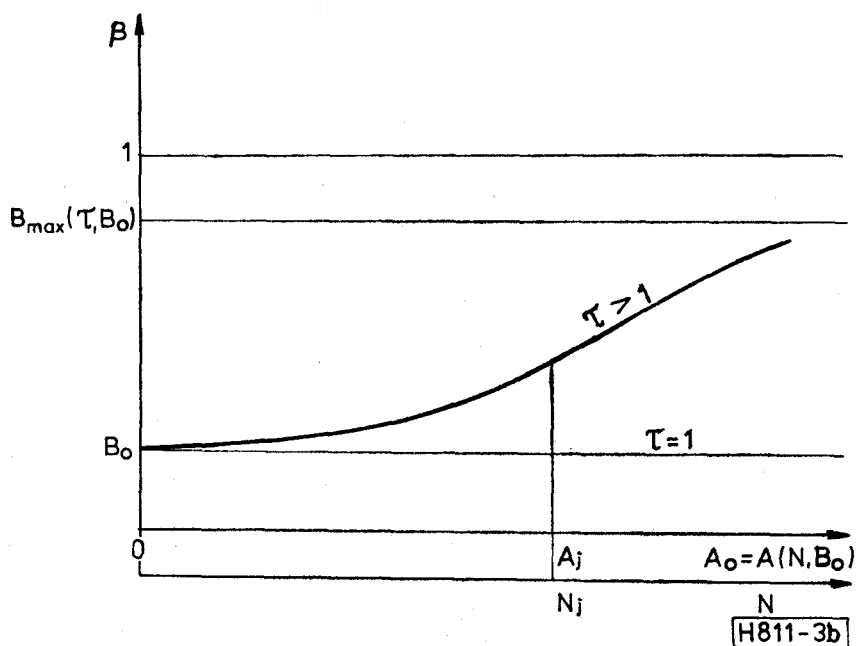
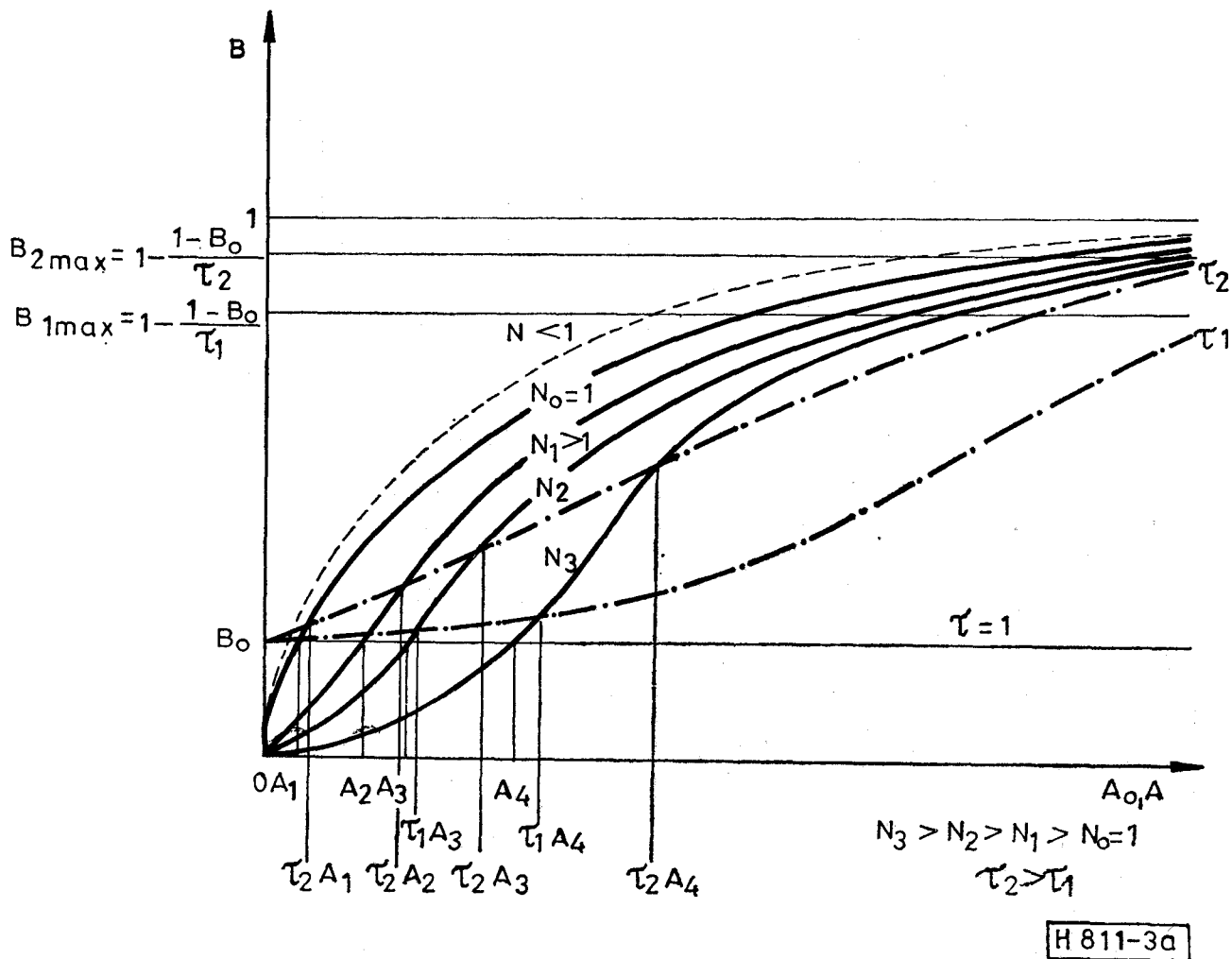
Kézenfekvő, hogy a nagyobb nyalábok egyre növekvő torlódása túlterhelés esetén túlméretezéssel korlátozható. Ebben az esetben az N méretű nyaláb (1)–(4) szerinti forgalmi jellemzői az elvi maximumot adják, amelyet a túlméretezés következtében korlátozottan használunk ki. Ilyen módon a kihasznált teljesítőképességi értékek, valamely $A(N)$ méretezési összefüggés esetén:

$$\Delta A(N) = A(N) - A(N-1)$$

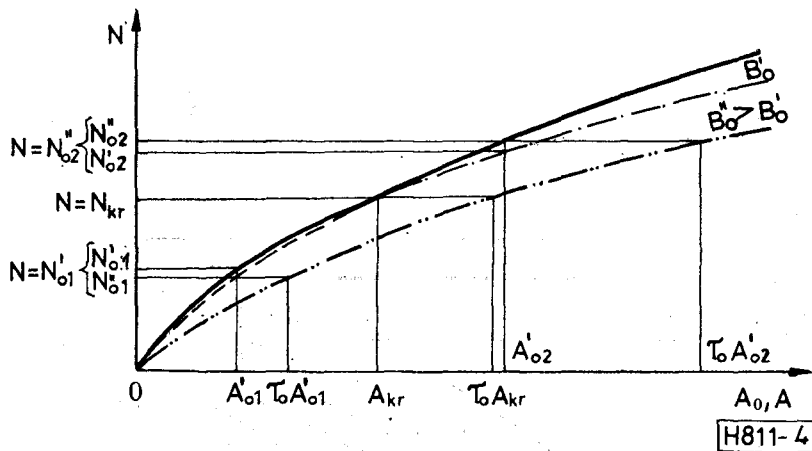
$$\Delta Y(N) = \Delta A(N) - B(N, A(N)) \cdot A(N) + B(N-1, A(N-1)) \cdot A(N-1),$$

$$\alpha(N) = A(N)/N,$$

$$\eta(N) = \alpha(N) - \frac{B(N, A(N)) \cdot A(N)}{N},$$



3. ábra. Erlang-nyaláb torlódása adott túlterhelésviszony esetén



4. ábra. Méretezési görbe kettős specifikáció esetén

és a túlméretezés miatt: $B(N, A(N)) \leq B(N-1, A(N-1))$. A $B(N, A)$ torlódásfüggvény véletlen forgalom esetén $E(N, A)$ -val egyenlő.

Az irodalomból ismert túlméretezési eljárások egyik csoportja több, rendszerint két forgalmi értékre való méretezésen alapul.

Az A'_0, B'_0 névleges terhelés és torlódás mellett egy $A''_0 = \tau_0 A'_0$ ($\tau_0 > 1$) terhelésnél megengedett $B''_0 > B'_0$ torlódást specifikálnak. Ezek alapján az Erlang-formula segítségével meghatározott N' és N'' áramkör-számok közül a nagyobbikat realizálják. Az eredő tervezési görbe A_0 függvényében a közönséges $N' = N(A'_0, B'_0)$ és a zsugorított $N'' = N(\tau_0 A'_0, B''_0)$ görbék egyesítése (4. ábra). Helyesen megválasztott paraméterek esetén egy kritikus értékig N' , majd N'' érvényesül. A túlméretezés $C = N''/N'$ mértéke a kritikus értéken túl aszimptotikusan a $C_\infty = \tau_0(1 - B''_0)/(1 - B'_0)$ értékig növekszik. A maximális torlódás $\tau \geq \tau_0$ esetén (6) alapján

$$B_{\max} = B_\infty = 1 - (1 - B''_0) \cdot \tau_0 / \tau.$$

A τ_0 túlterhelésviszonyt általánosan rögzítik (szokásosan $\tau_0 = 1, 1 \dots 1, 25$) [9], vagy a forgalom-mérések alapján – akár viszonylatonként – határozzák meg. Például úgy, hogy A'_0 az év 30 legnagyobb, időben állandó fekvésű forgalmas órai forgalmának átlaga, A''_0 pedig az 5 legnagyobb átlaga [10, 11]. A torlódási értékre [10] 1, illetve 7%-ot említ. E módszer a torlódásnövekedés korlátozását a specifikált értékeknél szemléletesen fejezi ki, de éppen ezen értékek felvételére érzékeny, és a tervezési munkát összetettebbé teszi.

Az ismert eljárások másik típusa (francia módszer) azon a megfontoláson alapszik, hogy a nyálábok méretével együtt növekvő hatásfokjavulás egyre jobban csökkenti azt a tartalékot, amely a túlterhelés esetén hasznosítható lenne. Ezért az átlagos átteresztőképesség korlátozását javasolják [6, 12, 13]. Tekintve az $\eta(N, B_0)$ 1. ábra szerinti alakulását, a módszer tulajdonképpen egy B_0 torlódású Erlang-görbe és a maximálisan megengedett hatásfokot reprezentáló, origóból induló

$$N = \frac{1 - B_0}{\eta_0} A \quad (7)$$

egyenes együttes használatát jelenti (5. ábra).

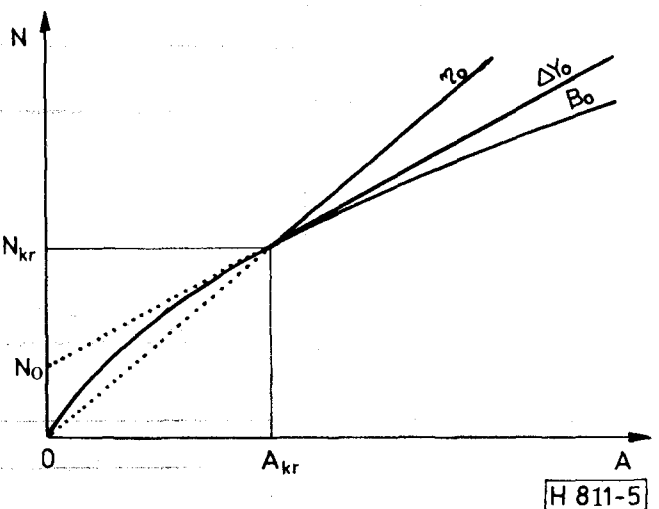
Az ábra szerint

$$N_{kr} = \frac{1 - B_0}{\eta_0} A(N_{kr}, B_0)$$

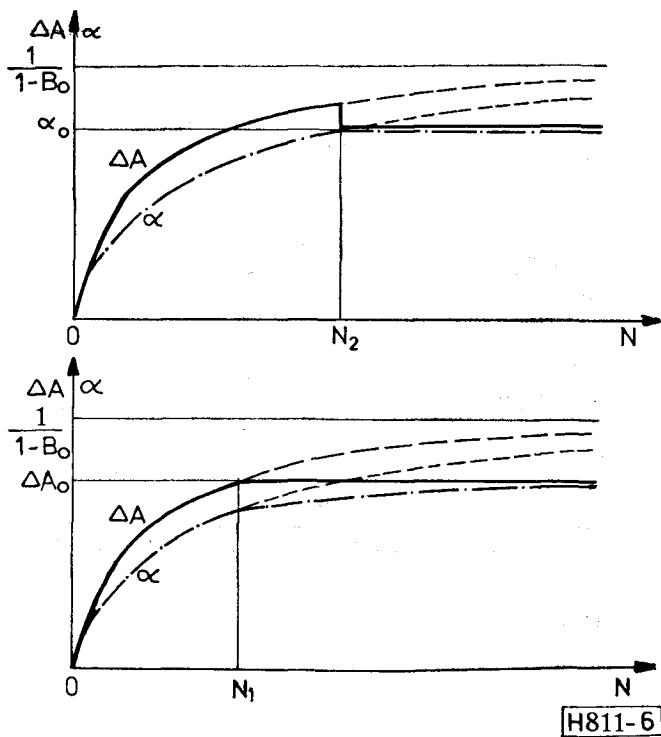
kritikus méretig a B_0 névleges veszteség biztosítása jelenti az erősebb követelményt. A (7) összefüggést értékelve látható, hogy a kihasznált fajlagos kapacitás konstans, a kritikus pontnál felvett $\alpha_0 = \eta_0/(1 - B_0)$ értéken marad, a kihasznált átlagos átteresztőképesség pedig a torlódás csökkenése következtében

$$\eta(N) = \frac{1 - B(N, N \eta_0 / (1 - B_0))}{1 - B_0} \quad \eta_0 < \eta(N, B_0)$$

formában $\eta_{\max} = \min(1, \alpha_0)$ értékhez tart. E módszer előnye rendkívüli egyszerűségén túl a túlterhelhetőség lényegéhez kötődő szemléletessége. Hátránya viszont, hogy a korlátozó egyenes az Erlang-görbével a kritikus pontban töréspontosan csatlakozik, és a nagyobb nyálábok alkalmazásának semmiféle előnye nem jelentkezik. (Megjegyzendő, hogy a csökkenő torlódás mellett is konstans $\eta = \eta_0$ biztosítása a számítástechnikai nehézségeken túlmenően forgalomtechnikailag is indokolatlan, mert $\alpha(N)$ csökkenne). α_0 értékét Franciaországban – ahol a módszer alkal-



5. ábra. Méretezési görbe a fajlagos és a marginális kapacitás korlátozása esetén



6. ábra. A forgalmi teljesítményjellemzők alakulása a fajlagos, illetve a marginális kapacitás korlátozása esetén

mazása tervezési utasítás — empirikusan 0,7-re vetették fel. A módszer kiterjedt értékelésének hiányát mutatja, hogy más postaigazgatások ettől kihatásaiiban merőben eltérő 0,8...0,85-ös érték bevezetését tervezik.

Felmerül a gondolat, hogy az utóbbi módszer előnyeinek megtartása mellett hátrányait — az átlagos áteresztőképesség (illetve fajlagos kapacitás) helyett a marginális áteresztőképesség (illetve a marginális kapacitás) korlátozásával — kiküszöbölhetjük, és megfelelő kritérium felállításával a túlméretezés gazdasági és minőségi kihatásai összevethetők, kézben tarthatók.

3. A marginális áteresztőképesség korlátozása

A túlterhelési tartalékot a francia módszer azáltal képzi, hogy a nyalábok hatásfokát, átlagos áteresztőképességét nem engedi 1-hez felnöni. A módszer változott hiányosságait elkerülhetjük, ha a tartalékot a marginális áteresztőképesség korlátozásával hozzuk létre. A két megközelítés különbségét a 6. ábra érzékelteti, amelyen az áteresztőképesség helyett a jobban kezelhető kapacitásjellemzőket ábrázoltuk az 1. ábra alapján. Látható, hogy a marginális kapacitás korlátozása esetén mindkét görbe folytonos marad, és a fajlagos kapacitás aszimptotikusan a ΔA_0 korlátozó értékhez tart. A B_0 -nál maximálisan megengedett $\Delta A_0 = \Delta Y_0 / (1 - B_0)$ marginális kapacitást az $N(A, B_0)$ Erlang-görbe megfelelő pontjába húzott érintő egyenes reprezentálja (5. ábra). A

$$\Delta A(N_{kr}, B_0) = \Delta A_0 \quad (8)$$

egyenletből adódó kritikus áramkörszám, illetve $A_{kr} = A(N_{kr}, B_0)$ kritikus forgalom alatt az Erlang-görbe, felette az

$$N = N_0 + \frac{1 - B_0}{\Delta Y_0} A = N_0 + \frac{A}{\Delta A_0} \quad (9)$$

egyenes alkalmazandó, ahol az N_0 kezdeti áramkörszám:

$$N_0 = N_{kr} - \frac{A_{kr}}{\Delta A_0} \quad (10)$$

A korlátozó egyenes az Erlang-görbéhez a kritikus pontban törésmentesen csatlakozik, és az egész A tartományban majorálja azt, így egyetlen függvényként az Erlang-görbe szolgáltatásbiztonsági közelítéseként is alkalmazható (az $A < A_{kr}$ tartományban jelentkező, túlterhelési szempontból szükségtelen túlméretezést az egészen kis nyalábok áramköreinek kiesésekor fellépő viszonylag nagy kapacitás-csökkenés indokolja). A (9) összefüggést ERLANG érintő LINEÁRIS közelítésének, röviden ERLIN-közelítésnek, a fentiek szerint méretezett nyalábokat Erlin-nyaláboknak fogjuk nevezni. Alternatív irányítású hálózatok méretezése során további előny származik az utolsó választású útvonalak marginális kapacitásának rögzítettségétől. A túlsordulásos nyalábok méretezésekor a túlsordult forgalmat vívó utolsó választású útvonalak marginális kapacitását már ismerni kell, illetve előfeltételezéssel kell élni, ami általános esetben szükségszerűen iterációt von maga után. Az Erlin-módszer alkalmazása esetén e meglehetősen időigényes iteráció elmarad.

A marginális kapacitás állandó értéken tartásával a tényleges marginális áteresztőképesség csak korlátozottan növekszik. A névleges ΔY_0 -tól indulva, a torlódás csökkenésével

$$\Delta Y(N) = \frac{1 - B(N, A)}{1 - B_0} \Delta Y_0 + A(N - 1) \cdot$$

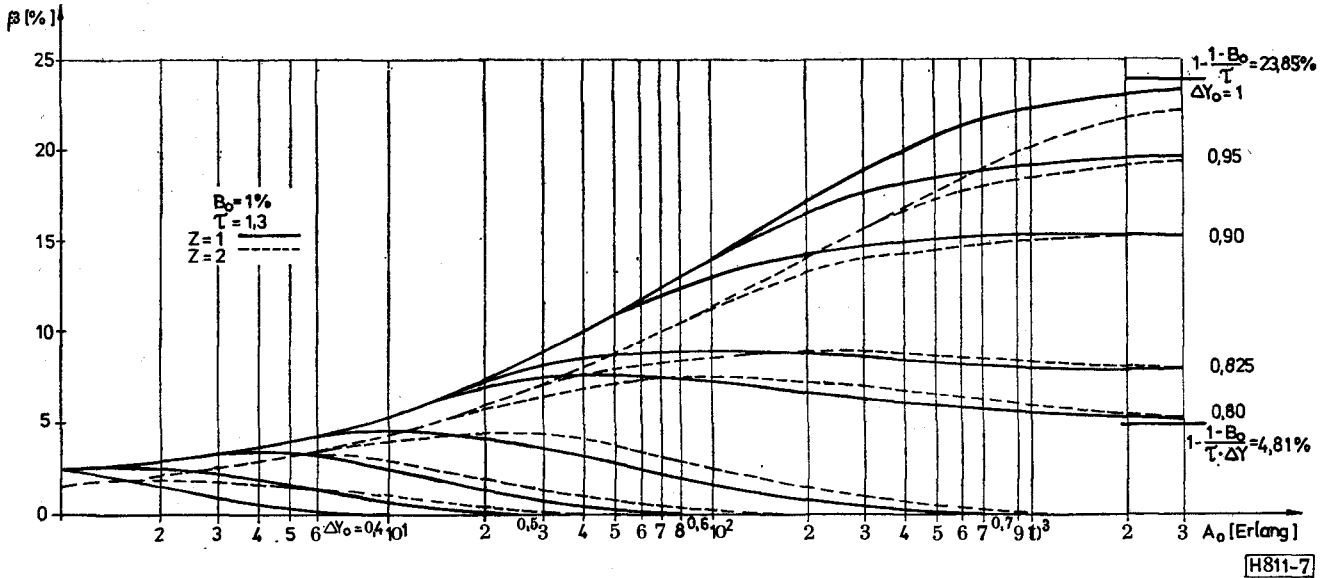
$$\cdot [B(N - 1, A(N - 1)) - B(N, A)] < \Delta Y(N, B_0).$$

formában nő, és $\Delta Y_{\max} = \min(1, \Delta A_0)$ értékhez tart. Tekintve, hogy a gyakorlatban $B_0 \ll 1$, $\Delta A_0 = \Delta Y_{\max} \cong \Delta Y_0$.

A (8) összefüggésbe a csúcsos forgalmak A, N kapcsolatát leíró függvényt behelyettesítve, rögzített B_0 és Z csúcsossági tényező mellett (ami az ERT-módszer alapján könnyen megtehető) az elmondottak csúcsos forgalomra nyilvánvalóan változatlanul érvényesek.

A ΔA_0 , illetve ΔY_0 névleges marginális jellemzők megválasztásához megvizsgáltuk a torlódás alakulását a A_0 névleges terhelés és a τ túlterhelési viszony függvényében. A 7. ábra mutatja a (8)–(10) szerinti N -nel számolt $\beta(\tau, A_0, Z, B_0, \Delta Y_0) = B(N, \tau A_0)$ torlódási görbék alakulását $\tau = 1,3$ esetre. Láthatóan az Erlin-nyalábok torlódása mindig kisebb, mint a $\Delta Y_0 = 1$ paraméterhez rendelhető Erlang-nyalábé, és hogy a torlódásnak véges A_0 -nál is lehet maximuma. Bizonyítható [15], hogy:

$$1. \text{ ha } A_0 \rightarrow 0, \quad \beta \rightarrow B_0;$$



7. ábra. Erlin-nyalábok torlódásfüggvénye 30%-os túlterhelés esetén

2. ha $\tau \Delta A_0 > 1$, akkor az Erlin-nyalábok torlódása A_0 növekedésével a

$$B_{\infty} = 1 - \frac{1}{\tau \Delta A_0} = 1 - \frac{1 - B_0}{\tau \Delta Y_0} \quad (11)$$

értékhez tart;

3. ha $\tau \Delta A_0 \leq 1$, akkor $B_{\infty} = 0$;

4. a β függvény A_0 szerinti maximuma:

$$\max(B_0, B_{\infty}) \leq B_{\max} \leq 1 - \frac{1 - B_0}{\tau}$$

ahol a jobb oldal az Erlang-nyalábnak felel meg. Megadható egy olyan $\varphi(\Delta A_0)$ függvény [15], hogy ha

$$\tau_0 \cdot \Delta A_0 \geq \varphi(\Delta A_0) > 1, \text{ akkor } B_{\max} = B_{\infty},$$

azaz β monoton növekvő;

5. az (5) összefüggés csúcsos forgalom esetén is érvényes, következésképpen az 1...4 megállapítások is.

Numerikus számítások alapján, rögzített B_0 névleges torlódás és Z csúcosság esetekre különböző ΔY_0 névleges értékkel paraméterezve $B_{\max}(\tau)$ görbeseregeket állítottunk elő. Segítségükkel adott τ_0 túlterhelésnél megengedett B_{\max} veszteséghez a ΔY_0 meghatározható. A 8. ábra görbeserege véletlen forgalomra ($Z=1$), a 9. ábra tipikus csúcsos forgalomra ($Z=2$) vonatkozik, emlékeztetve, hogy az alaphálózati útvonalak nyalábjainak forgalma direkt utas irányítás esetén véletlen, alternatív irányítás esetén általánosságban (ha túlsordult forgalmi összetevője is van) csúcsos természetű. A görbeseregeket összehasonlítva megállapítható meglehetősen hasonlatosságuk, azaz, hogy valamely τ_0 , B_{\max} ponthoz közel azonos ΔY_0 értékek rendelődnek, nem szabad elfelednünk azonban, hogy az N_0 kezdeti áramkör számok azonos ΔY_0 választás esetén is Z -től és B_0 -tól függően különbözőek (1. táblázat).

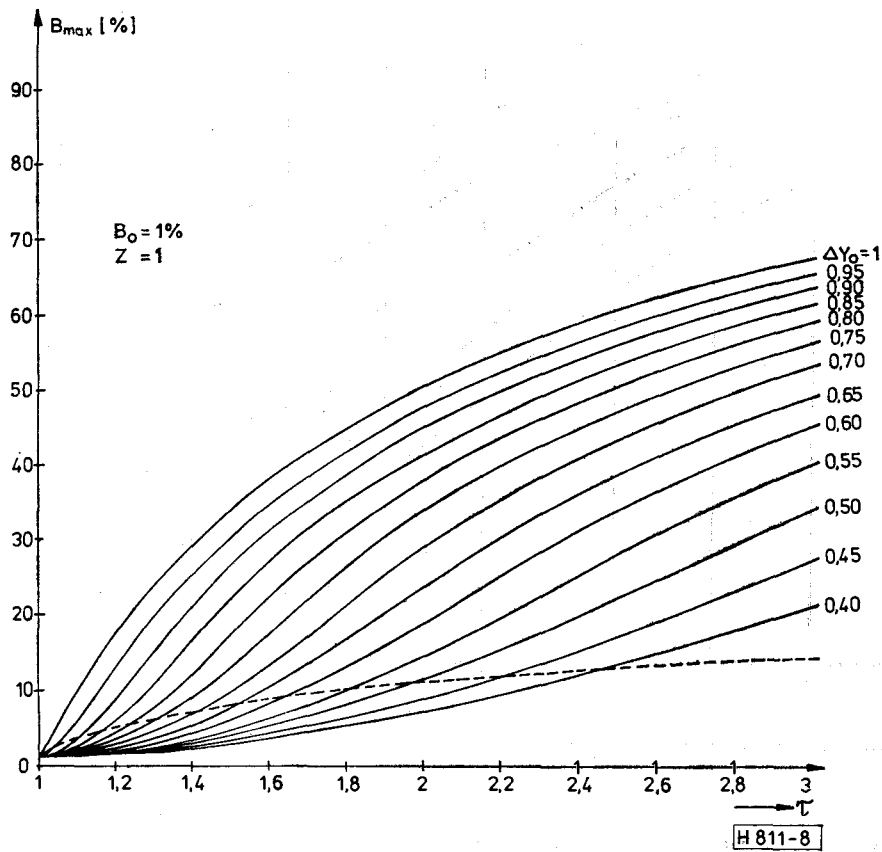
1. táblázat

Jellemző értékek	z	B [%]	ΔA_0				
			0,75	0,8	0,833	0,85	0,9
τ_0			1,333	1,25	1,2	1,176	1,111
ΔY_0	1		0,743	0,792	0,825	0,842	0,891
	0,5		0,746	0,796	0,829	0,846	0,896
N_0	1	1	4,18	4,97	5,64	6,07	7,89
		0,5	5,23	6,26	7,19	7,97	10,39
	2	1	8,25	9,63	10,87	11,69	15,21
		0,5	10,12	12,00	13,75	14,92	20,00
A_{kr}	1	1	7,70	11,93	16,76	20,34	39,70
		0,5	10,09	16,09	22,93	28,16	57,95
	2	1	13,00	21,50	31,12	38,30	76,31
		0,5	17,77	29,60	43,19	53,53	113
N_{kr}	1	1	14,45	19,88	25,76	30,00	52,00
		0,5	18,68	26,37	34,72	40,92	74,78
	2	1	25,58	36,50	48,23	56,75	100
		0,5	33,81	49,00	65,60	77,90	145,55

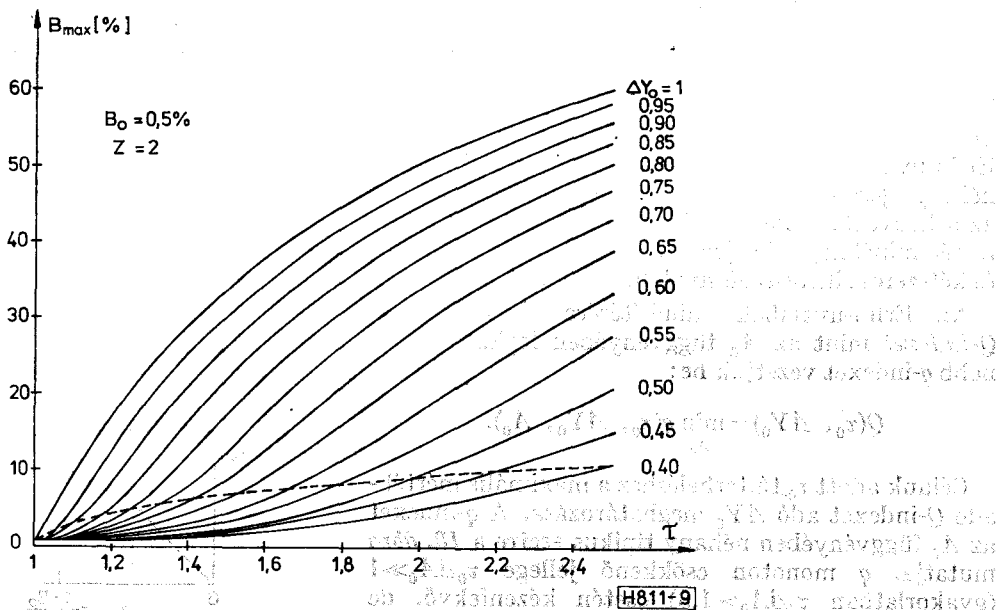
4. Az optimális túlterhelési tartalék

Az Erlin-nyalábok túlterhelés elleni védelmének ára a megfelelő Erlang-nyalábhöz viszonyított túlméretezésből származó költségtöbblet. Minél kisebb a névleges ΔY_0 marginális áteresztőképesség, annál nagyobb a túlméretezés mértéke, következésképpen a költségek növekedése, de annál kisebb a torlódás növekedése túlterhelés esetén. Valamely τ_0 túlterhelési viszonyra létezik olyan ΔY_{opt} optimális marginális áteresztőképesség, amely szerint adott túlterhelésre méretezve, a költségtöbblet és a túlterhelés védelmi szintje optimális kompromisszumban van. Célunk e $\Delta Y_{opt}(\tau)$ meghatározása.

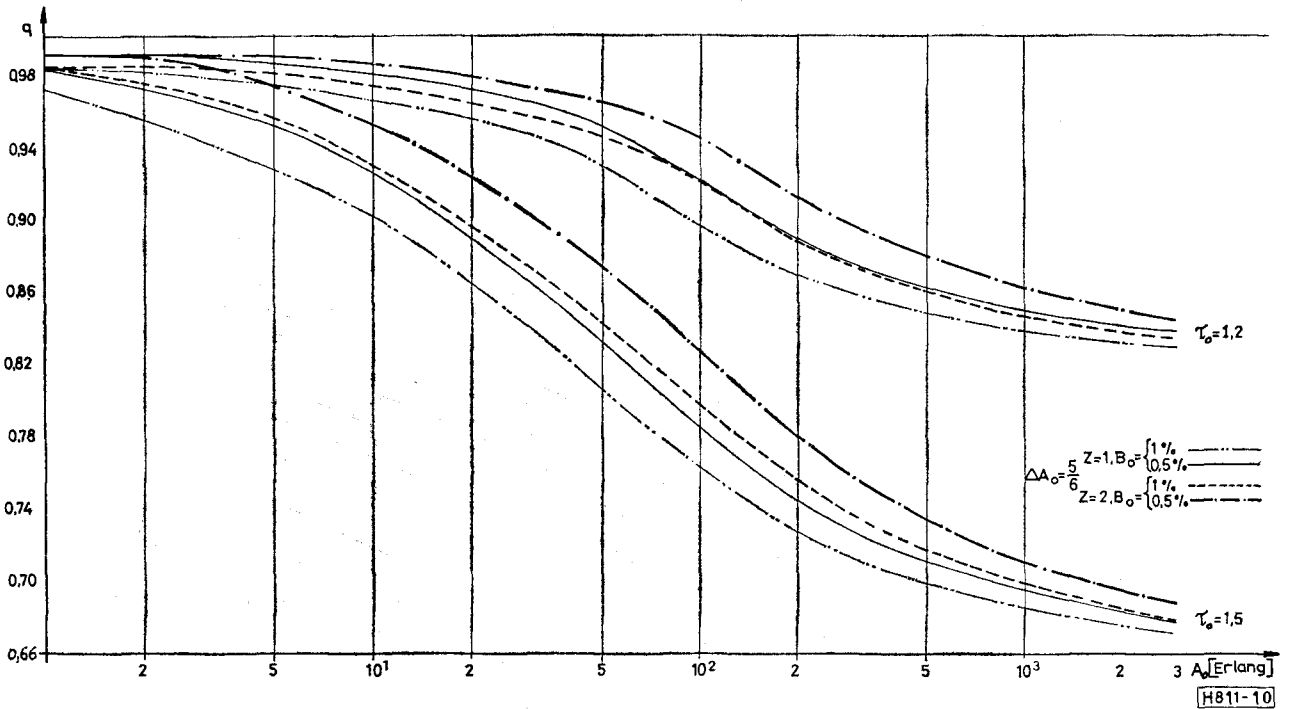
Legyen definíciószerűen a sikeresség τ_0 túlterhelésnél:



8. ábra. A maximális veszteség, a túlterhelésviszony és a névleges marginális áteresztőképesség összefüggése véletlen forgalom esetén, $B_0 = 1\%$



9. ábra. A maximális veszteség, a túlterhelési viszony és a névleges marginális áteresztőképesség összefüggése 2-es csúcsosságú forgalom esetén; $B_0 = 0,5\%$



10. ábra. Erlin-nyalábok kvalifikációs karakterisztikája

$$D(A_0) = 1 - \beta(\tau_0, A_0, B_0, \Delta Y_0)$$

ahol β az Erlin-nyalábok 7. ábra szerinti torlódásfüggvénye; és legyen a relatív költség, a túlméretezés mértéke:

$$C(A_0) = \frac{N(A_0, B_0, \Delta Y_0)}{N(A_0, B_0, 1)},$$

ahol a számláló az Erlin-nyaláb, a nevező az Erlang-nyaláb áramkör száma. A

$$q(\tau_0, \Delta Y_0, A_0) = \frac{D(A_0)}{C(A_0)}$$

sikeresség – túlméretezés viszonyt nevezzük kvalifikációs, röviden q -indexnek. A q -index azt fejezi ki, hogy egy névleges A_0 forgalmú, ΔY_0 paraméterű Erlin-nyaláb relatív költségtöbblete τ_0 túlterhelésnél fajlagosan milyen sikerességet biztosít. Nyilván az a kedvezőbb, ha a költségnövekedés árán a sikeresség minél nagyobb (nagyobb q). Kétszeres költségű és kétszeres sikerességű nyalábok tehát ekvivalensek.

Az Erlin-nyalábok minősítésére a *mértékadó Q -indexet* mint az A_0 függvényében legkedvezőtlenebb q -indexet vezetjük be:

$$Q(\tau_0, \Delta Y_0) = \min_{A_0} q(\tau_0, \Delta Y_0, A_0).$$

Célunk adott τ_0 túlterheléshez a maximális mértékadó Q -indexet adó ΔY_0 meghatározása. A q -indexet az A_0 függvényében néhány tipikus esetre a 10. ábra mutatja. q monoton csökkenő jellege $\tau_0 \Delta A_0 \gg 1$ (gyakorlatban $\tau_0 \Delta A_0 > 1,3$) esetén kézenfekvő, de numerikusan kimutatható és monotonitás általános – $\tau_0, \Delta Y_0, B_0$ és Z értékeitől független – érvényesége. Így:

$$Q = q_\infty = \lim_{A_0 \rightarrow \infty} [1 - \beta(A_0)] \cdot \frac{N_0(1) + (1 - B_0)A_0}{N_0(\Delta Y_0) + \frac{1 - B_0}{\Delta Y_0} A_0} = \Delta Y_0 \cdot (1 - B_\infty).$$

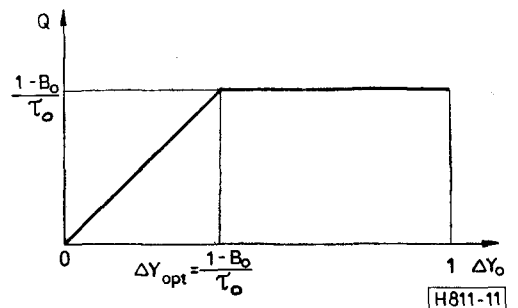
Láthatóan a túlméretezés mértéke maximálisan $C_\infty = 1/\Delta Y_0$. A B_∞ -re vonatkozó (11) és (12) megállapításokat kihasználva a következő érdekes eredményeket kapjuk (11. ábra):

1. Ha $\tau_0 \cdot \Delta A_0 \leq 1$, vagyis $\Delta Y_0 \leq (1 - B_0)/\tau_0$, akkor $B_\infty = 0$, így $Q = \Delta Y_0$;

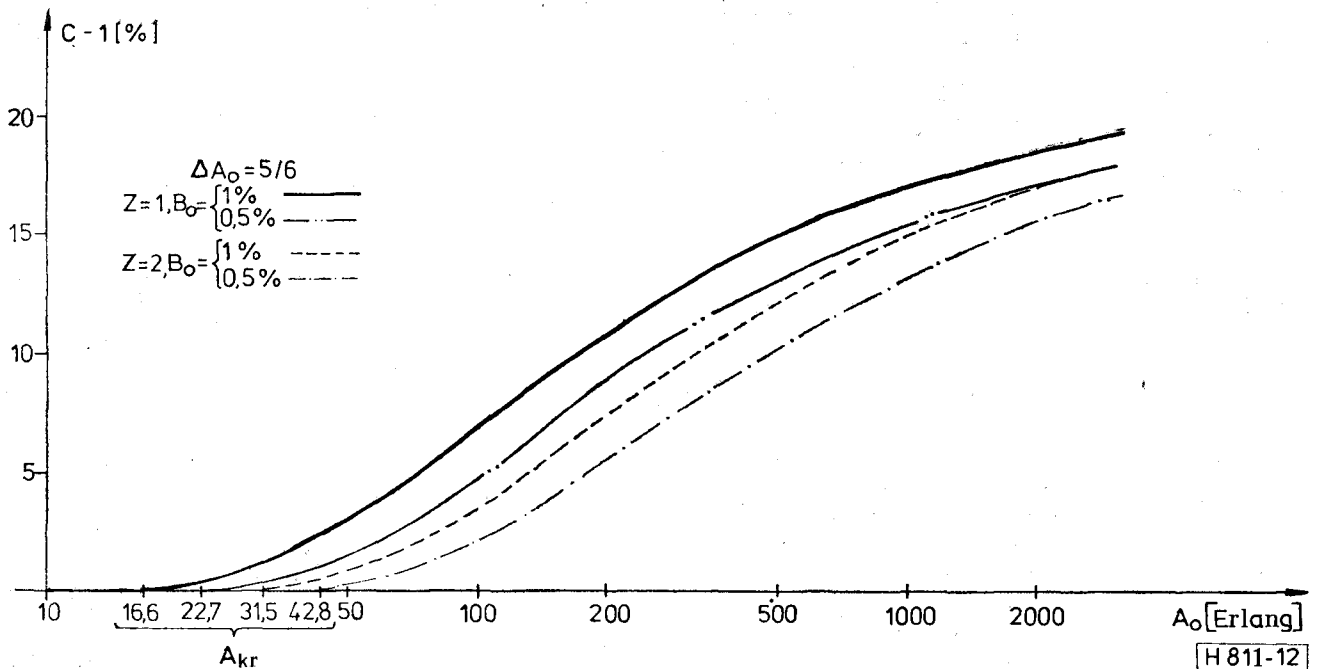
2. ha $\tau_0 \cdot \Delta A_0 > 1$ vagyis $\Delta Y_0 > (1 - B_0)/\tau_0$, akkor (11)-et behelyettesítve, ΔY_0 -tól független eredményt kapunk:

$$Q = \frac{1 - B_0}{\tau_0};$$

3. tekintve, hogy a B_∞ érték a csúcosságtól független, adott $\tau_0, \Delta Y_0$ és B_0 mellett a mértékadó Q -index véletlen és csúcsos forgalomra megegyezik.



11. ábra. A mérvadó kvalifikációs index alakulása



12. ábra. Az Erlin-nyalábok bennefoglalt túlméretezési mértéke $\Delta A_0 = 5/6$ esetén

Mint a 10. ábrán látható a véges forgalombeli q -indexre

$$q(\tau_0, \Delta Y_0, A_0 < \infty, Z=1) < q(\tau_0, \Delta Y_0, A_0 < \infty, Z > 1),$$

azaz a csúcsos forgalomra méretezett Erlin-nyalábok Q -indexe jobb. Ezt az indokolja, hogy egy adott forgalmi teljesítményt csúcsos forgalom esetén csak nagyobb nyalábbal, nagyobb A_0 -nál érhetünk el, és bizonyíthatóan (12. ábra):

$$C(A_0, Z=1) \geq C(A_0, Z > 1).$$

Adott τ_0 túlterheléshez az optimális ΔY_0 értéket a 11. ábra alapján

$$\Delta Y_{\text{opt}} = \frac{1 - B_0}{\tau_0}, \quad (13)$$

értékre választjuk, az alábbi megfontolás szerint. A ΔY_0 tengely mentén a $\Delta Y_0 = 1$ által reprezentált Erlang-nyalábtól visszafelé indulva egyre nagyobb költségtöbblet lép fel, azonban az $(1 - B_0)/\tau_0$ értékig terjedő tartományban az Erlin-nyalábok a költségnövekedéssel arányosan nagyobb sikerességet is biztosítanak. Az $(1 - B_0)/\tau_0$ ponton túl a minőségjavulás már nem áll arányban a további költségáldozattal. Az ekvivalens Q -indexű nyalábok közül pedig szolgáltatásbiztonsági szempontból a (13) szerinti a legkedvezőbb.

(13)-ból következik, hogy τ_0 névleges túlterheléshez B_0 -tól és Z -tól függetlenül

$$\Delta A_{\text{opt}} = 1/\tau_0 \quad (14)$$

tartozik. A τ_0 értékekhez tartozó optimális marginális áteresztőképességek esetén felmerülő maximális torlódások görbéjét szaggatottan berajzoltuk a 8. és 9. ábrákba. Ilyen módon a ΔY_0 Erlin-paramétert egyetlen érték, a névleges τ_0 specifikálásával is

megalapozottan megválaszthatjuk. A túlméretezés mértéke maximálisan $1/\Delta Y_0$ lesz (12. ábra).

Vegyük észre, hogy a dupla specifikációs módszerrel méretezett nyalábokra a névleges τ_0 túlterhelés-viszonyánál

$$Q(\tau_0) = \frac{1 - B_0''}{C_\infty} = \frac{1 - B_0'}{\tau_0},$$

tehát azonos τ_0 és $B_0 = B_0'$ névleges érték mellett a kétspecifikációs nyaláb és az optimális Erlin-nyaláb Q -indexe egyenlő.

A névleges τ_0 értéket tapasztalatilag vagy mérésekre alapozva rögzíthetjük, pl. a CCITT által javasolt nagy és normál forgalmi terhelés viszonyából kiindulva. A mérésekből meghatározható az előforduló túlterhelések gyakorisága is, amelynek ismeretében az optimális marginális kapacitás súlyozott átlaga nyerhető. A túlterhelés eloszlásának sűrűségfüggvényét $f(\tau)$ -val jelölve:

$$\overline{\Delta A}_{\text{opt}} = \int_1^\infty \Delta A_{\text{opt}} f(\tau) d\tau = \int_1^\infty \frac{f(\tau)}{\tau} d\tau.$$

Mért adatokra alapuló $f(\tau)$ függvény hiányában, több hipotetikus túlterhelés-eloszlás közül a $k > 1$ paraméterű

$$f(\tau) = \begin{cases} \frac{k-1}{\tau^k}, & \text{ha } \tau \geq 1 \\ 0, & \text{ha } \tau < 1 \end{cases}$$

Pareto-eloszláscsalád látszik a legelőnyösebbnek a tájékozódáshoz. Eszerint:

$$\overline{\Delta A}_{\text{opt}} = \frac{k-1}{k}.$$

A Pareto-eloszlás paramétereként az 5...7 tartomány jöhet számításba. Az általunk javasolt $k=6$ esetén τ mediánértéke 1,15 (15% túlterhelés), átlaga 1,25; a 100%-os túlterhelést pedig a túlterheléses időszakok 3%-ában lépjük túl. A $\overline{\Delta A}_{\text{opt}}=0,833$ értékhez egy $\tau=1,2$ névleges túlterhelés-arány rendelhető. (Megjegyzendő, hogy a fentivel egyező $\overline{\Delta A}_{\text{opt}}$ értéket 1,16 medián, 1,23 átlagértékű exponenciális túlterhelésarány eloszlás ad). Ha $B_0=1\%$, $Z=1$, akkor a maximális torlódás (8. ábra) $B_{\text{max}}=5\%$, a túlméretezés pedig legfeljebb $C_{\infty}=1,21$ (21%) (12. ábra).

Az Erlin-módszer értékeléséül megjegyezzük, hogy a kétspecifikációs méretezés $\tau_0=1,2$; $B'_0=1\%$, így azonos Q -index, és $B''_0=B_{\text{max}}=5\%$ választás mellett maximálisan csak 15% túlméretezést eredményez, azonban az ilyen nyalábok torlódása az 5%-ot a teljes kritikus ponton túli tartományban felveszi. Továbbá a névlegesnél nagyobb túlterhelés esetén a torlódás nagyobb mértékben növekszik: $\tau=1,5$ esetén a $\Delta A_{\text{opt}}=5/6$ paraméterű Erlin-nyaláb torlódása legfeljebb 20%, a dupla specifikációsé 24%.

Az 1. táblázat tájékozódásul néhány $\Delta A_{\text{opt}}=1/\tau_0$ értékhez megadja a tervezéshez szükséges A_{kr} , N_{kr} kritikus paramétereket, valamint az $N_0=N_0(\Delta A, B_0, Z)$ kezdeti csatornaszámokat. Ezek segítségével

$$N=N_0+\frac{A}{\Delta A_{\text{opt}}}=N_0+\tau_0 A, \quad \text{ha} \quad A \geq A_{kr}.$$

Az N_0 értékek vizsgálatából kiderül, hogy azok értéke legjobban Z -től függ, és Z -vel durván arányos. Ennek alapján a $B_0=0,5...1\%$ tartományra közelítő számításokhoz, elfogadva a $\Delta A_0=5/6$ marginális kapacitás korlátozást, az

$$N=1,2A+6Z$$

összefüggés javasolható, amelyet globális, strukturális vizsgálatokban a teljes A tartományban alkalmazhatunk.

I R O D A L O M

- [1] Agasse J.—Camoin B. et al.: The safety of the national telephone network. L. echo des Recherches (CNET) No. 89. Jul. 1977. p. 4.
- [2] Gimpelson L. A.: Network management: design and control of communication networks. Electrical Communication, Vol. 49. No. 1. 1974. p. 4—22.
- [3] Diano, G.—Pallotta, P.—Masetti G.: Hypothesis of a toll network with separate routes for first-choice and overflow traffic. 8th ITC, Melbourne, 1976, Doc. 224.
- [4] Sallai Gy. (szerk.): Távközlő hálózatok forgalmi tervezése. KÖZDOK, 1980.
- [5] Songhurst D. J.: Protection against traffic overload in hierarchical networks employing alternative routing. Telecomm. Network Planning Symp. Paris, 1980. p. 214—220.
- [6] Horn, R. W.: End-to-end connection probability. 9th ITC, Torremolinos, Spain, 1979. No. 627.
- [7] Rao, R. N.: Improved trunk engineering algorithm for high-blocking hierarchical networks. 9th ITC, Torremolinos, Spain, 1979. No. 616.
- [8] Sallai Gy.—Dely Z.: Optimum THF diagrams for modular engineering of circuit groups. NTZ, (megjelenés alatt)
- [9] Bear D.: Principles of telecommunications traffic engineering. P. Peregrinus Ltd., 1976.
- [10] Elláin A.—Lenid G.: Elementary telephone traffic theory. LM Ericsson, 1971.
- [11] CCITT: Sárga könyv, 1980. E500. ajánlás
- [12] Hébuterne G.—Maignon G.: Planning of urban networks. L. echo des Recherches (CNET) No. 92. Ápr. 1978. p. 34
- [13] Berbineau J.—Guerineau J. P.: Security of telecommunications networks. Application in the area of Ile de France. Symp. on Telecomm. Network Planning, Paris, 1980. p. 173—181
- [14] Izsák M. (szerk.): Távközlési kézikönyv. MK. Budapest, 1979.
- [15] Phan Van Linh: Nagyvárosi távbeszélő-hálózat forgalomkoncentrációs topológiájának tervezése. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1981.